



Herausgegeben von
Florian Schäfer



2. Kolloquium Straßenbau in der Praxis

**Fachtagung zum Planen, Bauen, Erhalten,
Betreiben unter den Aspekten von
Nachhaltigkeit und Digitalisierung**

Tagungshandbuch 2021

2. Kolloquium Straßenbau in der Praxis
7. und 8. September 2021
Technische Akademie Esslingen

Herausgegeben von
Prof. Dr.-Ing. Florian Schäfer

2. Kolloquium Straßenbau in der Praxis

Fachtagung zum Planen, Bauen, Erhalten, Betreiben
unter den Aspekten von Nachhaltigkeit und Digitalisierung

Tagungshandbuch 2021



**STRASSEN-
& TIEFBAU**



expert›

TAE Technische Akademie Esslingen
Ihr Partner für Weiterbildung

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Das vorliegende Werk wurde mit großer Sorgfalt erstellt. Fehler können dennoch nicht völlig ausgeschlossen werden. Weder Verlag noch Autoren oder Herausgeber übernehmen deshalb eine Haftung für die Fehlerfreiheit, Aktualität und Vollständigkeit des Werkes und seiner elektronischen Bestandteile.

© 2021. Alle Rechte vorbehalten.

expert verlag GmbH

Dischingerweg 5 · D-72070 Tübingen
E-Mail: info@verlag.expert
Internet: www.expertverlag.de

Technische Akademie Esslingen e. V.

An der Akademie 5 · 73760 Ostfildern
E-Mail: bauwesen@tae.de
Internet: www.tae.de

Printed in Germany

ISBN 978-3-8169-3525-4 (Print)
ISBN 978-3-8169-8525-9 (ePDF)

Vorwort

Eine funktionierende und leistungsfähige Infrastruktur gehört zu den essentiellen Voraussetzungen eines erfolgreichen Wirtschaftsstandorts Deutschland. Der Entwurf, der Bau und die Erhaltung von Straßen für den Fahrzeugverkehr spielen dabei eine herausragende Rolle. Auch in Zukunft wird die Straßenverkehrsinfrastruktur der bedeutendste Verkehrsweg bleiben.

Neue Verfahren im Straßenbau, der Zwang zur wirtschaftlichen Bauausführung und gehobene Qualitätsanforderungen erleichtern und erschweren zugleich die Realisierung vorhandener Projekte. Hinzu kommen gesteigerte Ansprüche der Menschen an die Beteiligung in der Planungs- und Bauphase. Das moderne Umweltschutzrecht erfordert in der Anwendung die frühzeitige Berücksichtigung relevanter Belange und den umfassenden Ausgleich von Eingriffen. Auf Nachhaltigkeit wird sowohl während des Baus als auch bei der Nutzung der Infrastruktur geachtet.

Die Digitalisierung in den Planungs- und Bauprozessen schreitet voran. Unter dem Begriff Building Information Modeling (BIM) wird die ganzheitliche Betrachtung des Straßenbaus in einem integrierten Modell ermöglicht. So wird die Zusammenarbeit von Bauherren bzw. Behörden, Planern und Baufirmen auf eine völlig neue Basis gestellt.

Vor diesem Hintergrund findet das 2. Kolloquium „Straßenbau in der Praxis“ statt, in Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Straßenwesen, der Bauwirtschaft Baden-Württemberg e.V. und der Vereinigung der Straßen- und Verkehrsingenieure Baden-Württemberg.

Im Rahmen des Kolloquiums werden etwa 80 Beiträge aus Forschung, Industrie und Praxis in vier parallelen Sessions zu folgenden Themenschwerpunkten präsentiert:

- Mobilität und Verkehr
- Mobilitätsentwicklung
- Kommunale Planung
- Asphaltbauweisen
- Asphaltmodifikation
- Asphaltrecycling
- Optimierte Asphaltoberflächen
- Bitumen
- Pflasterbauweisen
- Baustoffrecycling
- Betonsanierung
- Oberbaudimensionierung
- Erhaltungsmanagement
- Vermessung 4.0
- Zustandserfassung 4.0
- Ingenieurbauwerke
- Digitalisierungspotenziale
- Digitale Prozesse
- Digitalisierte Baustelle
- BIM im Straßenwesen
- BIM in der Planung
- BIM in der Ausführung
- BIM in der Erhaltung

Das vorliegende Tagungshandbuch enthält die vorab eingereichten Beiträge zu den Vorträgen und gibt einen Überblick über den aktuellen Stand der Wissenschaft und Technik sowie neueste Entwicklungen und Trends im Planen, Bauen, Erhalten, Betreiben unter den Aspekten von Nachhaltigkeit und Digitalisierung. Weitere Informationen unter: www.tae.de/go/strassen.

Inhaltsverzeichnis

0.0	Plenarvorträge	
0.1	Straßenbauverwaltung im Umbruch – Was verändert sich durch die bundesweite Zentralisierung der Autobahnaufgaben? Christine Baur-Fewson, Andreas Hollatz	17
0.2	BIM Deutschland – das Zentrum für die Digitalisierung des Bauwesens Rudolf Boll	19
0.3	Auswirkungen der Corona-Pandemie auf die Mobilität und den Straßenverkehr Dr.-Ing. Marion Mayer-Kreitz, Dr.-Ing. Anne Benner	21
1.0	BIM im Straßenwesen	
1.1	Building Information Modeling (BIM) in der Straßenbauverwaltung Baden-Württemberg – Umsetzung und Evaluierung von BIM-Pilotprojekten Tanja Jakovljevic	31
1.2	Fachgruppe „BIM-Verkehrswege“ des buildingSMART Deutschland e.V. – Vorstandardisierung und Veröffentlichung „BIM-Klassen der Verkehrswege“ Dipl.-Ing. Uwe Hüttner	35
1.3	BIM im Verkehrswegebau – Projektplanung der Bauausführung unter Anwendung eines Datenmodells: BIM-unterstütztes Datenmanagement im Straßenbau – Planung und Ausführung anhand von Praxisbeispielen Christoph Kellner	41
2.0	Mobilitätsentwicklung	
2.1	Mobilitätspakte Dipl.-Geogr. Nathalie Bednarek	47
2.2	Verkehrsmanagementstrategien über Stadtgrenzen hinaus – Ein Werkstattbericht aus der Region Stuttgart Steffen Sesselmann, M.Sc., Dr. Annette Albers	53
2.3	Motorradlärm in Baden-Württemberg – Von der subjektiven Belästigung zu belegbaren Grundlagedaten Dr.-Ing. Hartmut Ziegler	61
3.0	Bitumen	
3.1	Bitumenmodifikation – Eine Optimierungsaufgabe mit Zielkonflikten? Markus Oeser, Nicolás Carreño	67
3.2	Nachhaltigkeitsbewertung eines Bauprodukts im Straßenbau am Beispiel B2Last® Amina Wachsmann, M.Eng., Prof. Dr.-Ing. Christian Holldorb, Dr. Sonja Cypra	71
3.3	Neue Bitumen zur Reduzierung von Emissionen aus Asphalt Martin Vondenhof	81

4.0	Asphaltrecycling	
4.1	Technische Aspekte einer Kaltrecyclingbauweise von Asphalt ohne Zusatz von Bindemittel	85
	Dr.-Ing. Hartmut Herb, Prof. Dr.-Ing. Markus Stöckner	
4.2	Dimensionierung von Asphaltbefestigungen mit Kaltrecyclingmischgut: ein internationaler Vergleich	89
	Marius Winter, Konrad Mollenhauer	
4.3	Thermische Reinigung von teerhaltigem Straßenaufbruch	99
	Dipl.-Ing. David Heijkoop	
5.0	BIM in der Ausführung	
5.1	BIM im kommunalen Verkehrswege- und Tiefbau (BIM K-VTB)	105
	Rainer Schrode	
5.2	Dokumentation einer Straßenbaustelle – es muss ja nicht immer BIM sein!	115
	Stefan S. Grubinger, Matthias J. Rebhan, Simon Jimenez, Reinhard Hinrichs, Michael Rappold	
5.3	Modellbasiertes Aufmaß und Abrechnung mit vernetzter Maschinensteuerung	123
	Andreas Velten, M.B.A.	
6.0	Asphaltbauweisen	
6.1	Asphaltoptimierung nach Performancekriterien	135
	Dipl.-Ing. Erik Kamratowsky, Prof. Dr.-Ing. habil. Frohmüt Wellner	
6.2	Einsatz und messtechnische Überprüfung von emissionsreduziertem Asphalt im kommunalen Straßenbau – ein Beitrag zum Klima- und Arbeitsschutz	143
	Thomas Schönauer, B.Eng., Maria Koordt, M.Sc., Dr. Alexander Buttgerit, Dr. Daniel Gogolin, Dr. Knut Johannsen, Prof. Dr.-Ing. Hans-Hermann Weßelborg	
6.3	Asphaltkonservierung – Moderne Erhaltung für eine längere Nutzungsdauer	155
	Sebastian Miesem	
7.0	Kommunale Planung	
7.1	Ganzjährige Nutzung von Radwegen – Anforderungen an Unterhalt und Winterdienst auf Radwegen	163
	Prof. Dr.-Ing. Christian Holldorb	
7.2	Barrierefreiheit im öffentlichen Verkehrsraum: Planung, Ausführung, Fehlervermeidung	171
	Edgar Theurer	
7.3	Temporäre Rückhaltung und Notableitung von Starkniederschlägen auf städtischen Straßen – Rahmenbedingungen hinsichtlich der Verkehrssicherheit	191
	Jonas Fesser, Prof. Dr. Jochen Eckart	

8.0	Pflasterbauweisen	
8.1	Die neuen ZTV Pflaster-StB Prof. Dr.-Ing. Holger Lorenzl, Prof. Dr.-Ing. Carsten Koch, Prof. Dr.-Ing. Martin Köhler	203
8.2	Pflasterhandwerk – Zunft mit Zukunft Dipl.-Ing. Rüdiger Singbeil	211
8.3	Randeinfassungen aus Bordsteinen Dipl.-Ing. (FH), Franz Knobling	227
8.4	Geotextilien im Pflasterstraßenbau unter den Gesichtspunkten der Oberbaumechanik Alexander Eichler	235
8.5	Sonderbauweise: Versickerungsfähige Pflasterflächen als Chance zur Beeinflussung des Mikroklimas in den Städten Siegfried Bolz	239
8.6	LTR-Verlegung – Pflaster-Terrazzo Bernd Burgetsmeier	243
9.0	BIM in der Planung	
9.1	Implizite 5D-Volumenmodelle für die modellbasierte Leistungsmeldung beim Bau der A7 (PPP) Dr. rer. nat. Klaus Tilger	251
9.2	Digitalisierung: Wie digital sind und können Prozesse im Straßenbau werden? Andreas Dieterle	265
9.3	„Erfolgreiche Projekte mit EPLASS BIM-Collaboration“ Benjamin König	269
9.4	Mechanismen und Methoden zur Integration von BIM und GIS im Straßenbau Andreas Hesterkamp, Dr. Andreas Carstens	275
10.0	Erhaltungsmanagement	
10.1	Erhalt der Straßeninfrastruktur Baden-Württemberg Dipl.-Ing. Markus Kübler	285
10.2	Entwicklungen im Straßenbau – Wie Maximalrecycling und Qualitäts-Straßenbau Baden-Württemberg 4.0 (QSBW 4.0) den Straßenbau effizienter und ökologischer gestalten können Dr. Steffen Klumbach, Vera Schmidt	291
10.3	BIM in der Straßenerhaltung Dipl.-Ing. (FH) Gerhard Seifert	295
10.4	Nachhaltiger Asphaltstraßenbau und die Auswirkungen auf das Erhaltungsmanagement – Praxisbeispiel Münster Dr.-Ing. Alexander Buttgerit, Dipl.-Betriebswirt Stefan Gomolluch, Dr.-Ing. Daniel Gogolin	299

11.0	Mobilität und Verkehr	
11.1	Consequences of connected and automated driving to physical and digital high-level road infrastructure Sandra Ulrich, Risto Kulmala,	305
11.2	Autonomes Fahren – Risiken und Chancen für die Städte – Vereinfachte Verkehrsmengenabschätzung zur Förderung der lebenswerten Stadt Tim Reuber	*
11.3	Modellstadt Herrenberg – NOx-Reduktion im Stadtgebiet Dr.-Ing. Torsten Heine-Nims	313
11.4	Erschließung von Wohn- und Gewerbegebieten Dipl.-Ing. Jens Klähnhammer	317
12.0	Oberbaudimensionierung	
12.1	Zielführende Straßenerhaltung – Bewertung der strukturellen Substanz Prof. Dr.-Ing. Jörg Patzak, Dr.-Ing. Alexander Zeißler	329
12.2	Ermittlung des dimensionierungsrelevanten Achslastkollektivs zur realitätsnahen Straßenplanung Dr.-Ing. Wolf Uhlig	339
12.3	Dimensionierung und Qualitätsüberwachung im Straßenbau zur Sicherung der geplanten Lebensdauer bei ÖPP Projekten Dipl.-Ing. Gregor Benning	349
12.4	LKW-Platoons und ihre Auswirkungen auf den Straßenoberbau Sandra Ulrich, David Reisenbichler,	361
13.0	Digitale Prozesse	
13.1	Auswirkung der Digitalisierung auf Infrastrukturmaßnahmen Rebecca Probst, Martin Seitner	375
13.2	Digitalisierung im Bereich Betrieb und Erhaltung von Autobahnen – App-gestütztes Asset Management Dipl.-Ing., MBA Tobias Kupfer	379
13.3	Digitale Prozesse mobil unterstützen Ralf Behrens	385
14.0	Optimierte Asphaltoberflächen	
14.1	CleanAir (CIAir®) Asphalt – Innovativer Straßenbelag baut Luftschadstoffe ab Dipl.-Ing. Martin Muschalla	391
14.2	Lärmarme Oberflächen auf freien Strecken und Brücken Jean-Marc Waeber, Fabian Traber	395
14.3	Oberflächenbehandlung mit Reaktionsharzen (OB-RH) – technische und gestalterische Möglichkeiten Peter Austin-Böhm, Markus Leischner	397

15.0	Betonsanierung	
15.1	Das Falling Weight Deflectometer und seine Anwendungsmöglichkeiten im Betonstraßenbau	*
	Oliver Mielich, Prof. i. R. Dr.-Ing. W. Weingart, H. Lüdike	
15.2	Betonfertigteile für den Bau kommunaler Verkehrsflächen – Eine Systemlösung für die Zukunft?	405
	Dipl. Ing. (FH) Dirk-Uwe Spengler,	
15.3	Herstellung eines Kreisverkehrs mit einer Betondecke	415
	Prof. Dr.-Ing. Stefan Linsel	
16.0	Zustandserfassung 4.0	
16.1	„Machine Learning“ im Straßenbau – Methode und Anwendungsfälle	419
	Dr.-Ing. Mahdi Rahimi Nahoujy	
16.2	LESS WRONG – Verbesserung von Straßenzustandsprognosen mittels Machine Learning	427
	Andreas Ellinger, Astrid Hautz, Christian Wörner	
16.3	Alternative Methoden der kommunalen Straßenzustandserfassung mittels Erschütterungssensorik	437
	Lisa Gayer, Prof. Dipl.-Ing. Berthold Best	
17.0	BIM in der Erhaltung	
17.1	AMSTree	445
	Prof. Dr.- Ing. Markus Stöckner, Philip Zwernemann M.Sc.	
17.2	Transdisziplinäre Standortfindung zur Sanierung multicodierter Straßenräume (Forschungsprojekt BlueGreenStreets)	451
	Philip Zwernemann M.Sc., Prof. Dr.-Ing. Markus Stöckner, Prof. Dr. Jochen Eckart	
17.3	Ein BIM-System für das duraBAST	457
	Dipl.-Wirt.-Ing. Christian Klöpfer, Dipl.-Ing. Christian Forster	
18.0	Digitalisierungspotenziale	
18.1	Was kommt nach 5D? Digitalisierung über den Lebenszyklus	463
	Christof Gipperich	
18.2	Virtuelle Technologien in der Praxis	469
	Kemal Gider	
18.3	Welche Möglichkeiten bietet die Digitalisierung im Straßenbau!	471
	Dieter Licht	

19.0	Asphaltmodifikation	
19.1	Einsatz fasermodifizierter Asphalte Christiane Weise, Viktoria Sommer	475
19.2	Lebenszyklus- und Emissionsbetrachtungen von Gummimodifizierten Asphalten Dr. Daniel Gogolin, Dr. Manuel Hülsbömer	481
19.3	Moderne Baustoffe im Erhaltungsmanagement – Was PMMA-Bindemittel leisten können Arnd Laber, Sven Stumberger-Fischer	485
20.0	Digitalisierte Baustelle	
20.1	Das richtige Werkzeug für Ihre Baustellen am Beispiel von Q Asphalt und Q Plant Dipl. Ing. (FH) Simon Martin Künz	491
20.2	Digitale Bauprozesse im Straßenbau Daniel Heuberger	499
20.3	Software so dynamisch und flexibel, wie der Bauprozess – Wie Netflix hilft, die Asphaltlogistik zu steuern Dr. Marcus Müller, Volker Natzschka	501
21.0	Digitalisierte Baustelle	
21.1	Wirtschaftliche Erneuerungsbauweisen – Neue Möglichkeiten der Verwertung von Straßenaufbruch und Boden an Ort und Stelle Dipl.-Ing. Ottmar Rienhoff-Gembus	507
21.2	Recyclingbaustoffe – ein Bericht aus der Straßenbaupraxis Dipl.-Ing. Burghardt Schramm, M.Eng.	511
21.3	Instandhaltung von Verkehrswegeflächen Karl-Heinz Lindenbauer, Götz Tintelnot	515
21.4	Betonsanierung in der Praxis Dipl.-Ing. Tim Alte-Teigeler	521
22.0	Vermessung 4.0	
22.1	Erfassung von Straßenumgebung und -oberfläche mit einem neuartigen multimodalen Messsystem Prof. Dr. Alexander Reiterer, Dr. Philipp von Olshausen, Moritz Roetner, Christian Koch, Carsten Frey, Björn Hemsath	533
22.2	Mobile Mapping im Verkehrswegebau Philipp Mielke	539
22.3	VERLEIHT FLÜGEL – Anwenderfreundlichkeit als Schlüssel für den erfolgreichen Einsatz von Aerial Data im Infrastrukturbau Dipl.-Ing. Christian Wörner	551
22.4	Cm-genaue Vermessung und Dokumentation mit Smartphones auf Straßenbaustellen Nicolai Nolle	561

23.0	Ingenieurbauwerke	
23.1	Langzeiterfahrungen mit Tiefenhydrophobierungen als Oberflächenschutzsystem von Brücken- und Tunnelbauwerken Tobias Bürkle, Prof. Dr. Andreas Gerdes	565
23.2	Optimierte Lebenszykluskosten für chloridexponierte Bauteile von Brücken- und Tunnelbauwerken Dr.-Ing. Marc Zintel	583
23.3	Südtangente Koblenz: Rollverschlüsse in der Sanierung und im Neubau (DE) Dipl. Ing. (FH) Stefan Adam	601
23.4	Prioritätenreihung und Risikomanagement bei Stützbauwerken im Landesstraßennetz Matthias J. Rebhan, Roman Marte, Stefan S. Grubinger, Franz Nöhner, Bernhard Saurug	607
	Anhang	615
	Programausschuss	617
	Autorenverzeichnis	619

* Manuskript lag bei Redaktionsschluss nicht vor.



Plenarvorträge

Straßenbauverwaltung im Umbruch – Was verändert sich durch die bundesweite Zentralisierung der Autobahnaufgaben?

Christine Baur-Fewson

Direktorin der Niederlassung Südwest
Die Autobahn GmbH des Bundes
Heßbrühlstraße 7
70565 Stuttgart Vaihingen

Andreas Hollatz

Ministerialdirigent
Ministerium für Verkehr
Baden-Württemberg
Dorotheenstraße 8
70173 Stuttgart

Zusammenfassung

Die Neuordnung der Bundesfernstraßenverwaltung ist eines der größten Organisationsprojekte in der deutschen Verwaltung nach der Herstellung der Deutschen Einheit. Die Auftragsverwaltung der Länder im Bereich Autobahnen endet zum 31.12.2020. Ab 01.01.2021 wird die Autobahn GmbH die Autobahnen in BW übernehmen.

Damit gehen ca. 1.050 Streckenkilometer an Autobahnen sowie ca. 750 Mitarbeiter aus der Straßenbauverwaltung an die Autobahn GmbH über. Das Land betreut dann aber noch insgesamt 4.200 km Bundes-, 10.000 km Landes-, 12.1000 Km Kreisstraßen und die Gemeindestraßen. Baden-Württemberg hat ein großes Interesse an einer funktionierenden Autobahnverwaltung. Es lag und liegt weiterhin im Interesse der Straßenbauverwaltung, konstruktiv am Transformationsprozess mitzuwirken und den Aufbau der Niederlassung Südwest der Autobahngesellschaft zu unterstützen.

Die erforderliche Neuordnung in der SBV wird ebenfalls zum Jahresende vollzogen: die Regierungspräsidien bilden insbesondere die neuen Referate „Regionales Mobilitätsmanagement“, die LST wird zentrales Fachkompetenz-Zentrum der SBV mit erweiterten Zuständigkeiten (z. B. Tunnelüberwachung) und beinhaltet künftig die Mobilitätszentrale BW.

BIM Deutschland – das Zentrum für die Digitalisierung des Bauwesens

Rudolf Boll

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), Berlin, Deutschland

Zusammenfassung:

Die Bundesregierung will mit BIM Deutschland die Digitalisierung des Planens, Bauens und Betreibens von Infrastrukturbauwerken weiter vorantreiben. Dabei sollen auch die Interessen des Mittelstandes und kleinerer Unternehmen berücksichtigt werden. Die nachhaltige Digitalisierung des Planens, Bauens und Betreibens von Bauwerken ist ein wichtiger Beitrag für den Erfolg von Bundesbauprojekten und zugleich auch ein entscheidender Baustein für die Wettbewerbsfähigkeit der weltweittätigen deutschen Planer, Bauunternehmen und Betreiber von Bauwerken.

1. Abstract:

Auch wenn die deutsche Planungs- und Bauwirtschaft ihr Können bei vielen Projekten bereits unter Beweis stellen konnte, kam es insbesondere zu Anfang des 21. Jahrhunderts bei einigen Bauprojekten bei der Umsetzung zu Verzögerungen und Kostenüberschreitungen. Um den Fehlentwicklungen entgegen zu wirken, rief das damalige Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) die Reformkommission Bau von Großprojekten ein. Im Juni 2015 legte die Kommission Ihre Empfehlungen vor. Eine der zehn Kernhandlungsempfehlungen bezog sich dabei auf die verstärkte Nutzung von BIM.

Um die Nutzung von BIM insbesondere im Infrastruktur- und infrastrukturbezogenen Hochbau zu unterstützen, initiierte die Reformkommission die Erstellung des Stufenplans Digitales Planen und Bauen. Der Stufenplan ist ein Modell, das den Weg zur Anwendung des digitalen Planens Bauens und Betreibens transparent beschreibt. Ziel des Stufenplans ist die schrittweise Einführung des BIM im Zuständigkeitsbereich des BMVI.

Im Zuge dessen und als Erkenntnisgewinn in verschiedenen BIM Pilot-Projekten aller Verkehrsträger hat die Bundesregierung BIM Deutschland als Zentrum für die Digitalisierung des Bauwesens gegründet. BIM Deutsch-

land ist die zentrale Anlaufstelle des Bundes für alle relevanten Informationen und Aktivitäten rund um das Thema BIM.

Im Bereich Bundesfernstraßen wird derzeit unter Federführung von BIM Deutschland im Dialog mit den Landesstraßenbauverwaltungen und der DEGES ein Masterplan entwickelt, der die Auswahl und sukzessive Einführung der BIM Anwendungsfälle festlegt. Darüber hinaus ist angedacht, ab 2021 den Bedarf an BIM in der Betriebsphase und die sich daraus ergebenden Anforderungen der BIM Nutzung in der Planungs- und Bauphase im Bundesfernstraßenbau noch genauer zu untersuchen, sowie eine Strategie für die Zeit nach 2020 zu erarbeiten. Durch die Gründung des Zentrums für die Digitalisierung des Bauwesens werden die Aktivitäten des BMVI und BMI zur Implementierung von BIM gebündelt. BIM Deutschland wird den Bund, die Länder und Kommunen und alle weiteren Akteure im Bauwesen bei der Digitalisierung des Planens, Bauens und Betreibens unterstützen und insbesondere Grundsatzwissen, Leitfäden, Know-how, praktische Anleitungen und Vorlagen für die erfolgreiche und nachhaltige Digitalisierung der gesamten Wertschöpfungskette bereitstellen. Dazu gehören u.a. abgestimmte Standards und Arbeitshilfen, ein BIM Portal, Aus- und Fortbildungskonzepte sowie eine übergreifende BIM-Strategie für die Zeit nach 2020.

Auswirkungen der Corona-Pandemie auf die Mobilität und den Straßenverkehr

Dr.-Ing. Marion Mayer-Kreitz

Die Autobahngesellschaft des Bundes mbH
Niederlassung Südwest, Geschäftsbereich C
Stuttgart-Obertürkheim
Deutschland

Dr.-Ing. Anne Benner

Regierungspräsidium Tübingen – Landesstelle für Straßentechnik
Referat 95 – Straßenverkehrszentrale Baden-Württemberg
Stuttgart
Deutschland

Zusammenfassung

Der mit der Corona-Pandemie verbundene Lockdown im Frühjahr 2020 hat aufschlussreiche Einblicke unter anderem in das System „Straßenverkehr“ gewährt. Durch die Corona-Pandemie ist eine signifikante kurzzeitige Entspannung der Verkehrssituation eingetreten. Auswertungen der Landesstelle für Straßentechnik haben gezeigt, dass der Lockdown zu einem deutlichen Rückgang des gesamten Straßenverkehrs führte. Dieser war im Berufsverkehr, insbesondere aber im Freizeitverkehr zu verzeichnen. In dieser Situation funktionierte das Straßennetz weitestgehend ohne verkehrliche Einschränkungen. Durch Corona hat eine Veränderung des Modal Split hin zu Auto und Fahrrad, weg vom ÖV/ÖPNV stattgefunden. Trotz der Beibehaltung von Kurzarbeit und Home-Office befanden sich (Stand Juni 2020) die Verkehrsmengen im Straßenverkehr bereits wieder auf dem vorhergehenden Regelniveau.

Vor dem Hintergrund der 2. Corona-Welle im Herbst 2020 ist langfristig nicht mit einer Entspannung der Straßenverkehrssituation zu rechnen. Umso wichtiger ist es, mit Nachdruck jetzt Maßnahmen zur Verkehrsvermeidung und -verlagerung zu forcieren, damit die Veränderung des Modal Split nicht zementiert wird. Um einen Beitrag zur Verkehrswende zu leisten, sollte zunächst durch Information und zeitnah durch Maßnahmen der Steuerung bzw. Lenkung des Straßenverkehrs ein Umstieg auf nachhaltige Verkehrsmittel erzielt werden.

1. Einleitung

Die Corona-Pandemie hat seit März 2020 zu einschneidenden Veränderungen in der Mobilität der Menschen geführt. Einschränkungen in der Wirtschaft und im Schulbetrieb, Reise- und Kontaktbeschränkungen haben deutliche, abrupte Änderungen im Verkehrsgeschehen bedingt. Betroffen sind alle Verkehrszwecke, vor allem der Arbeits-, Ausbildungs- und Freizeitverkehr. Die Veränderungen und ihr zeitlicher Verlauf ermöglichen einen neuen Einblick in die Zusammenhänge zwischen Verkehrszwecken und realisierter Mobilität. Im Gegensatz zu einer stichprobenhaften Mobilitätsbefragung konnten die Auswirkungen der Maßnahmen auf alle Verkehrsteilnehmer beobachtet werden.

2. Corona-Chronik in Deutschland

Die 1. Welle der Corona-Pandemie hat Deutschland im März 2020 erfasst, und führte zu einem Lockdown in Baden-Württemberg ab dem 16. März 2020, mit weitgehenden Einschränkungen für das öffentliche Leben, s. Bild 1. Dieser Lockdown brachte erhebliche wirtschaftliche und soziale Folgen mit sich, u.a. durch die Schließung von Schulen und Kinderbetreuungseinrichtungen und die Verlagerung des Unterrichts in den digitalen Raum oder durch die Änderungen im Arbeitsalltag durch Home-Office. Schrittweise Lockerungen erfolgten ab dem 20. April. Regel-Schulunterricht fand jedoch erst nach den Sommerferien wieder statt. Ein großer Anteil der Beschäftigten befindet sich seit März 2020 im Home-Office. Mit steigenden Infektionszahlen wurden im Herbst 2020 die Maßnahmen zur Pandemiebekämpfung wieder verschärft, bis hin zu einem erneuten Teil-Lockdown (ohne

Schulen und Kinderbetreuungseinrichtungen) ab dem 2. November 2020.

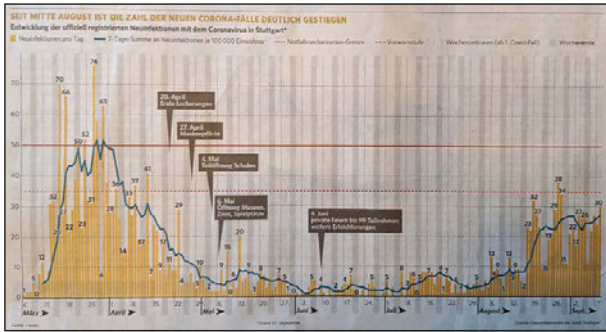


Bild 1: Entwicklung der offiziell registrierten Neuinfektionen mit Covid-19 in Stuttgart [Stuttgarter Zeitung, 11.09.2020]

Dabei haben sich die Infektionsquellen verschoben, s. Bild 2. Während in der 1. Welle ein Großteil der Ansteckungen in Heimen, Krankenhäusern und ähnlichen Einrichtungen erfolgt, infizierten sich in der 2. Welle Personen vor allem in privaten Haushalten, in der Freizeit und am Arbeitsplatz. Folgerichtig wurde mit dem 2. Lockdown versucht, Kontakte in diesen Bereichen zu minimieren.

Ansteckungen in Verkehrsmitteln fanden vergleichsweise sehr selten statt, vermutlich auch wegen der seit 27. April 2020 geltenden Maskenpflicht. Dennoch hat ein Modal Shift weg von den öffentlichen Verkehrsmitteln stattgefunden.

3. Auswirkungen von Corona

3.1 Verkehrliche Auswirkungen

Die Corona-Pandemie hat zu einer deutlichen Veränderung der Mobilität geführt.

Die BMBF-Studie MobiCor hat die durch die Corona-Pandemie in Deutschland veränderte Mobilität untersucht.

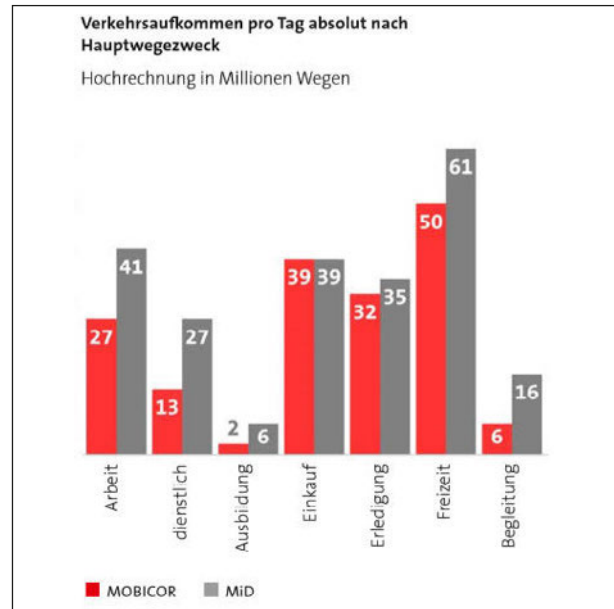


Bild 3: Mobilitätsvergleich 2020 und 2017 [MobiCor, Juli 2020]

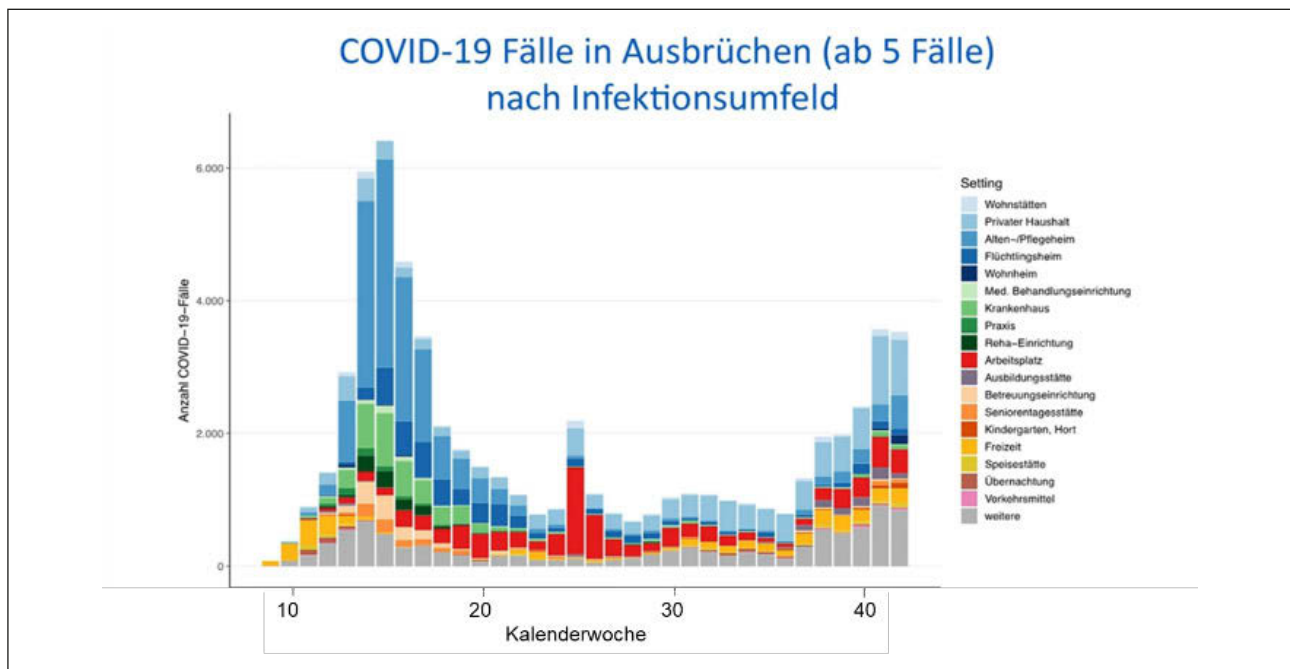


Bild 2: Covid-19-Fälle nach Infektionsumfeld [ntv]

Im Vergleich zur Studie „Mobilität in Deutschland“ (MiD, 2017) zeigen sich deutliche Rückgänge des Verkehrsaufkommens bei allen Wegezwecken außer Einkauf und Erledigungen. Ein Trend geht zu einem höheren Anteil an Online-Einkäufen. Während der Beschränkungen waren weniger Menschen unterwegs (60 % statt 85 %), die zurückgelegten Entfernungen waren deutlich kürzer (10 km statt 40 km). [MobiCor, 2020]

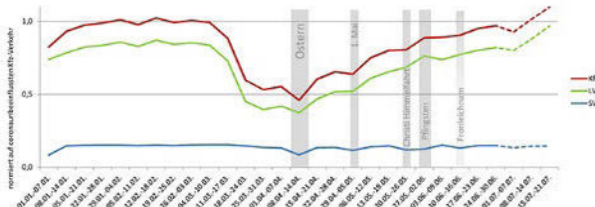


Bild 4: Durchschnittliche Verkehrsentwicklung an Dauerzählstellen in Deutschland [BASt, 2020]

Auf dem Straßennetz hat die Corona-Krise einen deutlichen, aber temporären Rückgang der Verkehrsmengen ausgelöst, s. Bild 4. Dieser begann ab der 12. Kalenderwoche. Im weiteren Verlauf des Monats März 2020 zeigt sich ein bundesweiter Rückgang der Mobilität um rund 40 % gegenüber dem Vorjahr. An Sonntagen fiel der Rückgang stärker aus und betraf daher vor allem verzichtbare Fahrten im Freizeitverkehr. Im Laufe des April und Mai 2020 nahm die Mobilität wieder zu, bis im Juni 2020 die Verkehrszahlen wieder weitgehend denjenigen des Vorjahres entsprachen. Der Schwerverkehr war nur in geringerem Maße betroffen.

Auswertungen der Integrierten Verkehrsleitzentrale Stuttgart (IVLZ), der Landesstelle für Straßentechnik (LST) und des Verkehrsministeriums, Ref. 22 (VM) haben für den Raum Stuttgart Folgendes gezeigt: Auf den Bundesautobahnen nahm der großräumige Verkehr durch den Lockdown im März 2020 um ca. 50 % von Montag-Freitag sowie um 70-80 % am Wochenende ab, s. Bild 5. Auf den durch die LST ausgewerteten Bundesstraßenquerschnitten nahm der Verkehr um 40 % von Montag-Freitag sowie 60-70 % am Wochenende ab.

Innerhalb der Landeshauptstadt Stuttgart führte der Lockdown zu einem Verkehrsrückgang auf den Straßen von maximal 20 % in den Spitzenstunden bzw. 40 % bezogen auf den Gesamtverkehr.

Verschiedene Institutionen haben eigene Untersuchungen zu Änderungen im Mobilitätsverhalten durchgeführt, z.B. durch Auswertungen von Mobilfunkdaten oder von Anfragen zu Routenführungen. Diese Auswertungen zeigen ein ähnliches Bild, s. beispielhaft Bild 6.

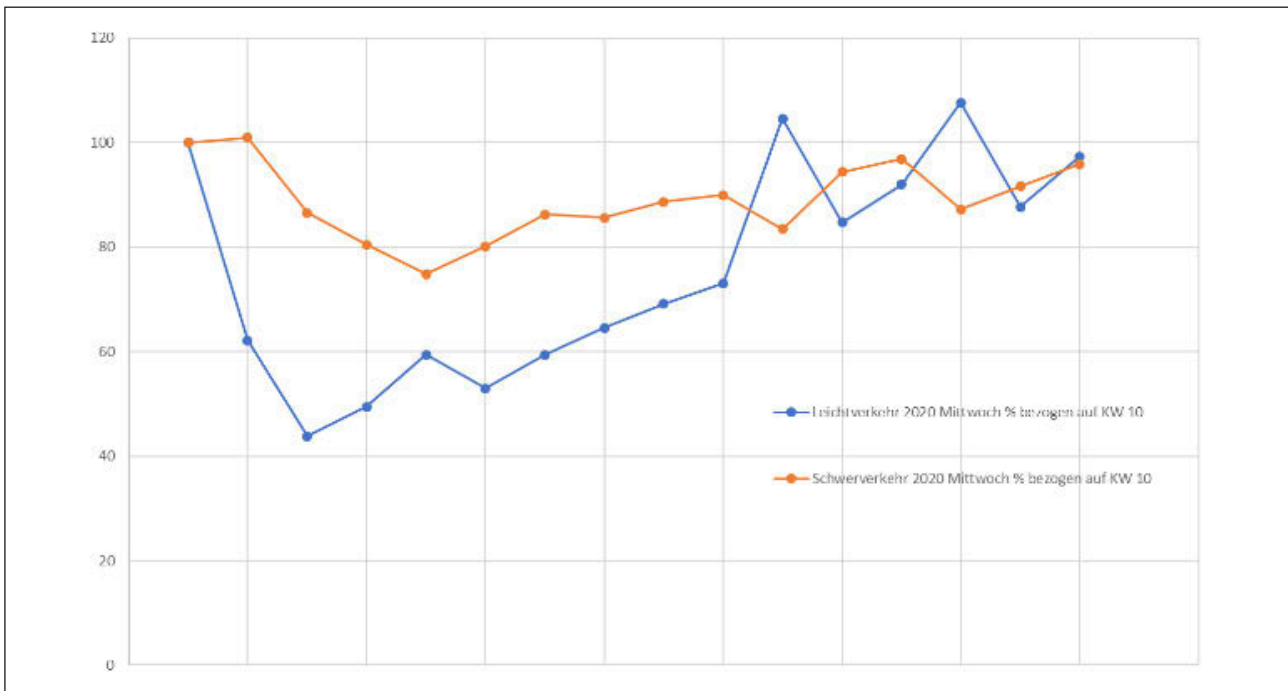


Bild 5: Prozentuale Ab- und Zunahme der Verkehrsmengen an der A8 bei Pforzheim-Ost [Landesstelle für Straßentechnik und Ministerium für Verkehr, 2020]

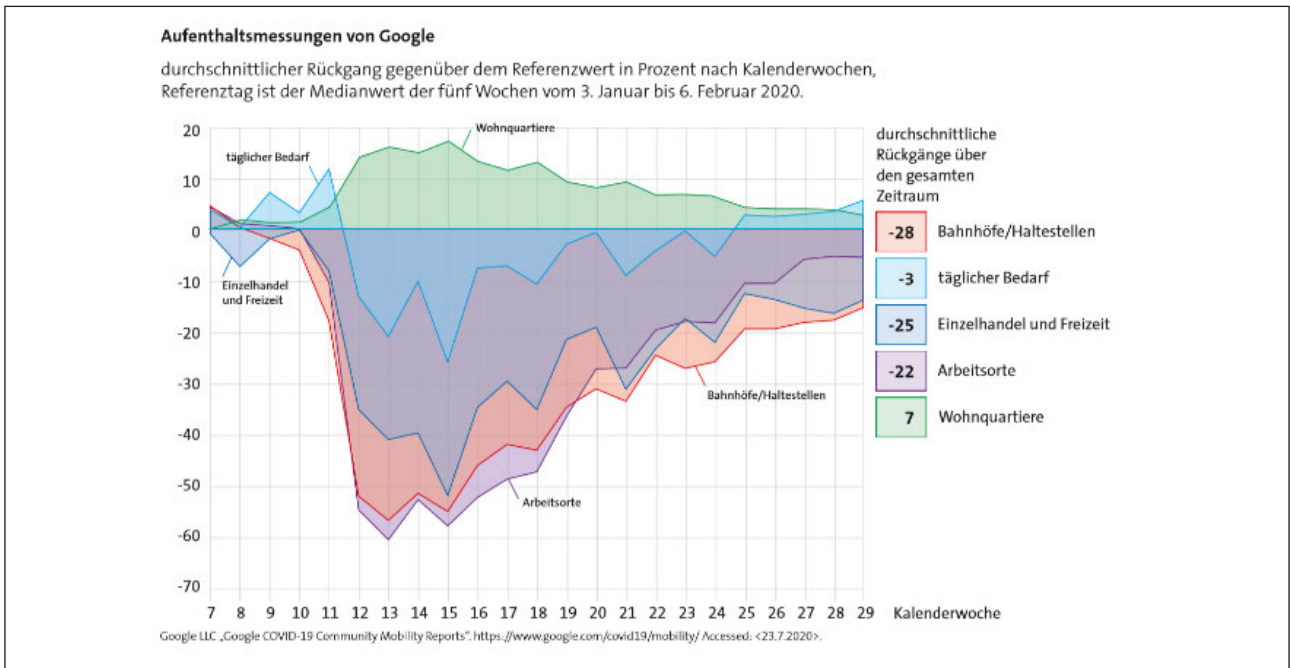


Bild 6: Aufenthaltsmessungen [Google, 2020]

Dienstreisen wurden größtenteils gestrichen und durch Online-Konferenzen ersetzt. Die Zahl der Ein- und Aussteiger im deutschen Flugverkehr verzeichnete im März 2020 Einbußen von 99 % [Statist. Bundesamt].

Öffentliche Verkehrsmittel verzeichnen deutliche Fahrgastzahlenverluste: minus 71 % im Fernverkehr (April-Juni 2020), minus 59 % im schienengebundenen Nahverkehr, minus 36 % im Liniennahverkehr mit Bussen und minus 41 % für Straßenbahnen. Neben Berufspendlern und Schülern fehlen Touristen und Gelegenheitskunden. Der Liniennahverkehr mit Fernbussen kam praktisch zum Erliegen (minus 96 %). [Stuttgarter Zeitung, 29.10.2020] In der BMBF-Studie „Mobicor“ wurde ermittelt, dass sich das absolute Verkehrsaufkommen im Mai 2020 aufgrund von Lockdown, Home-Office und Kurzarbeit gegenüber

der Referenz MiD (Studie „Mobilität in Deutschland“) um ca. 30 % von 225 auf 155 Mio. Wege verringert hat.

3.2 Wirtschaftliche Auswirkungen

Die Corona-Krise sorgte für den stärksten Rückgang des Bruttoinlandsprodukts (BIP) in einem Quartal seit Beginn der Berechnungen 1970. Die Veränderung im 2. Quartal 2020 betrug preis-, saison- und kalenderbereinigt zum Vorquartal - 9,7 %, auf 9.279 € je Einwohner, s. Bild 7.

Aber auch in Schweden, wo im Frühjahr 2020 kein Lockdown erfolgte, sank das BIP, um 8,6 %. D. h., der Lockdown in Deutschland ist nur teilweise für den Rückgang des BIP verantwortlich.

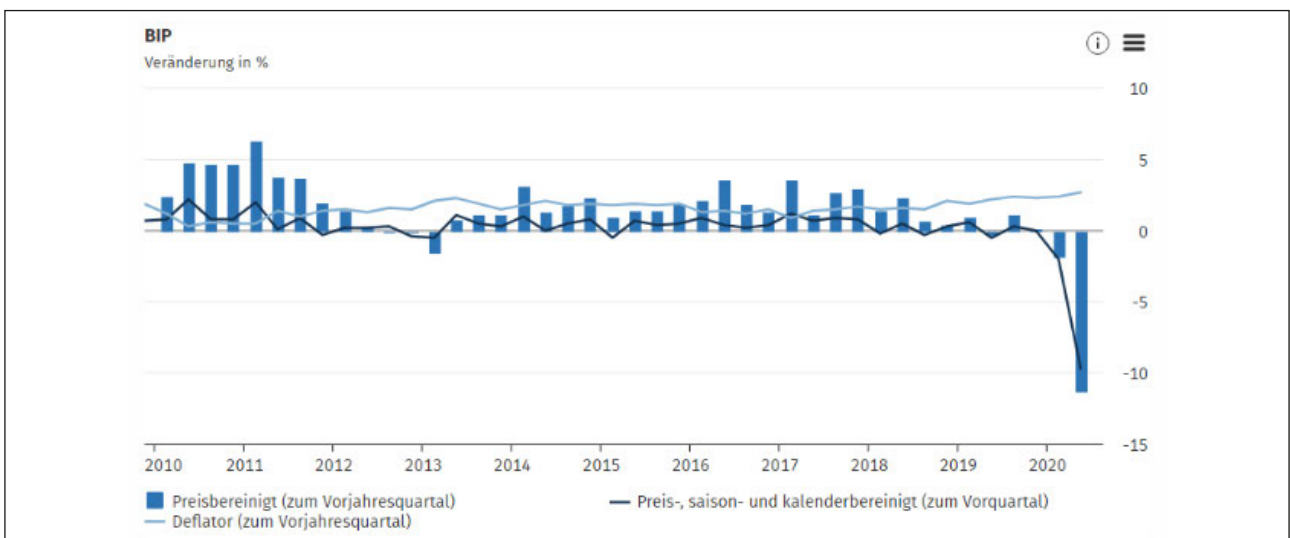


Bild 7: Veränderung des BIP [Statistisches Bundesamt, 2020]

Im April 2020 lag der Anteil der Betriebe in Baden-Württemberg, die Kurzarbeit angezeigt haben, bei 53 %. Stärker betroffen war nur Bayern. [Statist. Bundesamt] Ein weiterer wesentlicher, nicht quantifizierbarer Anteil der Beschäftigten befindet sich im Home-Office, laut Schätzungen ca. 60 %. [ifo-Institut]

Die ungleiche Verteilung von Möglichkeiten für Home-Office spiegelte sich im Mobilitätsverhalten wider. Lediglich ein Fünftel der Menschen mit niedrigen Lebenslagen¹ haben von zu Hause gearbeitet, während es in den mittleren und höheren Lebenslagen mehr als ein Drittel waren. Umgekehrt verhielt es sich mit der Kurzarbeit: In den unteren Lebenslagen waren rund ein Fünftel der Beschäftigten betroffen, von den oberen Lebenslagen kaum mehr als 5 Prozent [MobiCor, 2020].

3.3 Trends

Personen in Kurzarbeit oder im Home-Office sind derzeit nicht oder nur in geringerem Umfang als gewohnt im Arbeitspendel-Verkehr unterwegs. Dennoch ist das Straßennetz wieder auf Vorjahresniveau belastet. Viele Verkehrsteilnehmer weichen vom öffentlichen Verkehr auf das Automobil oder Fahrrad aus (s. Bild 8), da sie sich im eigenen Auto oder an der frischen Luft „sicherer“ fühlen. Die Carsharing-Branche ist genauso vom Einbruch der Nutzungszahlen betroffen wie der öffentliche Personenahverkehr.

Eine Befragung des DLR im Mai 2020 bestätigt dies, s. Bild 8. Sechs Prozent aller Personen ohne Auto im Haushalt denken aufgrund der Verbreitung des Coronavirus über die Anschaffung eines Pkw nach.

Jeder zehnte Befragte der Mobicor-Studie gab an, aktuell den ÖPNV grundsätzlich zu meiden und lieber auf Wege zu verzichten. Ein Drittel weiche grundsätzlich auf das Auto aus. Diese Entwicklung ist lebenslagen-unabhängig (Bild 9).

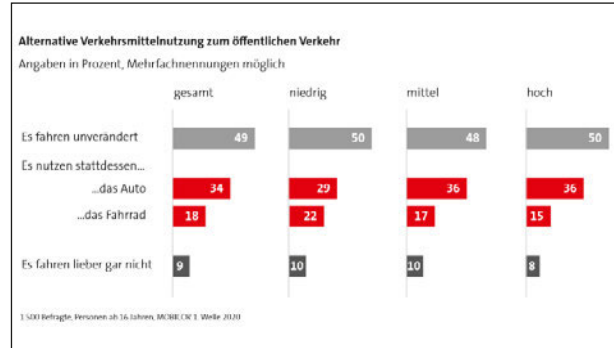


Bild 9: Alternative Verkehrsmittelnutzung durch Corona nach Einkommensklassen [MobiCor, Juli 2020]

Diese Entwicklung ist vor dem Hintergrund des gegenüber Vor-Corona nicht eingeschränkten ÖV-Angebotes zu betrachten, das – außer im Schulbusverkehr – für ein ausreichendes Platzangebot sorgt. Trotz eines sehr geringen Anteils nachgewiesener Infektionen in öffentlichen Verkehrsmitteln gilt: Wer fahren muss, steigt lieber auf das Auto oder das Fahrrad um.

Insgesamt bewertet die Mehrheit der Befragten, die im Home-Office arbeiten, diese Option als positiv. Die Mehrheit derer (59 %), die aktuell von Zuhause aus arbeiten, kann sich vorstellen, dies auch langfristig vermehrt zu tun [DLR-Umfrage 2020].

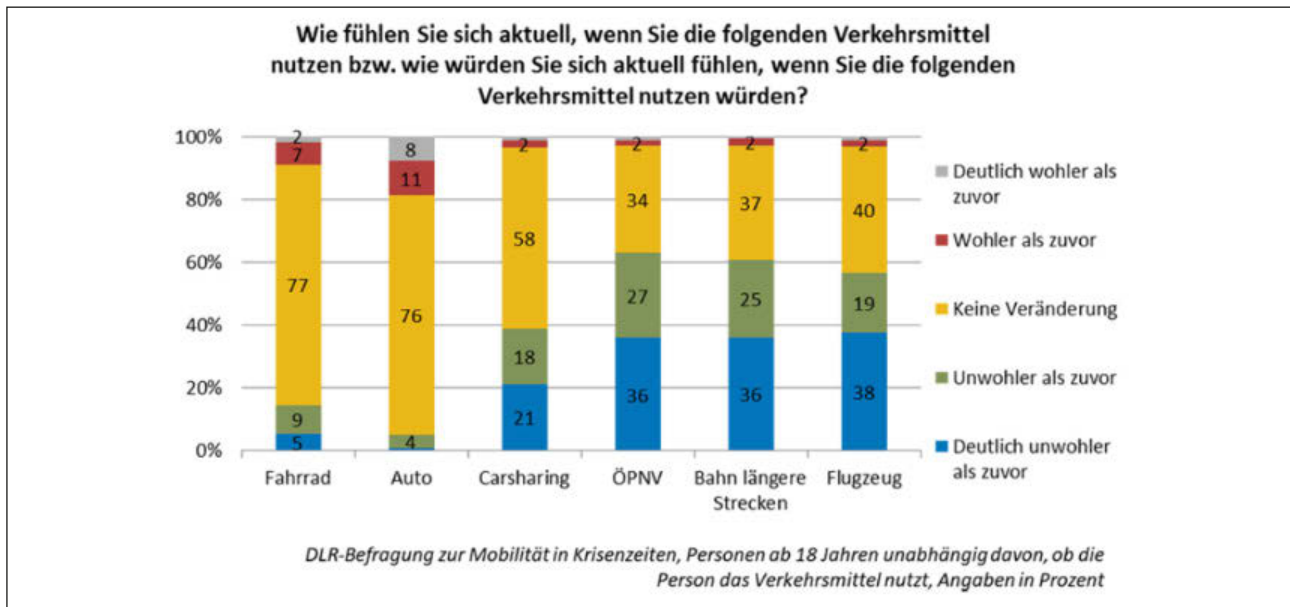


Bild 8: Verkehrsmittelnutzung und Sicherheit [DLR, 2020]

¹ Der infas-Lebenslagenindex (ilex) ist ein von infas entwickelter Sozialindikator für die Bundesrepublik Deutschland.

Es ist zu vermerken, dass während der gesamten verschärften Lockdown-Phase eine Grundmobilität erhalten geblieben ist. Die mittleren Unterwegszeiten lagen im Mai/Juni 2020 mit 75 Minuten nicht erheblich unter den sonst üblichen rund 80 Minuten. Zeit, die für lange Wege gespart wurde, wurde also offenbar für Ausgänge zu Fuß oder mit dem Fahrrad umgewidmet.

Eine weitere Befragungswelle der MobiCor-Studie im Oktober 2020 zeigte – vorbehaltlich der finalen Auswertungen - einen weiterhin beeinträchtigten ÖPNV, zurückgehende Fußverkehrsanteile, stagnierende Fahrradwerte und ein leichtes Plus beim Auto, bei einem insgesamt zunehmenden, aber noch nicht komplett wiedererlangten Mobilitätsniveau. Bei der Fahrradnutzung ist die jahreszeitliche Veränderung durch das Wetter zu berücksichtigen.

Es ist davon auszugehen, dass die 2. Corona-Welle im Herbst 2020 diese veränderten Mobilitätsmuster eher noch verfestigt.

4. Verkehrswende 2030

Das Verkehrsministerium Baden-Württemberg hat in der Studie „Klimaschutzszenario 2030“ deutlich gemacht, mit welchen Maßnahmen und Infrastrukturvorhaben die Klimaziele für das Land erreicht werden können. Auf dieser Basis wurden vier Eckpunkte als notwendige Größenordnung der Veränderung der Mobilität identifiziert. Demnach wäre es bis zum Jahr 2030 aus Klimaschutzgründen notwendig, dass

- der Öffentliche Verkehr (ÖV) verdoppelt wird,
- jedes dritte Auto klimaneutral angetrieben wird,
- ein Drittel weniger Kfz-Verkehr in Städten unterwegs ist und
- jeder zweite Weg selbstaktiv mit Rad oder zu Fuß zurückgelegt wird (Bild 10).



Bild 10: Verkehrswende 2030 [Ministerium für Verkehr BW]

Dies erfordert z.B. mehr Elektrofahrzeuge und mehr Ladesäulen, mehr regenerativ erzeugten Kraftstoff, zunehmende Verlagerung auf umweltfreundliche Verkehrsmittel, wie Bahn, Bus, Rad und Fußverkehr als auch die Nutzung der Digitalisierungstechnologien. Dazu ist das Land bereit, maßgebliche Investitionen zu tätigen.

Inwieweit die der Studie zugrundeliegenden Prognosen bzgl. u.a. Erwerbstätigkeit, Wachstum des Bruttoinlandsproduktes und Pkw-Bestand noch Gültigkeit haben, ist zu prüfen. Unterstellt wurden beispielsweise für Baden-Württemberg

- eine Zunahme der Erwerbstätigen am Arbeitsort von 3,0 %, d.h. die Zahl der Erwerbstätigen wächst von 5,59 Mio. auf 5,76 Mio. in 2030,
- in der BVWP-Prognose mit 1,36 % p. a. deutlich überdurchschnittliche Wachstumsraten im Zeitraum 2010 bis 2030,
- eine Erhöhung der Zahl der Pkw von 5,7 Mio. auf 6,61 Mio. zwischen 2010 und 2030.

Politische Stellschrauben, um den Modal Split wieder zugunsten des ÖV zu verschieben, sind sowohl Pull- als auch Push-Maßnahmen. Nur das Szenario „Klima 2030“ mit Anreizen und auch Restriktionen ließ in der Prognose ein Erreichen der Klimaschutzziele zu. Dies betrifft vor allem Maßnahmen der Angebots- und Preisgestaltung im Individual- und öffentlichen Verkehr.

Laut einem Bericht der Vereinten Nationen hat die Corona-Pandemie den Klimawandel nicht merklich ausgebremst. Zwar seien die weltweiten CO₂-Emissionen im April 2020 um rund 17 % im Vergleich zum Vorjahr gesunken, aber bereits Anfang Juni 2020 lagen sie nur noch rund 5 % unter denen des Jahres 2019.

5. Maßnahmen

Die Corona-Pandemie hat gezeigt, dass selbst Maßnahmen, deren Auswirkungen mit denen des Lockdowns im März 2020 vergleichbar sind, hinsichtlich des Klimawandels nur sehr übersichtliche Wirkungen zeigen. Dennoch kann es einer Kombination aus staatlichem Handeln und individuellen Veränderungen des Lebensstils gelingen, einen wesentlichen Beitrag zur Verkehrswende zu leisten.

Dazu sind jedoch Maßnahmen erforderlich, die gewohnte Mobilitätsmuster aufbrechen, sei es durch zusätzliche Anreize oder auch restriktive Maßnahmen.

Die Politik kann Anreize (Pull-Maßnahmen) für eine veränderte Verkehrsmittelnutzung schaffen, indem sie u.a.: im ÖV für einen konsequenten Ausbau des Angebotes, ausreichende Kapazitäten und Zuverlässigkeit sowie sinkende Fahrpreise sorgt

- die Umsetzung kommunaler Verkehrsentwicklungskonzepte fördert
- die Möglichkeiten digitaler Informationen im Verkehr ausbaut
- im innerstädtischen Verkehr Maßnahmen zur Geschwindigkeitsreduktion, zur sicheren Führung des Rad- und Fußverkehrs sowie zur Bevorrechtigung des öffentlichen Verkehrs umsetzt
- das Radwegenetz kontinuierlich ausbaut

- die Landinfrastruktur Elektromobilität ausbaut
- RideSharing-Angebote unterstützt
- Effizienzsteigerungen im Schienengüter- sowie im kombinierten Verkehr bewirkt
- Home-Office unterstützt, um Wege zu vermeiden.

Auf der anderen Seite sind flankierende Maßnahmen (Push-Maßnahmen) erforderlich:

- Verteuerung der privaten Verkehrsmittelnutzung inkl. Regelungen zu Firmenwagen
- Rückbau oder Umnutzung öffentlicher Parkierungsflächen
- Erhöhung der Lkw-Maut
- Schrittweise Streichung der Pendlerpauschale

Wenn es gelingen soll, die Klimaziele zu erreichen, kann dies nur durch eine Kombination aller aufgeführten Maßnahmen geschehen.

6. Ausblick

Trotz der mit der Corona-Pandemie verbundenen großen Einschränkungen und Reduzierungen konnten keine signifikanten Auswirkungen auf dem Klimawandel festgestellt werden. Dies betraf ja nicht nur den Straßenverkehr. Auch der weltweite Luftverkehr kam zu einem

Großteil zum Erliegen. Firmen und Fabriken drosselten ihre Produktion.

Das bekräftigt, dass Maßnahmen zum Erreichen der Klimaziele in allen Bereichen ansetzen müssen. Der Straßenverkehr kann einen Beitrag leisten. Damit dieser Beitrag eine nachhaltige Wirkung zeigt, muss der durch Corona erfolgte Modal Shift zum motorisierten Individualverkehr rückgängig gemacht werden. Dazu werden Pull-Faktoren alleine nicht ausreichen.

Durch die Pandemie wurden gewohnte Mobilitätsmuster aufgebrochen, leider teilweise in eine unerwünschte Richtung. Die gute Nachricht ist aber: Es ist möglich, etwas zu bewirken, wenn wir alle bereits sind, unsere langjährige „Komfortzone“ zu verlassen.

Literatur

- [1] BMBF-Studie MobiCor, 2. Bericht Juli 2020
- [2] Statistisches Bundesamt, 2020
- [3] Agora Verkehrswende, 2020
- [4] DLR-Befragung: Wie verändert Corona unsere Mobilität?, Mai 2020
- [5] Ministerium für Verkehr BW, Studie „Klimaschutzszenario 2030“
- [6] Vereinte Nationen, Bericht „United in Science 2020“



**BIM im
Straßenwesen**

Building Information Modeling (BIM) in der Straßenbauverwaltung Baden-Württemberg – Umsetzung und Evaluierung von BIM-Pilotprojekten

Tanja Jakovljevic

Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg (VM), Abt. 2 Straßenverkehr, Straßeninfrastruktur

Zusammenfassung

Hochbauprojekte mit Building Information Modeling (BIM) auszuführen, ist bereits immer häufiger Realität. Als Ergebnis der Reformkommission „Bau von Großprojekten“ hat das BMVI im Rahmen eines Aktionsplans einen Leitfaden für Großprojekte entwickeln lassen. Zur praktischen Umsetzung der darin enthaltenen Empfehlungen wird unter anderem die Methode BIM in den Fokus gerückt.

Zukünftig stellt sich die Frage, wie BIM für Bundes- und Landesstraßen in Baden-Württemberg als Regel-Methode implementiert werden kann. Dabei möchte das Land Baden-Württemberg bei der Umsetzung von BIM eine Vorreiterrolle einnehmen. BIM stellt gegenüber konventionell geplanten Bauprojekten einen Paradigmenwechsel dar. Aus diesem Grund wurden 2019 acht Projekte als Pilotmaßnahme benannt. Ziel ist es, neue Erfahrungen in der Umsetzung von BIM zu sammeln und Maßnahmen für den organisatorischen und technischen Bereich abzuleiten, um die Planung und Ausführung künftiger Maßnahmen zu optimieren.

1. Einführung

Das Land Baden-Württemberg treibt die Einführung der Arbeitsmethodik BIM in der Straßenbauverwaltung intensiv voran.

Seit 2016 erprobt das Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg die Anwendung der BIM-Methode anhand des Großprojekts „Zweite Gauchachtalbrücke, Ortsumfahrung Döggingen im Zuge des Ausbaus der B 31“. Dabei wurden wichtige Erkenntnisse bereits geliefert, um die Digitalisierung des Straßenbaus aktiv weiterzuentwickeln.

Zudem wurde das Pilotprojekt „BIM SE“ (BIM Straßenerhaltung) umgesetzt, bei dem eine Straßenerhaltungsmaßnahme mit der BIM-Methode abgewickelt werden soll.

Hierbei wurde auch eine Verknüpfung mit dem „Qualitätsstraßenbau 4.0“ durchgeführt, der eine Digitalisierung des Herstellprozesses zum Ziel hatte.

Um vielfältigere Erkenntnisse zur Umsetzung von BIM zu erhalten, werden im Bereich der Bundes- und Landesstraßen derzeit insgesamt acht BIM-Pilotprojekte mit verschiedenen Anwendungsfällen durchgeführt. Die operative Ebene wird dabei besonders durch die Bereitstellung spezieller BIM-Hardware, umfangreicher Schulungen (Basis-Schulungen, Software-Schulungen), aller erforderlichen Software-Module sowie eigener Konzepte und Handlungshilfen unterstützt.

2. BIM- Konzept der SBV

Mit der Initiierung der Pilotmaßnahmen war ein BIM-Konzept für die Straßenbauverwaltung Baden-Württemberg unabdingbar.

Der Inhalt des Konzeptes enthält eine Einführung von BIM im Straßenwesen, stellt einen Fahrplan für die Einführung von BIM im Straßenwesen vor und gibt allen Dienststellen eine Hilfestellung für die Herangehensweise, die Planung und die Umsetzung von BIM-Projekten in der SBV BW.

Die Ausgestaltung des Konzeptes wird durch das Verkehrsministerium (VM) und der Landesstelle für Straßentechnik (LST) gemeinsam formuliert, gestaltet und sukzessive fortgeschrieben. Die grafische und redaktionelle Aufbereitung bis zur Druckreife erfolgt durch Schrift & Grafik Stuttgart. Die Drucklegung erfolgt durch die Henkel GmbH Druckerei Stuttgart.

INHALT	
> VORWORT	Winfried Hermann, N Klaus Tappeser, Regie
> BIM – GRUNDL.	1.1 Bedeutung von BI 1.2 Einführung von B 1.3 BIM-Grundlagen 1.4 Der BIM-Prozess
> WEITERBILDUN	2.1 Schulungen 2.2 Wissensmanagem
> DIE AUFTRAGG	3.1 Leitfaden Auftrag 3.2 Auftraggeber-Info
> LEITFADEN UN	4.1 Leitfaden BAP 4.2 Muster BIM-Abwi
> LEISTUNGSBES	

Abbildung 1: BIM-Konzept für das Straßenwesen Baden-Württemberg

Ziel des Dokumentes ist, eine Handreichung mit wesentlichen Informationen für die SBV BW zu erstellen und dieses für interne und externe Zwecke zu nutzen. Das Konzept ist eine Zusammenfassung aller aktuell vorhandener, wichtiger und valider Dokumente wie den Handreichungen von BIM4INFRA 2020, der VDI Richtlinie 2552, der DIN ISO 19650 sowie landesinterner Informationen.

Nach der BIM-Pilotierung soll das BIM-Konzept um die Erfahrungen aus den Projekten angereichert werden. Gleichmaßen werden Entwicklungen auf Bundesebene behandelt.

3. Evaluation der BIM-Pilotmaßnahmen in der SBV

Im November 2019 sind im Bereich Bundes- und Landesstraßen insgesamt acht BIM-Pilotprojekte ausgewählt worden.

Die Projekte wurden so gewählt, dass in möglichst unterschiedlichen Bereichen sowie einer zeitlichen Versetzung der Maßnahmen, vielfältige Erfahrungen gesammelt werden können. Der Fokus lag hierbei auf Kleinmaßnahmen wie beispielsweise der Neubau einer Lärmschutzwand, kleinere FDE-Maßnahmen, Erneuerung einer kleinen Brücke oder eines Durchlasses, Erneuerung einer Stützwand oder der Neubau eines Radweges.

Regierungspräsidium Freiburg

- B 31 OU Döggingen Gauchachtalbrücke-Süd
- B 31 Lückenschluss Unadingen – Döggingen

Regierungspräsidium Karlsruhe

- L 362 Ersatzneubau Stützwand Neumühle

Regierungspräsidium Stuttgart

- B 29 OU Ebnat

- L 1103 FDE OD Pfaffenhofen - OD Weiler a.d.Z.

Regierungspräsidium Tübingen

- L 259 Rißkanalbrücke

- L 1236, FDE Wipplingen – Blaustein

Abbildung 2: BIM-Pilotmaßnahmen der SBV BW

Nach Festlegung der Maßnahmen wurde gemeinsam zwischen den einzelnen Projekten und dem VM der BIM-Umfang festgelegt. Dabei lag die Priorisierung auf die personellen Kapazitäten und das zum Teil bereits vorhandene Wissen der einzelnen Projektmitarbeiterinnen und Mitarbeitern. So hat das Pilotprojektteam der „2. Gauchachtalbrücke“ deutlich mehr und umfangreichere Anwendungsfälle (AwF) zur Pilotierung ausgewählt als andere.

3.1 Schulungen

Trotz unterschiedlicher Wissensstände bei den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern in der SBV, hat das Verkehrsministerium BW entschieden, zu Beginn eine gemeinsame und einheitliche Wissensbasis zu schaffen. Aus diesem Grund fanden im ersten Halbjahr 2020 eine BIM-Webinare-Reihe statt. Diese war in insgesamt drei Blöcken geteilt. Block eins enthielt zunächst die Grundlagen:

- Was bedeutet BIM?
- Begriffserläuterungen

Der zweite Block, der Webinar-Reihe vermittelte die Inhalte anhand von Praxisbeispielen:

- Der Deutschen Bahn,
- DEGES und
- Zweite Gauchachtalbrücke

Der dritte und letzte Block der BIM-Webinar-Reihe hat den Teilnehmern die BIM-Koordination mit Unterstützung von einem Softwarebeispiel nähergebracht. Zielgruppe dieser BIM-Webinar Reihe waren die Pilotreferate. Die Durchführung der BIM-Webinare hat die IB&T Software GmbH umgesetzt.

Für die Zukunft soll ein umfangreiches Schulungskonzept für die gesamte Straßenbauverwaltung BW erstellt und umgesetzt werden. Das Konzept ist aktuell, durch einen externen BIM-Berater in der Ausarbeitung. Neben

geplanten rollenbezogenen Präsenzs Schulungen soll das Konzept auch unterschiedliche Softwareschulungen erfassen.

3.2 Hardware und Software

Zum Start der acht Pilotprojekte und durch die Erkenntnisse aus den bereits durchgeführten Pilotmaßnahmen, entschloss das Verkehrsministerium BW, die Pilotmaßnahmen mit der notwendigen Hardware auszustatten. Der aktuelle Standard in der Straßenbauverwaltung BW genügt zum aktuellen Stand nicht aus, um die BIM-Methode vollumfänglich umzusetzen.

Nach Festlegung der Software hat sich relativ zügig eine Mindestkonfiguration für die Hardware herausgestellt. Die Hardware wurde im Jahr 2020 für alle Pilotreferate durch das Verkehrsministerium finanziert und mit Unterstützung der LST beschafft.

Im nächsten Schritt galt es die eingekauften Softwarelizenzen auszurollen und die Mitarbeiter zur Anwendung der Software zu schulen.

Beschafft wurden neben Modellierungssoftware auch Koordinierungssoftware und eine Common Data Environment (CDE).

3.3 BIM-Pilotprojektumsetzung

Die Erstellung für BIM-spezifischer Unterlagen gestaltet sich aktuell noch schwierig aufgrund von fehlenden Standards. Hier profitierten die Pilotreferate von den gewonnenen Erfahrungen der bereits umgesetzten Pilotmaßnahmen beziehungsweise nahmen bereits existierende Handreichungen wie die von BIM4Infra zur Hand. Die BIM-Maßnahmen werden teilweise intern in der SBV BW eigenständig umgesetzt oder an Ingenieurbüros vergeben. Diese sind allesamt öffentlich ausgeschrieben und im Wettbewerb vergeben worden.

3.4 BIM-Kompetenzzentrum

Entscheidend bei einer landesweiten Pilotierung und den doch weit gestreuten Pilotreferaten ist die Bündelung des Wissens und der regelmäßige Austausch zwischen allen Beteiligten.

Seit Anfang 2020 wurde deshalb sowohl im VM eine zentral steuernde Stelle implementiert als auch ein BIM-Kompetenzzentrum für das Land geschaffen.

Ein BIM-Referent im VM steuert zentral die Umsetzung der Pilotmaßnahmen und entwickelt ein Konzept zur flächendeckenden Implementierung der BIM-Methodik in der SBV BW.

Das BIM-Kompetenzzentrum ist in der LST angesiedelt und unterstützt sowohl das Land bei der Implementierung der BIM-Methodik als auch die Ausstattung und die Umsetzung der BIM-Pilotprojekte.

Neben der Unterstützungsleistung hat das Kompetenzzentrum ein mobiles BIM-Lab zentral beschafft, wel-

ches für landesweite BIM-Maßnahmen zentral in der LST zur Verfügung gestellt wird.

Mit dem mobilen BIM-Lab können die Pilotreferate eine Baustelle erlebbar gestalten und unterschiedlichste Besprechungen durchführen. Zusätzlich soll er die Mitarbeitenden der SBV BIM nähergebracht werden, quasi „BIM-zum-anfassen“.

Ein stationäres BIM-Lab analog zu den BIM-Lab Lösungen der DB Netz und Karlsruhe oder dem Fraunhofer Institut in Stuttgart wird vom externen Berater ausgearbeitet.

4. Fazit

Die Implementierung der BIM-Methode in der Straßenbauverwaltung des Landes Baden-Württemberg bedeutet einen tiefgreifenden Kulturwandel und die Wahrnehmung von neuen Rollen und Funktionen für die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Die derzeit punktuelle Sammlung von Erfahrungen an einzelnen Projekten wird flächendeckend über Schulungsmaßnahmen und die Beratung des operativen Personals vervielfältigt. Dabei werden alle Bereiche über Planung, den Neu- und Ausbau sowie die Erhaltung im Straßen- und Brückenbereich betrachtet.

Neben der Hard- und Softwareausstattung sieht das Land Baden-Württemberg vor allem das Potenzial zur Umsetzung der BIM-Methodik in den Personalressourcen. Neben der Einstellung von neuem Personal sollen bevorzugt bestehende Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter geschult werden. Ein Konzept für eine umfangreiche BIM-Schulung für das Land Baden-Württemberg ist 2021 geplant.

Darüber hinaus wurde im Land ein neues BIM-Kompetenzzentrum aufgebaut, das alle BIM-Pilotprojekte sowie alle zukünftigen BIM-Maßnahmen im Land mit seiner Fachkompetenz unterstützt.

Die Schaffung einheitlicher Standards ist eine unumgängliche Voraussetzung, um BIM auf breitere Füße zu stellen. Die Fortbildung von vielen Mitarbeitern erfordert einen hohen Einsatz an Geld und Zeit. Gleichermaßen fehlt es derzeit noch an einer getesteten und freigegebenen Software für die SBV sowie die zugehörigen Objektkataloge und Parameter.

Mit der Pilotierung sollen viele bisher unklare Prozesse transparenter werden und Herausforderungen bei der Implementierung von BIM in der SBV BW erleichtern.

Fachgruppe „BIM-Verkehrswege“ des buildingSMART Deutschland e.V. – Vorstandardisierung und Veröffentlichung „BIM-Klassen der Verkehrswege“

Dipl.-Ing. Uwe Hüttner

Geschäftsführer, IB&T Software GmbH, 22848 Norderstedt, Deutschland

Zusammenfassung

Um die Einführung der BIM-Methode im Bereich der Infrastrukturplanung voranzubringen und allgemeingültige Standards für die Arbeit mit BIM zu definieren, wurde die Fachgruppe „BIM-Verkehrswege“ des buildingSMART Deutschland e.V. gegründet. Ziel ist es, insbesondere auf die speziellen Anforderungen, die sich bei Anwendung der BIM-Methode im Infrastrukturbau ergeben, einzugehen, wie die Berücksichtigung eines geodätischen Bezugssystems oder die korrekte Ermittlung von Trassierungselementen für die Modellierung. Im Mai 2020 erfolgte die erste Veröffentlichung der Fachgruppe BIM-Verkehrswege mit den „BIM – Klassen der Verkehrswege“ als Ergebnis der ehrenamtlichen Gremienarbeit. Als Fachgruppe innerhalb des Arbeitsraumes Infrastruktur des buildingSMART Deutschland e.V. hat sich der Zusammenschluss von fast 80 Experten aus über 56 Mitgliedsfirmen und Institutionen im Sommer 2018 gegründet und im Rahmen der Vorstandardisierung für den Bereich Verkehrswege ein erstes Ergebnis vorgelegt. Der Katalog wird aktuell vervollständigt, erweitert und planmäßig bis Ende 2021 in einer erweiterten und komplettierten Ausgabe herausgegeben.

Durch die breite Vernetzung in viele andere Gremien und Verbände und die interdisziplinäre Besetzung der Fachgruppe, ist diese optimal aufgestellt, um eine fachliche Vereinheitlichung von Begriffen, Standards und Definitionen innerhalb des kompletten Planungs- Ausführungs- und Betriebsprozesses einer Verkehrswegemaßnahme anzustoßen.

1. Entstehung der Fachgruppe

Die Fachgruppe BIM-Verkehrswege wurde formell am 05.06.2018 in Norderstedt gegründet. Hervorgegangen ist sie aus einer Initiative der heutigen Sprecher der Fachgruppe. Herr Dirk Röder, LASuV Freistaat Sachsen, BIM-Beauftragter des LASuV; Herr Rainer Raacke, Bickhardt-Bau AG; BIM-Beauftragter und Herr Uwe Hüttner, IB&T Software GmbH, Geschäftsführer forcieren im Zuge ihrer Mitwirkung im Arbeitsraum Infrastruktur des buildingSMART Deutschland e.V. die Berücksichtigung der Belange der Verkehrswege zum Ende 2017 und initiieren einen ersten Roundtable innerhalb des buildingSMART-Anwendertages im April 2018. Die sehr positive Resonanz der BIM-Interessierten in der Infrastruktur führt zur Gründung der Fachgruppe BIM-Verkehrswege, die im Rahmen ihrer ersten offiziellen Sitzung bei der IB&T Software GmbH in Norderstedt besiegelt wurde.

buildingSMART Deutschland
Das Kompetenznetzwerk für Building Information Modeling

Fachgruppe BIM-Verkehrswege

- Gründung am 5. Juni 2018 in Norderstedt
- Initiatoren und Sprecher der Fachgruppe:
 - Dirk Röder, LASuV, Freistaat Sachsen
 - Uwe Hüttner, IB&T Software GmbH
 - Rainer Raacke, Bickhardt Bau AG

12.11.2020 www.buildingSMART.de

1.1 (Vor-) Standardisierung

Der buildingSMART Deutschland e.V. verfolgt in seiner Arbeit eine Vielzahl von Aufgaben und Zielen. Ein Schwerpunkt ist jedoch die Vorbereitung der Standardisierung. Als Analogie für die Tätigkeiten des buildingSMART lässt sich ein Segelschiff verwenden, welches in den Zielhafen der Standardisierung steuert und mit möglichst viel Wind (aktiven Mitgliedern) hierbei Fahrt aufnimmt.

(Vor-) Standardisierung



13.11.2020

www.buildingSMART.de

3

Als Hafen der Standardisierung lässt sich die Normierung verstehen. International betrachtet gibt es drei Stufen der Normung. Angefangen bei der Internationalen Organisation für Normung – ISO, über das Comité Européen de Normalisation / europäisches Komitee für Normung – CEN, bis zu dem nationalen DIN (Deutsches Institut für Normung) oder dem Verein Deutscher Ingenieure – VDI mit den VDI-Regelungen.

Und somit vorangestellt die Aktivitäten der „pränormativen“ Arbeit in den verschiedenen Fachverbänden, die sich mehr oder weniger aktiv dabei einbringen. Hier nimmt der buildingSMART eine Vorreiterrolle ein.

1.2 Standards von buildingSMART

Im Rahmen seiner Tätigkeit veröffentlichte der buildingSMART e.V. auf internationaler Ebene bereits verschiedene Standards. Neben der wichtigsten Norm der ISO 16739, der Definition des IFC 4.0 als Standard-Austauschformat im Bauwesen, sind folgende Standards entstanden:

- Information Delivery Manual, IDM (ISO 29481) – Methode, um die Anforderungen für den Datenaustausch zu definieren.
- buildingSMART Data Dictionary – Wörterbuch, um sich darüber zu verständigen, was unterschiedliche Begriffe in unterschiedlichen Sprachen bedeuten.
- IFC Model View Definition – Unterkategorie des IFC-Schemas für einzelne, konkrete Anwendungsfälle; notwendig, um die Anforderungen für den Datenaustausch zu definieren.
- BIM Collaboration Format; Dateiformat zum Austausch von Entwurfsfragen in BIM-Projekten

Standards von buildingSMART

- # IFC = Industry Foundation Classes (IFC4 = ISO 16739:2013 = CEN) – Offener Standard im Bauwesen zur digitalen Beschreibung von Gebäudemodellen („Datenbanken“).
- # IDM = Information Delivery Manual, IDM (ISO 29481) – Methode, um diese Anforderungen für den Datenaustausch zu definieren.
- # bSDD = buildingSMART Data Dictionary – Wörterbuch, um sich darüber zu verständigen, was unterschiedliche Begriffe in unterschiedlichen Sprachen bedeuten.
- # MVD = IFC Model View Definition – Unterkategorie des IFC-Schemas für einzelne, konkrete Anwendungsfälle; notwendig, um die Anforderungen für den Datenaustausch zu definieren.
- # BCF = BIM Collaboration Format; Dateiformat zum Austausch von Entwurfsfragen in BIM-Projekten

Quelle: buildingSMART Deutschland e.V. Gunther Wölflé (2020)

13.11.2020

www.buildingSMART.de

5

Quelle: buildingSMART Deutschland e. V. Gunther Wölflé

2. Fachgruppe BIM-Verkehrswege

Die Fachgruppe BIM-Verkehrswege nimmt eine besondere Rolle ein. In ihr kommen Fachleute aus praktisch allen Bereichen des Projektierungs-Prozesses einer Verkehrswege-Baumaßnahme zusammen. Zu den aktiv Mitwirkenden und Beteiligten zählen Mitarbeiter von Bauverwaltungen, Betreibern und Investoren, Planungs-Ingenieur- und Vermessungsbüros, Bauunternehmen, BIM-Berater, Lehre und Forschung und Softwareunternehmen. Dadurch ist sichergestellt, dass die Belange aller am Bau Beteiligten berücksichtigt werden. Da bereits beim ersten Roundtable-Treffen vor der offiziellen Gründung mehr als hundert interessierte Teilnehmer für die Mitarbeit gemeldet waren, wurden kurzfristig fachliche Untergruppen gebildet, in die sich die aktiv Mitwirkenden aufteilen. Dadurch besteht die Fachgruppe BIM-Verkehrswege aus 7 Untergruppen:

- Vermessung / Bestand
- Baugrund / Geologie
- Straße / Entwässerung
- Brücke / Ingenieurbauwerk
- Bahn
- Tunnel / Spezialtiefbau
- Wasserweg / Hafen

Fachgruppe BIM-Verkehrswege

Beteiligte:

- Bauverwaltungen
- Betreiber / Investoren
- Planungs-, Ingenieur- und Vermessungsbüros
- Bauunternehmen
- BIM-Berater
- Lehre und Forschung
- Softwareunternehmen

Unter-Arbeitsgruppen:

- Vermessung / Bestand
- Baugrund / Geologie
- Straße / Entwässerung
- Brücke / Ingenieurbauwerk
- Bahn
- Tunnel / Spezialtiefbau
- Wasserweg / Hafen



13.11.2020

www.buildingSMART.de

6

Mittlerweile wirken aktiv in den Arbeitsgruppen fast 80 Personen aus aktuell 56 buildingSMART-Mitgliedsfirmen /-institutionen mit. Die Anzahl wächst stetig, wobei

die jeweiligen Gruppen teilweise bereits an die Grenze der Praktikabilität gekommen sind.



2.1 Motivation und Ziele der Fachgruppe

Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur veröffentlichte im Dezember 2015 den „Stufenplan Digitales Planen und Bauen“. Ab Ende 2020 sollen danach in Deutschland alle Planungen auf Grundlage des vorgenannten Stufenplans im BIM-Leistungsniveau I durchgeführt werden. Die Fachgruppe „BIM – Verkehrswege“ des buildingSMART e.V. wird zur Entwicklung beitragen.

Im Unterschied zu den Bereichen Hoch- und Industriebau werden im Rahmen aktueller nationaler BIM-Infrastrukturprojekte zurzeit nur einzelne Projektphasen und im Umfang eingeschränkte und ausgewählte Anwendungsfälle nach der BIM-Methode realisiert. Auch die internationalen sowie nationalen Standardisierungen zum herstellerneutralen Datenaustausch benötigen noch Zeit, bis sie in einer marktfähigen Reife für den BIM-Datenaustausch zur Verfügung stehen. Die Fortschreibung des IFC-Standards mit der Version 4.3 einschließlich der Erweiterungen um die Belange von Road, Rail, Bridge, Waterway and Harbour soll zum Jahresende 2021 fertiggestellt sein. Dann beginnt die Implementierung in den Softwarelösungen. Bis Mitte/Ende 2022 soll dann auch die Zertifizierung der IFC 4.3-Implementierung möglich sein. Die deutsche „Normungsroadmap BIM (Building Information Modeling)“ steht seit Anfang Juli 2021 als Entwurf zur Verfügung und kann bis Ende August kommentiert werden. Die finale Normungsroadmap BIM wird Ende 2021 veröffentlicht.

Durch fehlende Standards wurden in der Vergangenheit viele Insellösungen parallel entwickelt, was wiederum eine Weiterverwendung der gewonnenen Daten oder eine Nutzung und Bearbeitung über den gesamten Lebenszyklus eines Verkehrsweges im Sinne von OpenBIM erschwert.

Die Infrastruktur-Experten der buildingSMART-Fachgruppe „BIM – Verkehrswege“ sind sich einig, dass ein gemeinsames Verständnis wesentlicher Fachbedeutungen sowie Begriffe im Sinne eines Standards teilweise fehlen.

An dieser Stelle setzt die Arbeit der buildingSMART-Fachgruppe an. Die Fachgruppe bündelt Experten aus allen Fachbereichen der Verkehrswege-Infrastruktur über den Lebenszyklus des Planens, Bauens und Betreibens sowie deren Dienstleistern (Software, Consultant, Lieferant u.v.m.). Diese Experten widmen sich auf ehrenamtlicher Basis der Erarbeitung von (Vor-) Standards unter dem Dach des buildingSMART e.V.

Folgende Aufgaben hat sich die Fachgruppe gestellt:

- Definition der Klassen für Verkehrswege
- Festlegung erforderlicher Merkmale für die Klassen
- Zuordnung der Merkmale zur LOIN-Ausprägung

Als Ziele verfolgt die Fachgruppe:

- Vorstandardisierung,
- Einheitliche Begrifflichkeit in allen Fachmodellen und Fachbereichen,
- Nationale Ausprägung der Klassen und Merkmale, dadurch
- Sicherstellung Vergleichbarkeit / Auswertbarkeit von Modellen / Informationen

buildingSMART Deutschland
Das Kompetenznetzwerk für Building Information Modeling

Fachgruppe BIM-Verkehrswege

Ziele:

1. Erfahrungsaustausch / Praxisaustausch
2. **BIM-Objekte der Verkehrswege (Klassenkatalog)**
3. Praxis Datenaustausch / Mitwirkung Standardisierung
4. Standard-Prozesse „Verkehrswege“ festlegen
5. Empfehlungen für „Genehmigungs- und Normierungsstellen“
6. Modellierungsrichtlinie für Anwendungsfälle
7. Koordinatensysteme (Prozessempfehlungen/Leitlinien)
8. Anforderungen SW-Lösungen

11.11.2020 www.buildingSMART.de


2.2 Zusammenarbeit

Dank vielfältiger personeller Überschneidungen bestehen sehr gute Kontakte zu Forschungsprojekten und Expertengruppen, wie beispielsweise BIM4Infra2020, BIMSTRUCT, IFC Bridge, IFC Road, IFC Rail, BIM-4Rail, BIMSWARM, planen-bauen 4.0 Gesellschaft zur Digitalisierung des Planens, Bauens und Betreibens mbH und BIM Deutschland (ehemals: BIM Kompetenzzentrum des Bundes). Eine enge Zusammenarbeit erfolgt auch mit Fachverbänden und Vereinen, wie BAST (OKSTRA®), BVBS, DAUB, DVW, VDV, DIN und dem VSVI. Seit 2021 besteht eine strategische Zusammenarbeit mit dem DWA. Wesentliche Entwicklungen und Sichtweisen aus diesen Bereichen können bei der Arbeit der Fachgruppe „BIM – Verkehrswege“ daher berücksichtigt werden.

buildingSMART Deutschland
Das Kompetenznetzwerk für Building Information Modeling

Zusammenarbeit / Abstimmung / Mitarbeit


- BIM Deutschland und planen-bauen 4.0 Gesellschaft zur Digitalisierung des Planens, Bauens und Betriebs mbH
- DIN
- ITko und Bund-Länder Dienstbesprechung
- BIMSTRUCT <https://bimstruct.blogs.ruhr-uni-bochum.de/>
- BIM4infra2020 <https://bim4infra.de/> und BIM4RAIL
- FGSV e.V. (z.B. QA3 und QA8) / OKSTRÄ
- Hauptverband der deutschen Bauindustrie
- Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V. <https://www.dggt.de/>
- Deutscher Ausschuss für Unterirdisches Bauen e.V. (DAUB)
- Bundesverband Bausoftware e.V. (BVBS)
- VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V.
- DVW
- DWA
- FLL (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.)



30.06.2021 www.buildingSMART.de 15

buildingSMART Deutschland
Das Kompetenznetzwerk für Building Information Modeling

Merkmale: Überblick internationales Geschehen



Quelle: Prof. André Borrmann, TU München

11.11.2020 www.buildingSMART.de 12


Quelle: Prof. André Borrmann

2.4 Veröffentlichung

buildingSMART Deutschland
Das Kompetenznetzwerk für Building Information Modeling

Erste Veröffentlichung

- Veröffentlichung des Kataloges „BIM -Klassen der Verkehrswege“ in der buildingSMART -Schriftenreihe als Heft 1.01 im Mai 2020
- Einführung einer Web -Datenbank in Zusammenarbeit mit der HTW Dresden, Ablösung der Excel -Arbeitsblätter
- Reaktivierung Tunnel / Spezialtiefbau und Zusammenarbeit / Abgleich mit der Arbeit des D.A.U.B.
- Fortführung der Arbeit in allen Gruppen, Komplettierung der Klassen aus den Bereichen Bahn; Tunnel / Spezialtiefbau; Wasserweg / Hafan



30.06.2021 www.buildingSMART.de 26

buildingSMART Deutschland
Das Kompetenznetzwerk für Building Information Modeling

Katalog mit fachspezifischer Gliederung (Auszug)



11.11.2020 www.buildingSMART.de 18

2.3 Grundsätze

Die Arbeit der Fachgruppe orientiert sich an den Grundsätzen der internationalen und nationalen Standardisierung im Bereich BIM. Experten und Vertreter von Normungsgremien wurden als Berater bei der Bearbeitung des Kataloges „BIM-Klassen der Verkehrswege“ hinzugezogen. Neben einem regelmäßigen Abgleich mit den Entwicklungen im Bereich der internationalen IFC-Standardisierung sind Grundsätze relevanter Normen und Vorschriften berücksichtigt (z.B. ISO 23386, VDI 2552, ASB etc.).

Die Fachgruppe verfolgt mit dem vorliegenden Katalog und der kommenden Fortschreibung das Ziel einer Auflistung der für die BIM-Modellierung im Bereich Verkehrswege fachspezifisch erforderlichen Klassen und Gruppen.


Die Experten der Fachgruppe sind sich einig, dass es die neue und den Bausektor revolutionierende BIM-Methode erfordert, im Sinne einer BIM-Tauglichkeit althergebrachtes kritisch zu hinterfragen, auf Erfordernis zu prüfen, neu zu denken und das Notwendige in übersichtlichem Kontext zu fassen. Getreu dem Motto „weniger ist mehr“ wurden daher in der vorliegenden Arbeit zunächst nicht die Regelwerke und Vorschriften als Grundlage genommen, diese zusammengeführt, normalisiert und anschließend Doppelungen entfernt.

Stattdessen haben die Experten ausgehend vom Prozessziel des Planens, Bauens und Betreibens die Elemente der Verkehrsweg-Infrastruktur analysiert und definiert, wie sich diese am besten durch Klassen beschreiben lassen. Eingeflossen sind dabei fachliche Anforderungen aus Verwaltungen, Planungsbüros, der Bauwirtschaft sowie Sichtweisen für die EDV-technische Umsetzung der Klassen. Der Katalog „BIM-Klassen der Verkehrswege“ vereint das langjährige Know-how einer breiten Fachschaft im Bereich Verkehrswege.

buildingSMART Deutschland
Das Kompetenznetzwerk für Building Information Modeling

Klassenkatalog – Ziele
Was wir erreichen möchten....

- Nutzbarkeit: multidisziplinär, integrativ, Lebenszyklus
- Akzeptanz: Fachlichkeit >> Software-Eignung
- Umsetzbarkeit = Anwendbarkeit und Programmierbarkeit



30.06.2021 www.buildingSMART.de 20

buildingSMART Deutschland
Das Kompetenznetzwerk für Building Information Modeling

Katalog mit alphabetischer Gliederung (Auszug)

Kategorie	Verkehrsweg	Verkehrsweg	Kategorie	Verkehrsweg	Verkehrsweg
Struktur	Verkehrsweg	Aufbau/Planung/Lebenszyklus	Verkehrsweg	Verkehrsweg	Verkehrsweg
Bestimmung	Verkehrsweg	Aufbau/Planung/Lebenszyklus	Verkehrsweg	Verkehrsweg	Verkehrsweg
Abzug	Verkehrsweg	Aufbau/Planung/Lebenszyklus	Verkehrsweg	Verkehrsweg	Verkehrsweg
Funktionalelemente	Verkehrsweg	Aufbau/Planung/Lebenszyklus	Verkehrsweg	Verkehrsweg	Verkehrsweg
Anforderungen	Verkehrsweg	Aufbau/Planung/Lebenszyklus	Verkehrsweg	Verkehrsweg	Verkehrsweg
Plan	Verkehrsweg	Aufbau/Planung/Lebenszyklus	Verkehrsweg	Verkehrsweg	Verkehrsweg
Maßstab	Verkehrsweg	Aufbau/Planung/Lebenszyklus	Verkehrsweg	Verkehrsweg	Verkehrsweg
Abstraktion	Verkehrsweg	Aufbau/Planung/Lebenszyklus	Verkehrsweg	Verkehrsweg	Verkehrsweg
Abzug	Verkehrsweg	Aufbau/Planung/Lebenszyklus	Verkehrsweg	Verkehrsweg	Verkehrsweg
Abstraktion	Verkehrsweg	Aufbau/Planung/Lebenszyklus	Verkehrsweg	Verkehrsweg	Verkehrsweg
Abzug	Verkehrsweg	Aufbau/Planung/Lebenszyklus	Verkehrsweg	Verkehrsweg	Verkehrsweg
Abstraktion	Verkehrsweg	Aufbau/Planung/Lebenszyklus	Verkehrsweg	Verkehrsweg	Verkehrsweg

11.11.2020 www.buildingSMART.de 17

Der Katalog „BIM-Klassen der Verkehrswege“ legt besonderen Wert auf die Eindeutigkeit der Klassen. Doppelungen werden im Sinne einer widerspruchsfreien BIM-Methodik ausgeschlossen, einheitliche Begriffe definiert und fachlich identische Klassen gleicher Merkmale, die sich nur in ihrer Geometrie unterscheiden, zusammengefasst. Hierdurch kann die Anzahl der Klassen reduziert und eine bessere Übersicht erreicht werden.



Der Katalog „BIM-Klassen der Verkehrswege“ vereint in seiner ersten vorliegenden Version die Ergebnisse der Arbeitsgruppen:

- Vermessung / Bestand
- Baugrund / Geologie
- Straße / Entwässerung
- Brücke / Ingenieurbauwerk

Der Umfang der Aufgabe, die Besetzung der Arbeitsgruppen sowie der Grad der Abstimmungserfordernisse führte dazu, dass die Ergebnisse folgender Fachgebiete im Katalog „BIM-Klassen der Verkehrswege“ erst ab Version 2.0 enthalten sind:

- Bahn
- Tunnel / Spezialtiefbau
- Wasserweg/Hafen



3. Ausblick und Version 2.0

Ein wesentlicher Inhalt der Erweiterung zur Version 2 ist ein erweitertes Konzept der Klassenspezifizierung durch die Metadaten Klasse und Metadaten Geometrie.

buildingSMART Deutschland
Das Kompetenznetzwerk für Building Information Modeling

Weiteres Vorgehen der Fachgruppe

- Überarbeitete Auflage für Ende 2021 in Planung, insbesondere
 - Ergänzung der Fachbereiche Bahn, Tunnel und Wasserweg / Hafen
 - Erweiterung des Fachbereichs Landschaft / Freianlage
 - Erweitertes Konzept Klassenspezifizierung
 - Zusammenarbeit mit dem DWA
- Wesentliche Merkmalsgruppen / Merkmale je Klasse (Attributierung)
- Redaktionelle Anpassungen und Ergänzungen

30.06.2021 www.buildingSMART.de 27

Dadurch soll zum einen die Anzahl der unterschiedlichen Klassen minimiert und die Nutzbarkeit durch Softwarelösungen vereinfacht werden. Zusätzlich werden die meisten Klassen zur besseren Nutzung mit Definitionen und Erläuterungen erweitert.

buildingSMART Deutschland
Das Kompetenznetzwerk für Building Information Modeling

Erweitertes Konzept der Klassenspezifizierung
Metadaten_Klasse / Metadaten_Geometrie (Pflichtmerkmale)

1. Metadaten_Klasse
 - Merkmal „Klassenart“ (Bauelement / Strukturelement / Bezugs- / Funktionselement)
 - Merkmal „Prototyping“ (Katalogelement / Individualelement)
 - Merkmal „Typausprägung“
2. Metadaten_Geometrie
 1. Merkmal „Koordinatendimension“ (keine / 1D / 2D / 3D)
 2. Merkmal „Objektdimension“ (keine / Punkt / Linie / Fläche / Volumen)
 3. Merkmal „Geometrieberechnung“ (explizit (ausgewertet) / implizit (nicht ausgewertet))

30.06.2021 www.buildingSMART.de 29

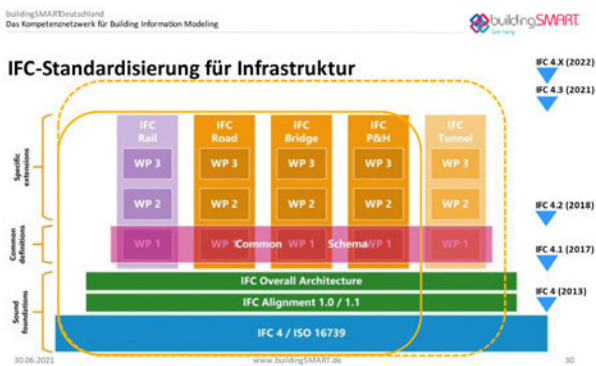
Die Fachgruppe „BIM – Verkehrswege“ wird sich weiterhin in die BIM-Standardisierung einbringen. Neben dem Katalog „BIM-Klassen der Verkehrswege“ hat sich die Fachgruppe die weiteren Ziele wie Praxis Datenaustausch, Modellierungsrichtlinie für Anwendungsfälle oder Koordinatensysteme vorgenommen.

Zeitraum und Umfang der Bearbeitung hängen insbesondere von den zur Verfügung stehenden Ressourcen auf Seiten der Beteiligten ab. Weiterhin sind die Ziele der Fachgruppe mit den aktuellen Entwicklungen in der BIM-Standardisierung auf internationaler und nationaler Ebene, z. B. BIM Deutschland abzugleichen und ggf. neu zu justieren.

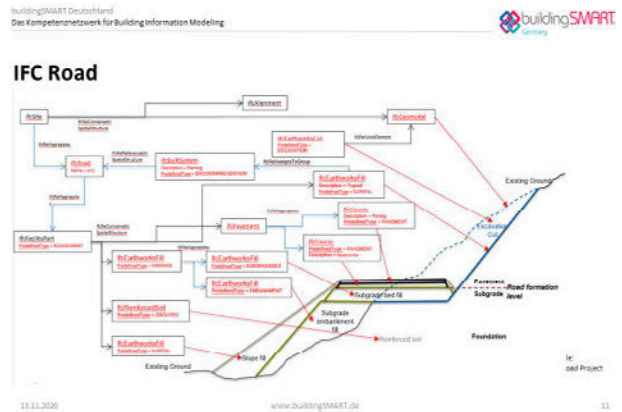
Inhalt der beiden weiteren Hauptziele wird insbesondere sein:

- Festlegung erforderlicher Merkmale für die Klassen: Mit diesen Merkmalen/Merkmalssätzen ist der BIM-Anwender in der Lage, die maßgeblichen Eigenschaften der Klassen in allen Lebenszyklusphasen eindeutig zu beschreiben. Dabei werden nicht alle Merkmalsätze in jeder Lebenszyklusphase benötigt und gepflegt.
- Zuordnung der Merkmale zur LOIN-Ausprägung: Mit einem LOIN-Standard-Datensatz lassen sich BIM-Modelle als Ergebnismodell plattformübergreifend austauschen und verwenden. Der Standard-Datensatz kann Grundlage bzw. wesentliche Unterstützung bei einer Schnittstellendefinition auf nationaler bzw. internationaler Ebene sein.

Die Fachgruppe wird sich neben der Definition von Standards auch in die (Weiter-) Entwicklung von Datenaustauschformaten einbringen.



Mit dem aktuell laufenden Deployment bzw. der Fertigstellung der Version IFC 4.3 ist ein weiterer Schritt zur Standardisierung international getan. Darin enthalten sind wesentliche Elemente zum Datenaustausch in der Infrastruktur.



Mit der Arbeit der Fachgruppe wird die Standardisierung der IFC-Schnittstellen unterstützt und vor allem die Belange der deutschen Fachschaft vertreten. Auf Grundlage der in der Fachgruppe umfassend vorhandenen Expertise und einheitlicher Klassendefinitionen entsprechend des vorstehenden Kataloges „BIM-Klassen der Verkehrswege“ bringt diese Arbeit den Normierungsprozess zielgerichtet voran. Wichtig und ein wesentliches Ziel der Fachgruppe ist dabei der Austausch und die Zusammenarbeit mit vorgenannten bundesweiten Gremien, Pilotprojekten und Forschungsprojekten. Parallelentwicklungen müssen nach Ansicht der Fachgruppe vermieden werden. Nationales Ziel ist eine einheitliche Definition / Schnittstelle für den BIM-Datenaustausch im Fachbereich der Verkehrswege.

Neben den nationalen Aktivitäten ist ein weiteres Anliegen der Fachgruppe „BIM – Verkehrswege“ die fachliche Unterstützung des buildingSMART International. Der regelmäßige Austausch ist bereits gelebte Praxis. Wenn Sie mitarbeiten wollen: www.BIM-Verkehrswege.de

Quellen:

- [1] Heft 1.01 der bSD Schriftenreihe: BIM-Klassen der Verkehrswege
- [2] Statusbericht Fachgruppe BIM-Verkehrswege
- [3] Veröffentlichungen des buildingSAMT Deutschland e.V.
- [4] Projekt IFC Road - Dokumentation

BIM im Verkehrswegebau – Projektplanung der Bauausführung unter Anwendung eines Datenmodells: BIM-unterstütztes Datenmanagement im Straßenbau – Planung und Ausführung anhand von Praxisbeispielen

Christoph Kellner

STRABAG AG, Zentrale Technik – VWB

Zusammenfassung

Die Bedeutung von Building Information Modeling (BIM) gewinnt auch für den Infrastrukturbau zunehmend an Bedeutung. Die Ansätze, Methoden und Werkzeuge aus dem Hoch- sowie Ingenieurbau kommen dabei aber nur bedingt zum Einsatz, da insbesondere geometrische Gegebenheiten, Achskrümmung in Lage und Höhe, und eine andersartige Form der Komplexität andere technische Voraussetzungen bedingen. Losgelöst vom Gewerk wird aber immer das gleiche Ziel verfolgt; die Schaffung von Mehrwerten auf Basis der Etablierung modellbasierter Prozesse über den gesamten Lebenszyklus des Bauwerks. Im folgenden Beitrag werden die Möglichkeiten der BIM- Anwendung aus Sicht einer bauausführenden Unternehmung exemplarisch an zwei Verkehrswegebauprojekten dargestellt. Es wird aufgezeigt, wie die STRABAG die modellbasierte Bearbeitung für die Betriebsphase im Rahmen eines PPP-Projektes für sich nutzbar macht und die Grundlagen für die Übergabe an die Betreibersysteme der Baulastträger schafft. Darüber hinaus wird der baupraktische Nutzen von BIM im Zuge der Oberbausanierung eines Autobahnabschnitts dargestellt.

1. Einleitung

Digitalisierung verbindet Chance und Risiko gleichermaßen. Die Chance, durch die kontinuierliche Verbesserung der Prozesse, eine Effizienzsteigerung hervorzuheben. Das Risiko, die Anwender und Nutzer mit einer hohen Anzahl an digitalen und teilweise disruptiven Lösungen zu überfordern. Eine Einbindung dieser Personengruppen in den Umgestaltungsprozess ist daher unabdingbar.

Dieser Change Prozess betrifft zudem alle Stakeholder der Baubranche gleichermaßen und verlangt eine digitale Transformation von drei wesentlichen Komponenten in der Bauindustrie: Mensch, Verträge/Normen und Technologie. Diese stehen in ihrem Wirkungskreis in Abhängigkeit zueinander und sind daher umfassend anzugehen.

Die große Herausforderung und Rolle eines traditionellen Baukonzerns wie der STRABAG ist es daher, als positives Beispiel Standards und digitale Innovationen aktiv mitzugestalten. Ein grundlegender Beitrag ist dabei die Entwicklung und Implementierung von BIM in Ausführungsprojekten. Das erlangte Knowhow soll im Weiteren gemeinsam mit Planern und Bauherrn in einem vollumfassenden modellbasierten Kreislauf eingebettet werden.

Für die BIM-basierte Bearbeitung ist es notwendig, bestehende Arbeitsprozesse nachhaltig zu verändern, um eine ressourcenschonendere und effizientere Umsetzung von Bauprojekten zu ermöglichen. Darin verankert ist insbesondere eine durchgängigere, digitale und vor allem medienbruchfreie Verwaltung von Daten und Informationen zu jedem Projekt.

Dadurch entstehen nicht nur neue Anforderungen für die im Rahmen der Bauausführung tätigen Menschen. Letztendlich wird der gesamte Mehrwert erst greifbar, wenn sich diese Veränderungen über alle Projektphasen – Planung, Bauvergabe, Ausführung, Betrieb und Erhaltung – erstrecken. Wenn diese gegenwärtigen Herausforderungen gemeistert werden können, wirkt sich dies positiv auf die gesamten Lebenszykluskosten eines Bauwerks aus.

Um dieses Ziel zu erreichen, wird eine noch größere partnerschaftliche Zusammenarbeit aller Projektbeteiligten erforderlich. Hierzu sind zielgerichtete Adaptionen der bestehenden rechtlichen Rahmenbedingungen in allen Projektphasen ebenso erforderlich, wie die Schaffung von entsprechend fortschrittlichen Vertragsmodellen. Modelle, wie Partnering- bzw. Allianzmodelle, Early Contractor Involvements (ECI) werden zukünftig heutige Bauverträge ersetzen.



Abbildung 1: Projektkreislauf

2. BIM in der Ausführung

Im Zuge der Bauausführung stellt der Transfer der innerhalb der Modelle festgehaltenen Informationen, wie bspw. Geometrie, Kubaturen, Lieferant, Lagerort, etc., aus der Planung auf die Baustelle eine weitere Herausforderung dar. Diese Daten werden nicht mehr in Form von Papierplänen zur Baustelle übermittelt, sondern es sollen die erstellten Modelle in allen Dimensionen genutzt werden. Hierfür ist nicht nur die entsprechende Ausstattung mit geeigneter Hard- und Software sicherzustellen, auch das Baustellenpersonal ist im Umgang mit neuen Technologien zu schulen. Ziel ist es, die Mitarbeiter auf der Baustelle in die Lage zu versetzen, Modelle mit Informationen über die Bauzustände anreichern zu können, sowie Daten für die Planung und das Monitoring des Bauablaufs zu liefern.

Durch die Arbeitsweise mittels Modelldatenbanken können solche Änderungen transparent und effizient eingearbeitet, sowie interaktiv mit den involvierten Planungs- und Baubeteiligten verifiziert werden. Flächendeckende Informationen werden durch den Einsatz von Drohnen- und/oder Lasertechnologie (Mobile Mapping) berücksichtigbar. In weiterer Folge sind dadurch auch die Daten der Ausführung für die auf dem Baufeld agierenden Baugeräte verfügbar und werden über entsprechende Schnittstellen aus dem Modell auf die Baumaschine übertragen. Die Frage der Aktualität der auf den Baustellen vorhandenen Papierpläne gehört damit der Vergangenheit an. Weiterhin ist die Möglichkeit zur modellbasierten Terminplanung und Kostenverwaltung gegeben, die die Basis für eine genauere Leistungsverfolgung der Baustelle darstellt. Um jedoch auch eine effektivere An-

wendung in der Bauabrechnung zu ermöglichen, ist eine Novellierung der bestehenden Abrechnungsregeln erforderlich.



Abbildung 2: Maschinensteuerungsdaten Ausführung mit Punktwolke

In der Betriebs- und Erhaltungsphase ist es möglich, Zustandserhebungen im Modell zu verwalten. Dieser Ansatz kann durch georeferenzierte Bildaufnahmen und Messungen, die mit dem Modell verknüpft sind, unterstützt werden. Dies ermöglicht eine modellgestützte Planung notwendiger Erhaltungsmaßnahmen. Ein solches Modell kann um die periodisch notwendigen Erhaltungsmaßnahmen fortgeschrieben und mit den hinterlegten Zustandswerten ein zustandsabhängiges, sowie dynamisches Erhaltungsmanagement betrieben werden.

3. Anwendung in der Praxis – Pilotprojekt Harsewinkel, DE

Das Pilotprojekt „Harsewinkel“ wurde 2007 im Rahmen eines PPP-Modells beauftragt. Der Projektvertrag sieht nach der Baufertigstellung die Erhaltung und den Betrieb über 30 Jahre der Vertragsstrecke vor.

Dieses Projekt dient zur Grundlagenermittlung für die weitere Entwicklung eines standardisierten modellbasierten Planungsverfahrens von PPP-Projekten, welche den Betrieb und die Erhaltung von Verkehrswegen und dessen Bestandteilen beinhaltet. Zentraler Kerninhalt des Pilot-Projektes war demgemäß die Schaffung eines Asset-Informationsmodells (AIM)

Das Pilotprojekt fokussierte sich auf die modellbasierte Abbildung eines bestehenden, sich in Betrieb befindlichen, PPP-Projekts. Im Weiteren war es Ziel, eine Ausschreibung einer Erhaltungsmaßnahme modellgestützt durchzuführen. Durch die parallele Ausschreibung, die im konventionellen Sinn bearbeitet wird, entstand die Möglichkeit eines Vergleiches zwischen der herkömmlichen und der modellbasierten Ausschreibung.

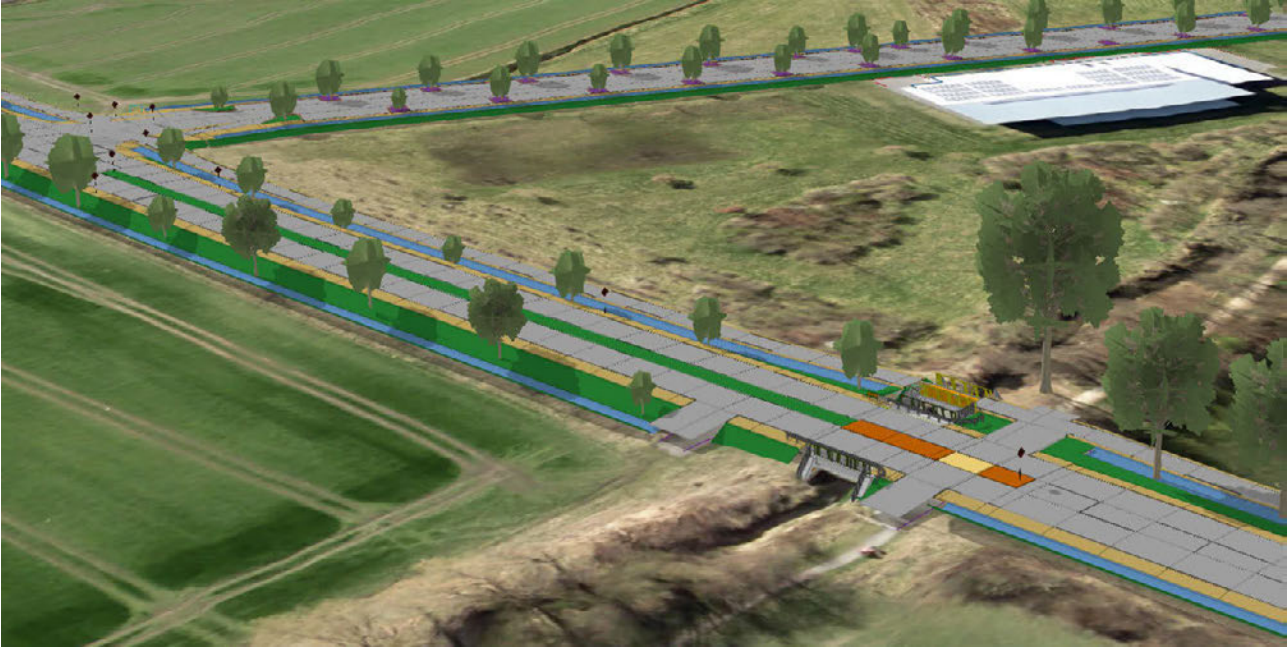


Abbildung 3: Streckenmodell PPP Harsewinkel

In der Ausführungsphase erfolgte die Erfassung der Bestandsstruktur des Baufeldes anhand Laserscandaten (Mobile Mapping) mit anschließender Aufbereitung eines digitalen Geländemodells (Urgelände). Es wurde ein 5D-Modell in Hinblick auf die Bewertung von Kosten, Terminen und / oder der Qualität erstellt, anschließend die modellbasierten VA-Mengen aus dem 3D-Modell in iTWO in Hinblick auf Betrieb und Erhaltung verknüpft. Mit der Erstellung von zustandsabhängigen Terminplänen werden die Instandsetzungs- und Erneuerungsmaßnahmen (Betrachtungszeitraum von 30 Jahren) geplant. Die einzelnen Elemente der Fachmodelle verfügen über entsprechende Merkmale und Parameter (bspw. Material, erwartete Lebensdauer, etc.). Durch die Zusammenführung der Fachmodelle in ein Koordinationsmodell kann vorab eine Maßnahmenplanung für die Erhaltung durchgeführt werden.

Unterstützt wird diese Maßnahmenplanung durch die Kombination georeferenzierter Bildaufnahmen, die im Zuge von Zustandskontrollen erstellt und direkt mit dem 3D-Objekt im Koordinationsmodell verknüpft werden. Somit ist bereits während der Kontrollen, durch eine direkte Verknüpfung der Bildaufnahme mit dem 3D-Modell durch mobile Applikationen, eine vorauslaufende Maßnahmenplanung möglich. Dies verspricht eine entsprechende Verkürzung der Bearbeitungsdauer, vor allem im Zuge der Reparatur von unerwartet auftretenden Beschädigungen durch Verkehrsunfälle. Somit kann das Asset-Management der Straßenausrüstung zukünftig auf Basis der Informationen aus dem 3D-Modell erfolgen, wobei eine gleichzeitige visuelle Darstellung der Einzel-Assets mittels des Modells als Unterstützung dient.

4. Anwendung in der Praxis – 3D-Fräsen – Pilotprojekt Knoten S33/A1, AT

Bei diesem Projekt wird in einem Zeitraum von rund 6 Monaten ein ca. 3km langer Autobahnabschnitt mit sieben Brückenobjekten saniert. Die Deckenfräsarbeiten, eine der Hauptleistungen bei diesem Projekt, werden auf einem Teilstück von ca. 500m unter Einsatz einer neuartigen 3D-Fräsmethode abgewickelt, um die Vorteile dieser Technologie unter Einsatz einer digitalen Arbeitsweise zu erproben.

Die Verwendung digitaler Werkzeuge im Pilotprojekt lieferte den Anlass, neue Entwicklungsfelder im Asphaltstraßenbau anzuregen. Es wurde für das Teilstück eine Fräse mit entsprechender Sensorik und Hardware nachgerüstet, um das System der Laserscanaufnahme in der operativen Bauausführung auf Funktionalität und Praxis-tauglichkeit zu untersuchen.

Das geplante Vorgehen wurde wie folgt festgelegt und abgewickelt:

Initial wurde eine Bestandserfassung mittels Laserscan durchgeführt, um die zu bearbeitende Fräsfläche aufzunehmen.

Anschließend wurde das Deckenbuch, auf Basis des Scans, gemäß Auftraggeber-Vorgaben generiert. Auf Basis der digitalen Grundlagen ist es möglich, dieses Deckenbuch so zu optimieren, dass ein ressourcenschonender und richtliniengetreuer Abtrag möglich wird.

Im nächsten Schritt wird das Deckenbuch an die 3D-Fräse übertragen, die aufgrund von speziellen Sensoren und dem zugrundeliegenden Scan einen akkuraten Fräsvorgang verrichtet. Die Positionierung in der Lage ist dabei mittels GPS-Antennen sichergestellt.

Zum Abschluss erfolgt eine Überprüfung der As-Built Punkte. Dies kann konventionell mit einem Tachymeter bzw. einem erneuten Scan als Vorbereitung für einen nachgelagerten, 3D-gesteuerten Asphaltinbau durchgeführt werden.

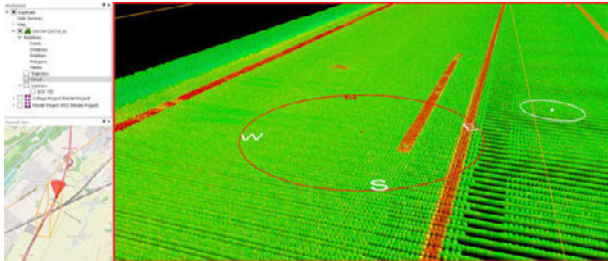


Abbildung 4: Laserscandaten Oberflächensanierung

Herkömmlich wird vor dem eigentlichen Fräsen das Deckenbuch vom Vermesser in einem engmaschigen Intervall auf dem auszuführenden Bauvorhaben manuell abgesteckt. Diese Absteckarbeiten fallen durch den Einsatz von gesteuerten Fräsen völlig weg.

Bei diesem Projekt konnte das getestete System speziell in Bereichen wie „Vorbereitungszeit auf der Baustelle“, „Möglichkeiten von modellbasierter Designoptimierung“ und „Personalaufwand beim Fräsvorgang“ überzeugen. Darüber hinaus wiesen die erzielte Genauigkeit, sowie die Geschwindigkeit in der Durchführung, ausgezeichnete Testergebnisse aus.

Die Durchführung und anschließende Bewertung ergab schlussendlich, dass nicht nur eine Optimierung des Arbeitsaufwands im Zuge der Vorbereitung beim Abstecken für das Deckenbuch ermöglicht wird, sondern auch bei kurzfristigen Planänderungen (im konkreten Fall wurde die Fräsbreite kurz vor Beginn der Arbeiten adaptiert) kein zusätzlicher Vermessungsaufwand von Nöten ist.

Mit den vorliegenden Ergebnissen wurden abschließend über das Projektteam unterschiedliche Varianten evaluiert, um schlussendlich eine weitere Optimierung des Fräsens für den Konzern mittels 3D-Modell sowie Maschinensteuerung voranzutreiben. Diese Varianten werden bei zukünftigen Pilotprojekten getestet, so dass ein standardisierter Prozess im Konzern für den Einsatz von 3D-Frässystemen entwickelt werden kann.

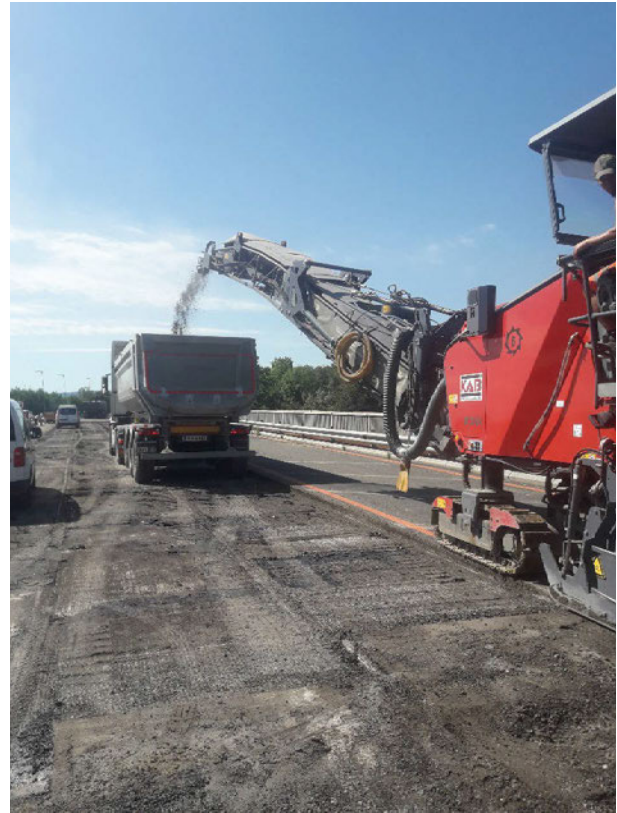


Abbildung 5: 3D-Fräse im Einsatz



**Mobilitäts-
entwicklung**

Mobilitätspakte

Ein neues Instrument der Mobilitätspolitik

Dipl.-Geogr. Nathalie Bednarek

Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg, Stuttgart

Zusammenfassung

Mobilitätspakte sind als neues Instrument der Mobilitätspolitik seit 2017 in Baden-Württemberg etabliert. Die Arbeiten an einem Mobilitätspakt konzentrieren sich auf die Umsetzung von Maßnahmen, die in definierten Räumen spürbare Verbesserungen der Verkehrssituation für Bevölkerung, Umwelt und Wirtschaft bringen. Dem Leitbild der nachhaltigen Mobilität folgend wird der Fokus auf die Vielfalt und Vernetzung der Verkehrsangebote gelegt. Mobilitätspakte sind eine geeignete, innovative Möglichkeit, um die Verkehrsprobleme eines Raumes zielführend zu analysieren und gemeinsam Lösungsvorschläge zu entwickeln, die den Bedürfnissen der jeweiligen Region gerecht werden. Gemeinsam bedeutet, dass dies im Zusammenspiel der Verantwortlichen aus Land, Kommunen, Wirtschaft und Verkehrsbetrieben geschieht. Auch der Bevölkerung kommt dabei eine wichtige Rolle zu.

1. Nachhaltige Mobilität in Baden-Württemberg

Baden-Württemberg möchte Wegbereiter einer modernen und nachhaltigen Mobilität der Zukunft sein. Dafür hat die grün-schwarze Landesregierung im Koalitionsvertrag¹ formuliert, dass

- die Mobilität bis Mitte des Jahrhunderts weitgehend auf erneuerbare Energien umgestellt sein soll,
- neue Mobilitätsformen gefördert werden sollen, die einen Beitrag zu einer neuen multimodalen Mobilitätskultur leisten und
- diese neue Mobilität umwelt- und klimaverträglich, sozial, bezahlbar, wirtschaftlich effizient sein und die Lebensqualität sichern soll.

Um die Klimaschutzziele der Landesregierung zu erreichen und die Verkehrswende einzuläuten, muss der Ausstoß von klimaschädlichem CO₂ um 40% verringert werden. Dafür wurden konkrete und messbare Zahlen definiert, die es zu erreichen gilt:

- Ein Drittel weniger KfZ-Verkehr in den Städten
- Verdopplung des Öffentlichen Verkehrs

- Jedes dritte Auto und jede dritte Tonne fährt klimaneutral
- Jeder zweite Weg soll selbstaktiv mit Rad, Tretroller, E-Scooter oder zu Fuß zurückgelegt werden.

Zentrales Ziel ist die Schaffung einer verlässlichen, nachhaltigen und gleichwertigen Mobilität in allen Regionen, die die Bedürfnisse der Menschen und der Wirtschaft dauerhaft befriedigt – auf eine sozial und ökologisch verträgliche Weise. Dies soll erreicht werden durch die Stärkung des Umweltverbundes (Rad- und Fußverkehr sowie Öffentlicher Personennahverkehr (ÖPNV)).

Baden-Württemberg steht vor großen Herausforderungen: Wirtschaftlich starke Räume und Wachstumsregionen haben mit den Auswirkungen ihres eigenen Erfolgs zu kämpfen: Prosperierende Wirtschaftsräume leiden besonders unter hohen Pendler- und Wirtschaftsverkehren, besonders auf der Straße. Die hohe Verkehrsbelastung bringt die Straßeninfrastruktur dort regelmäßig an die Grenzen ihrer Leistungsfähigkeit. Bei Störungen wie Unfällen oder Baustellen scheint dieses System regelrecht vor dem Kollaps zu stehen. Peripher gelegene oder ländlich geprägte Räume haben nicht weniger mit schwierigen Voraussetzungen zu kämpfen: Die Anbindung an den ÖPNV ist bestenfalls befriedigend, mit langen Reisezeiten oder schlechten Anschlussverbindungen verbunden, *Carsharing*-Angebote sind noch selten vorhanden, *on-demand*-Verkehre erst im Aufbau. In diesen Räumen ist die Nutzung des eigenen Pkw Notwendigkeit und führt wiederum zu Pendelverkehren in die Städte hinein.

¹ Koalitionsvertrag zwischen Bündnis 90/Die Grünen und der CDU Baden-Württemberg 2016 – 2021 abrufbar unter https://www.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/dateien/PDF/160509_Koalitionsvertrag_B-W_2016-2021_final.PDF

Die kurze Gegenüberstellung zeigt, welche Anstrengungen erforderlich sind, um allen Bedürfnissen gleichermaßen gerecht zu werden.

2. Warum neue Instrumente?

Die bisherigen Antworten auf die Fragen der Umsetzung für eine gleichwertige Mobilität für unterschiedlichste Räume waren für sich genommen gut: Der bedarfsgerechte Ausbau der Straßeninfrastruktur folgt dem Paradigmenwechsel „Erhalt vor Neubau“ und der Ausbau und die Förderung des Angebots im Öffentlichen Verkehr mit weitreichenden Verbesserungen der Tarifstrukturen (vgl. *bwtarif*²) mit dem Ziel vermehrt Wege mit Bus und Bahn zurückzulegen, sind auf bestem Wege. Diese Maßnahmen folgen den politischen Zielen des Klimaschutzes, der Luftreinhaltung, des Lärmschutzes oder der Förderung von Elektromobilität.

Von außen betrachtet stehen sich hier konkurrierende Maßnahmen und Ziele gegenüber. Während der Neubau einer Umgehungsstraße den Verkehr aus der Ortsmitte heraushalten soll und damit vermeintlich das Bild vermittelt, es würde allein für das Auto gebaut werden, versucht man mit großen Anstrengungen die Bevölkerung von Bus und Bahn zu überzeugen. Jedoch muss das übergeordnete Ziel sein, die Bevölkerung mit einem vielfältigen Mobilitätsangebot zu einem veränderten Mobilitätsverhalten zu motivieren. Dies bedeutet, den *modal split* dahingehend zu verändern, dass entsprechend der Ziele der Landesregierung mehr Wege im Umweltverbund zurückgelegt werden. Das funktioniert aber nur, wenn auf die Eigenverantwortung eines jeden Einzelnen gesetzt wird. Einen Zwang zum Umstieg darf es nicht geben.

3. Mobilitätspakte

„Das Konzept [der Mobilitätspakte] mit seinem verkehrsträgerübergreifenden Ansatz bietet eine ideale Grundlage für die Vernetzung verschiedener Verkehrsträger. Solchen wirtschaftlich und ökologisch nachhaltig ausgerichteten Lösungen gehört die Zukunft. Politik, Wirtschaft und jeder einzelne kann und muss einen Beitrag dazu leisten!“

Verkehrsminister Winfried Hermann MdL³

Das Nebeneinander von Maßnahmen hat also dazu geführt, dass es zwar punktuelle Verbesserungen im Bereich der einzelnen Verkehrsträger gab, seien es Maßnahmen zur Kapazitätssteigerung von Straßen oder im Schienenverkehr. In der Gesamtschau haben diese

² *bwegt*
abrufbar unter: <https://www.bwegt.de/>

³ Pressemitteilung des Ministeriums für Verkehr Baden-Württemberg vom 25.10.2018.
Abrufbar unter: <https://vm.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/mobilitaetskonzept-fuer-den-raum-wall-dorf-wiesloch-vereinbart/>

Maßnahmen aber nicht dazu geführt, den *modal split* in einer Region nachhaltig zu verändern. Mobilitätspakte verfolgen deshalb einen ganzheitlichen Ansatz. Um einen wesentlichen Beitrag zur zukunftsorientierten Mobilitätssicherung zu leisten, müssen verstärkt verkehrsträgerübergreifende und vernetzte Lösungsansätze zum Tragen kommen.

Das funktioniert nur, wenn die jeweiligen Aufgabenträger gemeinsam darüber beraten, wie die einzelnen Maßnahmen zusammen dazu beitragen können, die Verkehrssituation in einer Region zu verbessern. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer eines Mobilitätspaktes verstehen sich als Partner, die gleichberechtigt ihre Interessen einbringen.

Das Zusammenwirken von Politik, Verwaltung und Wirtschaft bietet großes Potenzial für eine zielgerichtete Diskussion und die zügige Umsetzung von Maßnahmen. Dies betrifft insbesondere die Gremienarbeit auf Ebene der Aufgabenträger aus der Verwaltung.

Grundlage der Zusammenarbeit ist die Gründungserklärung, die alle Partner unterzeichnen. Damit wird die Verpflichtung der Partner nach außen sichtbar. Die Gründungserklärung enthält die Leitlinien des Mobilitätspaktes. Da jeder Pakt auf die Bedürfnisse und Herausforderungen einer Region zugeschnitten ist, hängen die Inhalte der Erklärung maßgeblich von den regional spezifischen Bedürfnissen der Bevölkerung und Wirtschaft vor Ort ab. Wichtig ist das gemeinsame Verständnis aller Partner, dass alle Maßnahmen der Verbesserung der angespannten oder unbefriedigenden Verkehrssituation dienen sollen. Die Gründungserklärung liefert mit einer Festlegung auf Handlungsfelder einen Rahmen für die weitere Erarbeitung eines Maßnahmenpakets.

3.1 Ablauf und Organisationsstruktur

Mobilitätspakte zeichnen sich durch eine effiziente Organisationsform aus, bestehend aus Steuerungskreis, einer Koordinierungsebene sowie einer Arbeitsebene. Grundsätzlich sind in allen Projektebenen alle Partner im Pakt vertreten. Die politische Leitung obliegt bislang regelmäßig dem Verkehrsministerium Baden-Württemberg.

Dem Steuerungskreis sitzt das Verkehrsministerium vor, vertreten durch Verkehrsminister Hermann oder Ministerialdirektor Prof. Dr. Lahl. Mitglieder im Steuerungskreis sind Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträger der jeweiligen Partner ((Ober)Bürgermeisterin/-Bürgermeister, Landrat, CEO, Geschäftsführung). Dieses Gremium fällt Grundlagenentscheidungen, die von der Projektebene vorbereitet und in der Tiefe weiter ausgearbeitet werden.

Die Projektleitung obliegt dem zuständigen Regierungspräsidium. Sie bündelt Entscheidungen und Arbeitsschritte fachlich und organisatorisch und leitet hierzu Workshops und Besprechungen. In diesen Runden werden die verkehrlichen Herausforderungen identifiziert und mit ersten Lösungsansätzen hinterlegt. Sie folgen

den Leitlinien der Gründungserklärung. Die Koordinierungsgruppe ist das Scharnier zwischen Arbeits- und Entscheidungsebene.

Auf der Ebene der Arbeitskreise werden die konkreten Maßnahmen vertieft bearbeitet, so zum Beispiel Fragen von Umsetzbarkeit, Finanzierung oder Förderfähigkeit. Die Arbeitsgruppen können auch Zeitpläne zur Umsetzung ausarbeiten. Dadurch entsteht eine Verpflichtung zur Umsetzung der konkreten Maßnahmen. Je nach Ausrichtung und Zielrichtung eines Mobilitätspaktes können die Arbeitsgruppen verschiedenste Themen behandeln, zumeist in den Handlungsfeldern Öffentlicher Verkehr (ÖV), Motorisierter Individualverkehr (MIV), Fuß- und Radverkehr sowie Betriebliches und Behördliches Mobilitätsmanagement. Maßgabe ist jedoch immer ein stimmiges Gesamtkonzept, das die weitere Vernetzung der Verkehrsträger zum Ziel hat.

3.2 Maßnahmen

Die Maßnahmen sollen umsetzbar sein, die Potenziale aller Verkehrsträger stärken und einen spürbaren Mehrwert für die Bevölkerung, die Wirtschaft vor Ort sowie die Umwelt bieten. Echtes Umdenken findet statt, wenn die Angebote dem individuellen Mobilitätsbedürfnis entsprechen, intuitiv umsetzbar sind und attraktiver erscheinen als der MIV. Dazu gehören attraktive Preise, einfache Tarifgestaltung, eine verbesserte Taktung und effiziente Umsteigezeiten. Für Pendlerinnen und Pendler ist eine gute Erreichbarkeit an den Arbeitsplatz wichtig, zum Beispiel Werksbusse, die passend zu den Arbeitszeiten an nahe gelegene Bahnhöfe fahren. Diejenigen, die mit dem Rad fahren, wünschen sich sichere und zugleich leicht zugängliche Abstellmöglichkeiten in unmittelbarer Nähe zu den Bahnhöfen. Neben Unternehmen, die womöglich ihren Fuhrpark elektrifizieren wollen, induzieren auch Bildungseinrichtungen wie Schulen oder Universitäten große Pendlerströme mit voraussagbaren Spitzenzeiten. Sie können in Form von Beratung zu Mobilitätsfragen, Roadshows und Workshops oder ähnlichem unterstützt werden. Die oben genannten Beispiele geben einen Einblick in die vielfältigen Förderatbestände des Betrieblichen und Behördlichen Mobilitätsmanagements (B²MM)⁴.

Über allem steht derzeit die Corona-Pandemie, die das Mobilitätsverhalten der Bevölkerung vielfältig beeinflusst. Das Auto hat wieder an Bedeutung gewonnen, ebenso wird mehr Fahrrad gefahren und zu Fuß gegangen. Als großer Verlierer gilt aktuell der ÖPNV, der nach Jahren der Förderung und des Ausbaus insgesamt hohe Zuwachszahlen verzeichnen konnte. Das persönliche Schutzbedürfnis vor einer Infektion und die geringere

berufliche Mobilität infolge ortsflexiblen Arbeitens haben jedoch dazu geführt, dass nach der Rückkehr aus dem *lockdown* im Frühsommer 2020 die Fahrgastzahlen nicht wieder an die Zahlen vor der Pandemie anknüpfen konnten. Bisher gibt es noch keine belastbaren Zahlen zu langfristigen Entwicklungen, was die Zahl der Beschäftigten im Homeoffice angeht. Viele Beschäftigte, insbesondere im Bereich wissensbasierter Tätigkeiten, arbeiten seit März von zuhause. Dies wirkt sich massiv auf die Verkehrsbelastungen zu Spitzenzeiten aus. All diese neuen Entwicklungen gilt es auch in Mobilitätspakten zu beleuchten und geeignete Maßnahmen zu identifizieren, um tragfähige Lösungen zu finden.

3.3 Öffentlichkeitsarbeit

Ein wichtiger Baustein ist das Einbeziehen der Bevölkerung in den Prozess eines Mobilitätspaktes. Die Motivation der Verkehrsteilnehmerinnen und -teilnehmer zur Nutzung eines Verkehrsträgers muss bekannt sein, um daraus ableiten zu können, welche Anreize nötig sind, um zum Beispiel zum Umstieg vom Auto auf den ÖPNV zu motivieren. Sind es alleine die Preise, komplizierte Verkehrsverbundstrukturen oder unpassende Umsteigezeiten und somit wesentlich längere Fahrtzeiten? Wo gibt es im Verkehrssystem womöglich Ampelschaltungen, die zu bestimmten Zeiten unnötig Rückstau verursachen und den Verkehrsfluss beeinträchtigen? Fehlen ausreichend sichere Fahrradabstellmöglichkeiten an Bahnhöfen? Diese Gründe lassen sich nur über die direkte Beteiligung der Bevölkerung in der Region erfahren.

Dabei gilt es geeignete Formate zu finden, die Interessierte zum Mitmachen und Diskutieren anregen. Die Öffentlichkeitsarbeit kann dabei ganz unterschiedlich ausgestaltet sein, beginnend bei der Pressearbeit, die regelmäßig über Meilensteine oder Termine berichtet, über eine eigene Internetpräsenz hin zu Beteiligungsprozessen, bei denen die Öffentlichkeit eigene Verbesserungsvorschläge einbringen kann. Die bisherigen Erfahrungen der Öffentlichkeitsbeteiligung zeigen, dass die Bevölkerung ein großes Interesse an Mobilitätsthemen hat und die Chance gerne wahrnimmt, konstruktive Vorschläge einzureichen. Die Prüfung der eingegangenen Ideen und die Einarbeitung in eine bestehende Maßnahmenliste kann zu neuen Lösungen beitragen.

Zur besseren Sichtbarkeit von Fortschritten vereinbaren die Partner eine gemeinsame Kommunikation. Die Umsetzung von Maßnahmen und erreichten Ziele sollen in Verbindung mit dem Mobilitätspakt kommuniziert werden.

4. Beispiele

2017 wurde mit der Unterzeichnung des Mobilitätspaktes Heilbronn-Neckarsulm der Grundstein für weitere Pakte gelegt. Es folgten Walldorf-Wiesloch im Oktober 2018, Rastatt im Januar 2020 sowie Aalen/Heidenheim im Oktober 2020.

⁴ B²MM – Betriebliches und Behördliches Mobilitätsmanagement abrufbar unter: <https://vm.baden-wuerttemberg.de/de/politik-zukunft/nachhaltige-mobilitaet/mobilitaetsmanagement/foerderprogramm-betriebliches-und-behoerdliches-mobilitaetsmanagement/>

4.1 Heilbronn-Neckarsulm

„Das bisherige Verkehrssystem stößt vielfach an die Grenzen der Leistungsfähigkeit. Tägliche Staus sind nur die Auswirkung dessen, aber nicht die Ursache. Daher geht es bei den Lösungsansätzen darum, Engpässe zu identifizieren und zu beseitigen, aber insbesondere auch darum, die Potentiale aller Verkehrsträger zu stärken.“

Andreas Hollatz,
zum damaligen Zeitpunkt Abteilungspräsident,
Regierungspräsidium Stuttgart ⁵

Der Mobilitätspakt Heilbronn – Neckarsulm ist der erste gegründete Pakt. Die Unterzeichnung fand im Juli 2017 mit folgenden Partnern statt: Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg, Regierungspräsidium Stuttgart, Landkreis Heilbronn, Stadt Heilbronn, Stadt Neckarsulm, Nahverkehrsgesellschaft Baden-Württemberg (NVBW), Albta-Verkehrs-Gesellschaft Karlsruhe, AUDI AG und der Schwarz Gruppe. Die Gruppe der beteiligten Partner wächst derzeit. Im November 2020 wollen sich die Städte Bad Friedrichshall und Bad Wimpfen dem Pakt anschließen.

Vereinbart wurden dabei unter anderem bessere Takte im Schienenverkehr, zusätzliche Spät- und Frühverbindungen, der Ausbau des betrieblichen Mobilitätsmanagements bei den großen Betrieben in der Region, Verbesserungen an der Bahn- und an der Straßeninfrastruktur sowie eine möglichst rasche Realisierung der geplanten Radschnellverbindung zwischen Bad Wimpfen und Heilbronn. Außerdem sollte eine großräumige Verkehrsuntersuchung als Datenbasis für die weitere Arbeit im Mobilitätspakt fertiggestellt werden.

Maßnahmen

Schon im Dezember 2017 konnte der Mobilitätspakt Heilbronn-Neckarsulm erste Erfolge verzeichnen: Mit dem Fahrplanwechsel konnte eine Verbesserung im Regionalverkehr mit zusätzlichen Halten in Neckarsulm sowie weiteren Zugpaaren der S 42 für die Audi-Schichtarbeiterinnen und -schichtarbeiter erreicht werden.

Die beteiligten Firmen AUDI AG und Schwarz Gruppe konnten bereits erfolgreich Maßnahmen des betrieblichen Mobilitätsmanagements umsetzen und so ihre Beschäftigten zu einem Umdenken animieren: Das angebotene JobTicket als auch die Nutzung einer Mitfahr-App werden gut angenommen. Die gute Resonanz resultiert aus Erhebungen und Befragungen der Beschäftigten, die vorab durchgeführt wurden, um die Belange und Bedürfnisse der Beschäftigten zu kennen.

⁵ Pressemitteilung des Ministeriums für Verkehr Baden-Württemberg vom 26.07.2020 abrufbar unter: <https://vm.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/mobilitaetspakt-fuer-den-wirtschaftsraum-heilbronn-neckarsulm/>

4.2 Walldorf/Wiesloch

„Die Stadt Walldorf begrüßt es sehr, dass in einer gemeinsamen Erklärung unterschiedlicher Verantwortlicher eine sach- und zielorientierte Mobilitätsplanung betrieben werden soll. Es ist wichtig, den dringend notwendigen Ausbau der Straßeninfrastruktur zu betreiben. Gleichzeitig müssen wir aber auch den Blick weiten für alternative Mobilitätskonzepte. In der Metropolregion und direkt auch am Standort Walldorf haben wir Firmen, die wegweisend in die mobile Zukunft gehen können. Wir haben aber auch eine Bevölkerung, die gegenüber neuen Technologien und Ideen im Bereich der Mobilität aufgeschlossen ist. Wenn wir die Offenheit der Menschen mit dem Know How der Unternehmen zusammenbringen, dann bekommen wir das Verkehrsproblem gelöst.“

Bürgermeisterin von Walldorf, Christiane Saab⁶

Die Unterzeichnung des Mobilitätspaktes Walldorf/Wiesloch im Oktober 2018 war der Startschuss für den zweiten Mobilitätspakt in Baden-Württemberg. Das Mobilitätskonzept benennt Ziele und Eckpunkte für die weitere Entwicklung des Verkehrs im Wirtschaftsraum. Es listet eine Reihe von Themenfeldern unter Berücksichtigung der Verkehrsträger Öffentlicher Personennahverkehr (ÖPNV), Schiene und Straße auf und umfasst neben wichtigen Akzenten im betrieblichen Mobilitätsmanagement auch die Verbesserung des Radverkehrs in der Region.

Öffentlichkeitsbeteiligung

Im Juli 2019 wurde die Bevölkerung vor Ort zur Teilnahme an einem Online-Portal eingeladen. Dort wurden die vorgesehenen Maßnahmen des Mobilitätspaktes vorgestellt. Zeitgleich konnte die Bevölkerung einen Monat lang ihre eigenen Ideen in den Pakt einbringen. Insgesamt gingen über 1.700 Vorschläge ein. Die meisten Hinweise aus der Bevölkerung wurden zum Thema Radverkehr aufgenommen. Hier kamen insgesamt mehr als 550 Ideen zusammen, die eine wertvolle Grundlage für die Weiterentwicklung der Radinfrastruktur bieten.

Anhand der eingegangenen Hinweise sowie der bereits bestehenden Maßnahmen soll erarbeitet werden, welche Handlungsschwerpunkte und Maßnahmen im Rahmen des Mobilitätspaktes in den nächsten Jahren verfolgt werden. Im Januar 2020 ist eine Halbzeitbilanz geplant.

5. Ausblick

Zu den aktuell vier unterzeichneten Mobilitätspakten werden in naher Zukunft noch einige weitere Pakte hinzukommen. Diese sind u.a. die Mobilitätspakte Region Rhein-Neckar und Böblingen/Sindelfingen. Der Mobi-

⁶ Pressemitteilung des Ministeriums für Verkehr Baden-Württemberg vom 25.10.2018.

litätspakt Rhein-Neckar soll unter der Leitung des Verbands Region Rhein-Neckar die Zusammenarbeit der Länder Baden-Württemberg, Hessen und Rheinland-Pfalz in der Metropolregion stärken und dabei grenzüberschreitende Mobilitätslösungen fördern.

Das Format der Mobilitätspakte ist bislang sehr erfolgreich und soll daher auch in weiteren Regionen des Landes Baden-Württemberg zum Einsatz kommen. Um die Koordination aller Mobilitätspakte zu bündeln und Synergieeffekte zu nutzen, wurden in den vier Regierungspräsidien Stuttgart, Tübingen, Freiburg und Karlsruhe

die Referate für „Regionales Mobilitätsmanagement“ gegründet. Dort werden zukünftig alle Mobilitätspakte zentral gesteuert und begleitet.

Interessierte Akteure aus Politik, Verwaltung und Wirtschaft sind eingeladen, ihre Ideen für einen Mobilitätspakt in der jeweiligen Region an die zuständigen Regierungspräsidien zu richten. Nur in der gemeinsamen Verantwortung für eine zukunftsfähige, nachhaltige und vielfältige Mobilität lassen sich Verkehrsprobleme lösen.

Verkehrsmanagementstrategien über Stadtgrenzen hinaus – Ein Werkstattbericht aus der Region Stuttgart

M.Sc. Steffen Sesselmann

Trafficon – Traffic Consultants GmbH, München, Deutschland

Dr. Annette Albers

Verband Region Stuttgart, Stuttgart, Deutschland

Zusammenfassung

Maßnahmen des dynamischen Verkehrsmanagements sind auf Autobahnen und in Großstädten hinreichend bekannt, finden jedoch in Ballungsräumen mit vielen Akteuren bisher kaum Anwendung. Die bestehende Organisation des Straßenwesens ist an etablierte Strukturen der Straßenbaulastträgerschaft und des Betriebs im jeweiligen Zuständigkeitsbereich gebunden. Straßenbaulastträgerübergreifende Verkehrsmanagementstrategien werden bisher nicht bzw. nur einzelfallbezogen zur Lösung gebietsübergreifender, regionaler Verkehrsprobleme umgesetzt. Jedoch können kooperativ geplante und im operativen Betrieb laufende Verkehrsmanagementstrategien zur Verkehrssteuerung, -lenkung und -information auch regionale Verbesserungen erwirken und Zielen wie der Verkehrsverflüssigung, -verlagerung und -reduzierung dienen. Für ein wirksames und raumübergreifendes Verkehrsmanagement ist es daher erforderlich, dass Verkehrsmanagementstrategien und deren Maßnahmen auch über die Stadtgrenzen hinaus mit den Aufgabenträgern in den angrenzenden Gebietskörperschaften abgestimmt und umgesetzt werden.

1. Ausgangslage und Zielsetzung

In Ballungsräumen führen die großen Verkehrsmengen zu erheblichen Verkehrs- und Umweltbelastungen. Zudem entwickeln sich in den hoch ausgelasteten Verkehrsnetzen schon aus kleinen Ereignissen lang andauernde Behinderungen. Insbesondere die größeren Städte und die von hochbelasteten Verbindungsstraßen durchzogenen Kommunen sind durch politische oder auch gesetzliche Vorgaben gefordert, wirksame Maßnahmen zur Verflüssigung oder Vermeidung des Verkehrs sowie zur dauerhaften Reduktion von Umwelt- und Umfeldbelastungen vorzulegen bzw. diese umzusetzen.

Um den Situationen hoher Belastungen und deren verkehrlichen Folgen entgegen zu wirken, können im Rahmen des dynamischen Verkehrsmanagements grundsätzlich zahlreiche Möglichkeiten genutzt werden. Die Umsetzung öffentlicher Verkehrsmanagementstrategien ist dabei mittlerweile ein anerkanntes und wirksames Instrument der Verkehrsbeeinflussung. Dazu gehören die Vermeidung von Kfz-Fahrten, die Verlagerung von bereits angetretenen Kfz-Fahrten an P+R-Standorten auf den ÖPNV sowie die Verringerung des Aufkommens im motorisierten Individualverkehr durch eine zeitliche und räumliche Verlagerung. Vor allem vor dem Hintergrund kommunaler Erfordernisse oder geforderter Grenzwert-

einhalten haben diese Möglichkeiten zunehmend an Bedeutung gewonnen.

Aktuell beschränken sich diese Maßnahmen jedoch mehrheitlich auf den jeweiligen kommunalen Zuständigkeitsbereich. Verkehrsteilnehmer, die aus angrenzenden Regionen in die Ballungsräume pendeln oder diese durchfahren, können mit den vorhandenen räumlich begrenzten Lenkungsstrategien nur schwer erreicht und gesteuert werden. Zudem können auch die angrenzenden Städte und Gemeinden nur bedingt auf diese Strategien reagieren und entsprechende komplementäre Maßnahmen ergreifen.

Die bisherigen Verkehrsmanagementstrategien zielen weitgehend auf die jeweiligen lokalen Erfordernisse und Bedürfnisse der einzelnen Akteure ab. Abgestimmte und straßenbaulastträgerübergreifende Strategien werden bisher zur Lösung gebietsübergreifender, regionaler Verkehrsprobleme und einhergehender Umwelt- und Umfeldbelastungen nicht bzw. nur einzelfallbezogen umgesetzt. Zudem verfügen die an die Großstädte angrenzenden Landkreise und deren kreisangehörigen Städte und Gemeinden meist nicht über die Voraussetzungen, entsprechende interkommunal abgestimmte Verkehrsmanagementstrategien umzusetzen.

Für eine wirksame und frühzeitige raumübergreifende Verkehrslenkung, -steuerung und -information ist es jedoch erforderlich, dass Maßnahmen und Strategien auch über

die Stadtgrenzen hinaus mit den Aufgabenträgern in den angrenzenden Gebietskörperschaften abgestimmt und umgesetzt werden können. Daher ist eine Vernetzung der zuständigen Aufgaben- und Verkehrsträger in den Ballungsräumen erforderlich, um den zuständigkeitübergreifenden Austausch von Daten und Informationen sowie Strategien gemeinsam abstimmen und technisch umsetzen zu können. Die Voraussetzungen für eine Umsetzung der Strategien und Maßnahmen in den umliegenden Landkreisen, Städten und Gemeinden ist auf organisatorischer und technischer Seite bisher kaum oder nur sehr rudimentär gegeben. Es gilt, diese Ansätze systematisch auszuweiten, so dass bereits frühzeitig im Zulauf auf die betroffenen Gebiete auch außerhalb der Stadtgrenzen entsprechende Strategien aktiviert werden können.

Mit dem Vorhaben eines straßenbaulastträgerübergreifenden regionalen Verkehrsmanagements kann eine stärkere technische und organisatorische Vernetzung der Akteure im Verkehrsmanagement erreicht werden. Ziel ist es, sowohl auf strategischer Ebene die Planungen zur Verkehrslenkung abzustimmen als auch eine abgestimmte Steuerung der Verkehre im operativen Verkehrsmanagement umzusetzen. Durch die Kooperation und Ausweitung der verkehrlichen Steuerungsmaßnahmen auf angrenzende Gebietskörperschaften können die Wirkungen kommunaler Maßnahmen somit verstärkt werden.

2. Zuständigkeitsübergreifendes Verkehrsmanagement

Zur Umsetzung straßenbaulastträgerübergreifender und zwischen den Beteiligten abgestimmter Verkehrsmanagementstrategien ist die Etablierung einer dauerhaften regionalen organisatorischen und technischen Zusammenarbeit der Akteure im zuständigkeitübergreifenden dynamischen Verkehrsmanagement Voraussetzung. Grundlage ist ein abgestimmtes und koordiniertes Strategiemangement, die Ertüchtigung strategierelevanter verkehrstechnischer Infrastrukturen der Akteure sowie die technische Vernetzung von Verkehrsmanagementsystemen über Zuständigkeitsgrenzen hinweg. Darauf aufbauend können die Entwicklung, technische Umsetzung und der dauerhafte Betrieb gebietsübergreifender abgestimmter Verkehrsmanagementstrategien erfolgen. Die heutigen hoheitlichen Steuerungskompetenzen der beteiligten Akteure bleiben dabei fortlaufend gewahrt.

Für die Konzeption und spätere Umsetzung solcher Verkehrsmanagementstrategien sind zum einen der Aufbau eines Abstimmungs- und Planungsprozesses in Form eines gebietsübergreifenden Facharbeitskreises unter Beteiligung der zuständigen Fachplaner je beteiligter Institution und zum anderen der Aufbau und die Etablierung eines Beirates für die Einbeziehung der kommunalen Entscheidungsebene vorzusehen. Neben der Organisation der Akteure erfolgen Planungen, um Grundlagen für die Strategien und deren Projektierung zu erarbeiten sowie eine Abstimmung zwischen den Beteiligten und ihren Zuständigkeiten zu erwirken. Dies bedeutet die

fachliche und politische Mitwirkung der o.g. Akteure, die verkehrslenkende und -steuernde Funktionen ausführen. Am Anfang steht die Identifikation von Problemstellen (MIV, ÖV) im strategischen Netz auf Basis verkehrlicher Analysen und Expertennennungen. Regional bedeutsame Situationen, die nicht allein im Wirkungsbereich eines Straßenbaulastträgers liegen (z.B. in den Hauptverkehrszeiten, bei Veranstaltungen, durch Baustellen, Unfall, Umwelt, etc.) werden in Abstimmung mit den Akteuren definiert [1]. Anhand dieser werden geeignete Maßnahmen und Strategien konzipiert und sowohl hinsichtlich der zu erwartenden Wirkungen, Komplexität und Form der Vernetzung als auch in Bezug auf den Umsetzungshorizont und zuständigkeitübergreifenden Planungsansatz bewertet.

Im Rahmen der Planungen ist neben der Strategieentwicklung die detaillierte Konzeption der Vernetzung mit Rollen- und Betreibermodell(en) sowie die Entwicklung geeigneter digitaler Instrumente (Software) für ein strategisch-taktisches und operatives Verkehrsmanagement vorzusehen. Für eine effiziente Vernetzung müssen zum einen die Anforderungen einer Strategie bekannt sein, zum anderem muss die Strategieentwicklung die existierende oder realisierbare Vernetzung berücksichtigen. Bei der Konzeption der Vernetzung werden unter anderem die Erarbeitung von Strategie- und Kooperationsvereinbarungen, auszutauschender Daten und technischer Fragestellungen, wie z.B. Schnittstellen innerhalb von Netzwerken, Datenformate und die einzusetzende Kommunikationstechnik berücksichtigt sowie mit den beteiligten Akteuren abgestimmt [1].

Um verbindliche Strategievereinbarungen zwischen den beteiligten Akteuren im Kontext des operativen Verkehrsmanagements zu treffen, werden die im Ergebnis vorliegenden Verkehrsmanagementstrategien zwischen den Akteuren auf Fach- und Entscheidungsebene abgestimmt und unterzeichnet. Diese beinhalten u.a. die betrieblich-organisatorischen Abläufe beim Strategiemanagement sowie regelmäßige Grundsatzabstimmungen zur Weiterentwicklung der Systeme und Strategien. In Kooperationsvereinbarungen werden zudem Zweck und Organisation der Zusammenarbeit, Regelungen zum Ablauf der Strategieabstimmung und -umsetzung, Datenaustausch sowie zur Kommunikation, Datenüberlassung, Kostenteilung und Vertragsbindung geregelt [1].

3. Praxisbeispiel Region Stuttgart - Werkstattbericht

Die Region Stuttgart, mit ihrer polyzentrischen Struktur und einer daraus resultierenden Vielzahl an hochverdichteten Wohn- und Arbeitsstätten, zeichnet sich durch ein besonders stark ausgelastetes Straßennetz aus. Interkommunale Pendlerströme und ein bedeutender Wirtschaftsverkehr überlagern sich mit starken Strömen des Fernverkehrs. Daraus resultiert insbesondere eine regelmäßige Überlastung des Straßennetzes zu den Spitzenzeiten. Erweiterungen der Verkehrsinfrastruktur sind sowohl im motorisierten Individualverkehr als auch im öffentlichen Verkehr nur punktuell möglich. Demzufolge

führen hohe Auslastungen und Störungsursachen zu erheblichen Zeitverlusten für die Verkehrsteilnehmer [2]. Die polyzentrale politische Gliederung in insgesamt 179 Kommunen sowie fehlende Schnittstellen und Vernetzungen hindern die Akteure im Verkehrsmanagement (Land, Kreise, Kommunen) bis heute daran, regionsweit aktiv die Ströme in den Netzen zu lenken. Verkehrssteuerungskompetenzen sind räumlich und organisatorisch verteilt und entsprechen nicht dem Bedarf an koordinierten verkehrsgerechten Eingriffen in das betroffene Straßennetz. Einen Lösungsansatz bietet hierfür der Aufbau eines regionalen und zuständigkeitsübergreifenden Verkehrsmanagements unter einem Dach.

Der Verband Region Stuttgart hat die Koordinierung und Förderung eines regionalen Verkehrsmanagements und der intermodalen Vernetzung im Zuge des ÖPNV-Paktes 2025 als gesetzliche Aufgabe übernommen. Er hat sich um Mittel aus dem europäischen Fonds für Regionalentwicklung (EFRE) im Landesprogramm RegioWIN beworben und wurde mit dem Leuchtturmprojekt „Regionale Mobilitätsplattform“ ausgezeichnet [3]. Das Modellprojekt wird aus EFRE-Mitteln sowie dem Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg gefördert und weist ein Gesamtvolumen von 9,5 Mio. Euro [4] auf.

Der Fokus des Projektes liegt auf dem straßengebundenen Verkehr unter Berücksichtigung des ÖPNV. Hierfür wird bis 2022 eine regionale Verkehrsmanagementzentrale in einem Ring um die Landeshauptstadt Stuttgart aufgebaut, die sowohl den organisatorischen als auch operativen Rahmen für das zuständigkeitsübergreifende Verkehrsmanagement definiert.

Das Vorgehen zur Entwicklung und Umsetzung straßenbaulastträgerübergreifender Strategien orientiert sich an den Empfehlungen der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) [1].

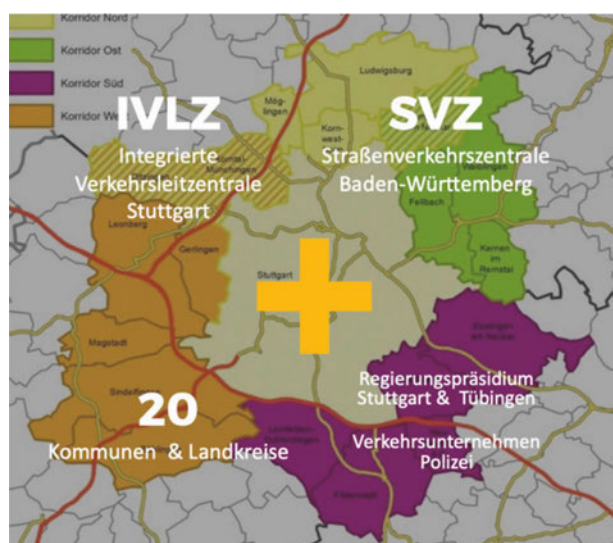


Abbildung 1: Untersuchungsraum für das Pilotprojekt Regionale Mobilitätsplattform

Quelle: Verband Region Stuttgart

Um mit den relevanten Akteuren aus Land Baden-Württemberg, Landkreisen, Landeshauptstadt Stuttgart und weiteren Kommunen eine maßgeschneiderte Aufgabenstellung für spätere Investitionen zu erstellen, wurde das Projekt Regionale Mobilitätsplattform in zwei Projektphasen gegliedert. Die Projektphase I (Abschluss im Sommer 2019) umfasste ausschließlich Konzeptionen und Planungen, um Grundlagen für Verkehrsmanagementstrategien und deren Projektierung zu erarbeiten sowie eine Abstimmung zwischen den Beteiligten und ihren Zuständigkeiten zu erwirken. Dies bedeutet die Berücksichtigung und Beteiligung der Straßenbaulastträger auf den Ebenen Bundesfernstraßen bis zu kommunalen Straßen sowie der Straßenverkehrsbehörden und weiterer Organisationen, die verkehrslenkende und -steuernde Funktionen ausführen. Die Projektphase II (Beginn Januar 2020) umfasst vor allem die Ausführungsplanung und Umsetzung von Verkehrsmanagementstrategien im motorisierten Individualverkehr und straßengebundenen ÖPNV sowie die Implementierung der dafür notwendigen verkehrs- und systemtechnischen Infrastruktur. Innerhalb des im Projekt definierten Untersuchungsraumes (siehe Abbildung 1) wurden gemeinsam mit den im Projekt beteiligten Akteuren und auf deren Vorschlag hin in der Projektphase I in monatlich stattfindenden Expertenforen (Facharbeitskreisen) zuständigkeitsübergreifende Verkehrsmanagementstrategien mit dazugehörigen Maßnahmen zur Lösung der zuvor identifizierten regionalen Verkehrsprobleme intensiv ausgearbeitet (siehe Abbildung 2) [2].

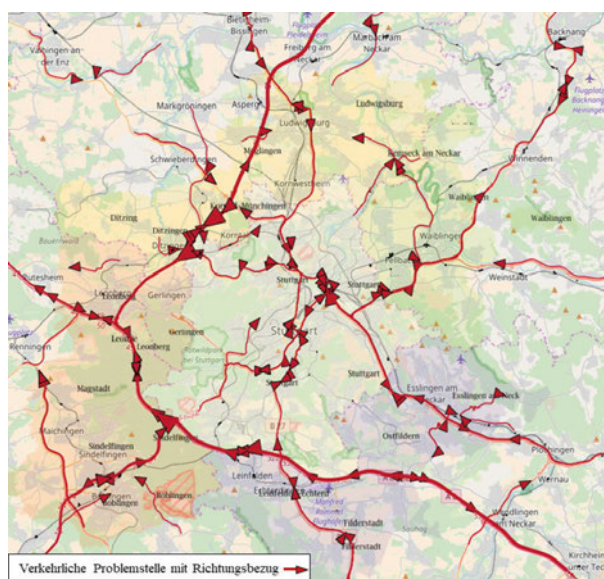


Abbildung 2: Regional bedeutsame verkehrliche Problemstellen zu den Hauptverkehrszeiten

Quelle: Verband Region Stuttgart

Etwa 40 (Teil-)Strategien und mehr als 60 Maßnahmen wurden mit den beteiligten Akteuren in den Expertenforen sowie mit den Entscheidungsträgern des Landes Baden-Württemberg, der Landkreise und Kommunen im

Rahmen des “Beirats Verkehrsmanagement Region Stuttgart” abgestimmt sowie fachlich zur Weiterführung in der Projektphase II beschlossen. Neben der Abstimmung der Strategien zwischen den lokalen Akteuren (Landkreis und Kommune) wurden Abstimmungen mit dem Regierungspräsidium Stuttgart hinsichtlich einer Umsetzung der Strategien mittels Neubau bzw. Ertüchtigung verkehrstechnischer Infrastrukturen geführt. Das insgesamt befürwortende Ergebnis des Abstimmungsprozesses zwischen allen Akteuren zeigt auf, dass die geplanten Verkehrsmanagementstrategien mitsamt erarbeiteten Maßnahmen(-bündel) nur dann ihre verkehrlichen Wirkungen erzielen werden, wenn sich alle Akteure (Straßenbauverwaltung des Landes, Landkreise, Kommunen) auf eine konstruktive Zusammenarbeit verpflichten.

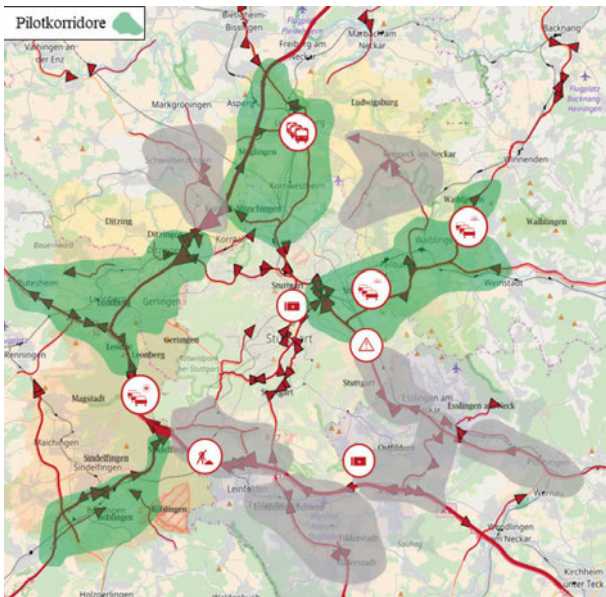


Abbildung 3: Ausgewählte Pilotkorridore
Quelle: Verband Region Stuttgart

In der Region Stuttgart wurden zur Umsetzung der Planungsergebnisse der Projektphase I vier Pilotkorridore (siehe Abbildung 3) aus dem strategischen Straßennetz ausgewählt und Verkehrssteuerungs-, Lenkungs- und Informationsstrategien als Beitrag zur Reduzierung der Umweltbelastungen sowie zur Steigerung der Effizienz der Straßeninfrastrukturen in definierten Verkehrssituationen konzipiert [5].

In der Projektphase II erfolgen somit Kooperationen mit der Straßenverkehrszentrale Baden-Württemberg und der Integrierten Verkehrsleitzentrale der Landeshauptstadt Stuttgart sowie dem Regierungspräsidium Stuttgart, Rems-Murr-Kreis und Landkreis Böblingen. Darüber hinaus beteiligen sich die Städte Ludwigsburg, Waiblingen, Fellbach, Böblingen, Leonberg und Ditzingen. Für die vier Korridore wurden Strategien des dynamischen Verkehrsmanagements mit konkreten Maßnahmen(-bündeln) definiert. Diese beinhalten folgende Maßnahmen für den straßengebundenen Verkehr:

- Standortspezifische dynamische Verkehrsinformationen in Form virtueller Infotafeln
- Empfehlungen zur Nutzung von P+R-Anlagen entsprechend des aktuellen Auslastungsgrades und der S-Bahn-Anschlüsse
- Dynamische Lichtsignalsteuerungen für ein situationsabhängiges Kapazitätsmanagement zur Gewährleistung der Verkehrsqualität in städtischen Straßennetzen
- Berücksichtigung des ÖPNV mittels Busbevorrechtigung

Um den Verkehr im Bedarfsfall gezielt zentral beeinflussen oder Handlungsvollzüge auf der Basis der vorabgestimmten Strategien empfehlen zu können, bedarf es einer entsprechend ausgestatteten Straßenverkehrstechnik vor Ort (Lichtsignalanlagen, Verkehrskameras, Detektoren, angepasste Signalprogramme, etc.) in den vier Pilotkorridoren, die mit einer regionalen Verkehrsmanagementzentrale vernetzt sind.

3.1 Strategien zu den Hauptverkehrszeiten

Während den Hauptverkehrszeiten (morgendliche und abendliche Spitzenstunde) kommt es zu Überlastungen im strategischen Netz der Region Stuttgart. Neben Überlastungen im übergeordneten Straßennetz erfolgen auch Verkehrsbelastungen im nachgeordneten Straßennetz und insbesondere in den innerörtlichen Siedlungsbereichen. Diese werden durch hohe Durchgangs- und Pendlerverkehre stark belastet.

Das Handlungsspektrum der konzipierten Strategien zu den Hauptverkehrszeiten setzt sich vor allem aus der Verkehrssteuerung und begleitenden Straßenverkehrsinformation zusammen. Ziel ist es, die Leistungsfähigkeit des übergeordneten und nachgeordneten Straßennetzes zu erhalten sowie die örtlichen Umweltbelastungen durch Verflüssigung des Verkehrs zu reduzieren. Dazu soll der Durchgangsverkehr zu den Hauptverkehrszeiten auf dem großräumigen und überregionalen Straßennetz verbleiben und eine Verlagerung des Kraftfahrzeugverkehrs in die innerstädtischen Siedlungsbereiche vermieden werden (siehe Abbildung 4).

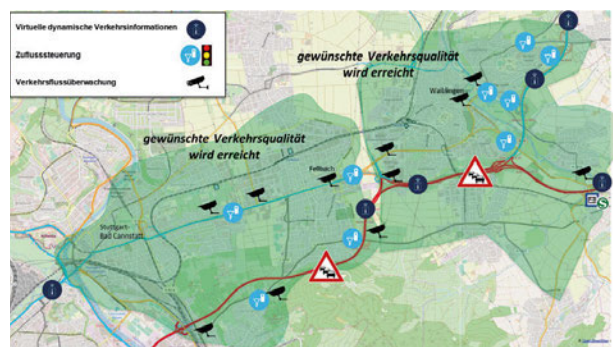


Abbildung 4: Pilotkorridor Waiblingen - Fellbach - Stuttgart-Bad Cannstatt
Quelle: Verband Region Stuttgart

Durch ein situations- und verkehrsabhängiges Kapazitätsmanagement zur Erreichung einer ausreichenden Verkehrsqualität in den Siedungsbereichen, virtuellen dynamischen Straßenverkehrsinformationen an relevanten Entscheidungspunkten im übergeordneten Straßennetz sowie Empfehlungen zur Nutzung von P+R-Anlagen bei noch freien Parkplätzen bzw. der frühen Ankündigung einer Vollbelegung, wird diese Strategie verfolgt.

3.2 Strategien bei nicht planbaren Ereignissen

Nicht planbare Ereignisse (z.B. Unfälle, Glätte, etc.) verstärken die bestehenden Überlastungen zu den Hauptverkehrszeiten im regionalen Straßennetz zusätzlich, wenn deren Auswirkungen in die Hauptverkehrszeiten hineinreichen. Ziel ist es, bei Störfällen das strategische Netz möglichst leistungsfähig zu halten und die negativen Auswirkungen auf den Verkehrsfluss zu minimieren. Es gilt, eine zeitliche und räumliche Ausweitung von Verkehrsüberlastungen durch nicht planbare Ereignisse in die morgendliche bzw. abendliche Hauptverkehrszeit hinein zu vermeiden. Daher müssen mögliche freie Kapazitäten in Schwachlast- bzw. Nebenverkehrszeiten (z.B. nachts) im gesamten strategischen Netz genutzt werden, um langanhaltende Verkehrsbehinderungen in den durch Unfälle gestörten Netzbereichen zu vermeiden und reduzieren (siehe Abbildung 5).

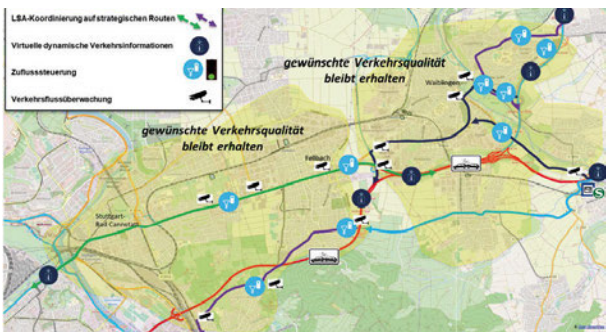


Abbildung 5: Pilotkorridor Waiblingen - Fellbach - Stuttgart-Bad Cannstatt *Quelle: Verband Region Stuttgart*

Im Zuge dessen kann das nachgeordnete Netz situationsbedingt (z.B. bei einem Unfall) zusätzliche Kapazitäten für den Verkehr vom übergeordneten Straßennetz (z.B. Bundesautobahn, Bundesstraße) zur Verfügung stellen, sodass ein geordneter Verkehrsfluss sowohl im über- als auch nachgeordneten Straßennetz zügig wiederhergestellt werden kann.

3.3 Kooperation der Akteure im regionalen Verkehrsmanagement

Für die Umsetzung der Schaltzustände der entwickelten Verkehrsmanagementstrategien soll eine regionale Verkehrsmanagementzentrale schwerpunktmäßig für die Landkreise und Kommunen im „Ring“ um Stuttgart

aufgebaut und anschließend als dauerhafte regionale Zusammenarbeit der Akteure im zuständigkeitsübergreifenden dynamischen Verkehrsmanagement etabliert werden. Sie wird in enger Zusammenarbeit mit den bestehenden Einrichtungen der Straßenverkehrszentrale Baden-Württemberg und der Integrierten Verkehrsleitzentrale der Landeshauptstadt Stuttgart Verkehrsmanagementaufgaben wahrnehmen. Diese regionale Verkehrsmanagementzentrale mit den Systemen zur Verkehrsinformation und Verkehrssteuerung mit einem Zugriff auf die lokale Verkehrstechnik vor Ort, kann auf die Verkehrsstörungen im Straßennetz, abgestimmt mit den beiden bestehenden Zentralen, reagieren (siehe Abbildung 6). Der Aufbau der regionalen Verkehrsmanagementzentrale soll bis Projektende als Pilotvorhaben mit den bisher gewonnenen Interessenten erfolgen. Zeitlich parallel wird der Bund die Unterhaltung und den Betrieb der Bundesautobahnen zentralisieren. Dies wird auch zu einer Neuaufstellung der Straßenverkehrszentrale des Landes führen. In gemeinsamer Abstimmung mit dem Land Baden-Württemberg werden künftige Verkehrsmanagementaufgaben des Landes und der regionalen Ebene perspektivisch zusammengeführt bzw. entwickelt werden.

Ausgehend von diesem Pilotprojekt soll das regionale Verkehrsmanagementsystem im Datenverbund bei Erfolg sukzessive auf weitere Bereiche der Region ausgeweitet werden, um so ein flächendeckendes abgestimmtes operatives Verkehrsmanagement in der Region Stuttgart zu erreichen. Ziel ist die Etablierung einer dauerhaften regionalen Zusammenarbeit der Akteure im zuständigkeitsübergreifenden dynamischen Straßenverkehrsmanagement.

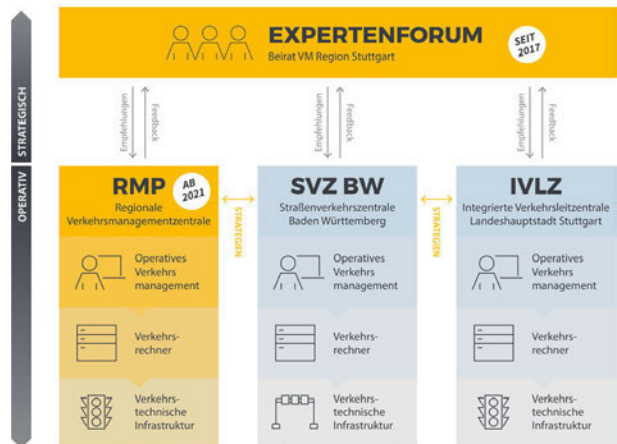


Abbildung 6: Kooperation im regionalen Verkehrsmanagement *Quelle: Verband Region Stuttgart*

Um einen effizienten, leistungsfähigen, sicheren, umwelt- und umfeldgerechten sowie wirtschaftlichen Verkehrsablauf zu gewährleisten, vereinbaren die Partner eine kontinuierliche Zusammenarbeit bei der Planung und operativen Umsetzung von Verkehrsmanagementstrategien. Zweck der Kooperation ist es, zuständigkeitsübergreifende Strategien und Maßnahmen gemeinsam

vorzubereiten, in abgestimmter Form den zuständigen Entscheidungsträgern vorzulegen und die vereinbarten Strategien im operativen Betrieb anzuwenden

Im Zuge der künftigen Strategieumsetzung sind hierzu verbindliche Strategievereinbarungen vorgesehen, die Zweck und Organisation der Zusammenarbeit, den Ablauf der Strategieabstimmung und -umsetzung sowie den Datenaustausch regeln. Jede einzelne Verkehrsmanagementstrategie mitsamt Maßnahmen(-bündel) wird in einer detaillierten Strategievereinbarung festgehalten und mit den beteiligten Projektpartnern ausgearbeitet sowie abgestimmt. Die verbindlichen Strategievereinbarungen mitsamt eingeholter verkehrsrechtlicher Anordnungen stellen im Rahmen der zuständigkeitsübergreifenden Kooperationen das zukünftige Handeln der Operatoren im operativen Betrieb sicher.

3.4 Mehrwert und Nutzen für die regionalen Akteure

Neben einer kontinuierlichen straßenbaulastträgerübergreifenden Abstimmung und Etablierung eines zentralen Ansprechpartners im regionalen Verkehrsmanagement ergeben sich sowohl im jeweiligen eigenen Verantwortungsbereich als auch übergreifend Verbesserungen der Umwelt- und Umfeldverträglichkeit mit einer Emissionsminderung in den Siedlungsbereichen durch die situationsbedingte Steuerung des Verkehrs.

Der übergeordnete Nutzen für die Beteiligten zielt auf folgende Bereiche ab:

- Verbesserte Abstimmung und Koordinierung situationsbedingter Verkehrssteuerungen
- Schaffung eines Organisationsrahmens zur Vernetzung der Verkehrssysteme
- Schaffung regionaler Grundlagen für die Planung
- Differenzierte Informationen zur Echtzeitverkehrslage als Planungs- und Entscheidungsgrundlage
- Der operative Nutzen stellt für die Beteiligten die
- Situationsbedingte Steuerung des Verkehrsangebots im eigenen Verantwortungsbereich
- Verbesserung des Verkehrsflusses mit verbesserter Netzauslastung
- Reduzierung von Luftschadstoffemissionen, CO₂- und Lärmemissionen
- Zugang zum Verkehrsmanagementsystem mit Informationen zur Echtzeitverkehrslage und geschalteten Strategien

dar.

Weiterhin ist es vorgesehen, sich zur Kommunikation der Verkehrsmanagementstrategien des Mobilitäts Daten Marktplatzes (MDM) zu bedienen. Als Deutschlands nationaler Zugangspunkt für Verkehrsdaten gewährleistet der MDM, angesiedelt bei der Bundesanstalt für Straßenwesen, dass Informationen – in diesem Fall z.B. über aktive Strategien - diskriminierungsfrei zur Verfü-

gung stehen und im Rahmen der Strategien zu erwartende Schaltzustände bereits von Navigationsanbietern im Routing berücksichtigt werden können [6].

3.5 Ausblick

Neben den vier Pilotkorridoren und der damit verbundenen Umsetzung erster zuständigkeitsübergreifender Initialstrategien sollen in zukünftigen Ausbaustufen des regionalen Verkehrsmanagements weitere Teilnetze nach Bedarf miteinbezogen werden. Alle Beteiligten erhalten die Möglichkeit, an den im Weiteren zu erarbeitenden Projektergebnissen zu partizipieren und aktive Beteiligte im strategisch-taktischen und operativen Verkehrsmanagement zu werden. Dabei geht es um die Aufnahme verkehrsrelevanter Ereignisse (u.a. Baustellen, Veranstaltungen, nicht planbare Störfälle, etc.) in eine gemeinsame regionale Verkehrsinformationsbasis und um die Bereitstellung bzw. den Abruf relevanter Informationen aus dieser. In dem Projekt wurde ein Expertenforum der Fachleute (Facharbeitskreis) mit etwa monatlichen Treffen etabliert, das von den Teilnehmern als Austauschplattform sehr geschätzt wird und fortgeführt werden soll.

Im Rahmen der aktuellen Planungen in Projektphase II (Stand Herbst 2020) erfolgt die Detailplanung der in Projektphase I im Entwurf erarbeiteten Strategien mit den beteiligten Projektpartnern bis hin zur Ausführungsreife. Dabei werden auch die erforderlichen verkehrsrechtlichen Anordnungen je Maßnahme bei den zuständigen Straßenverkehrsbehörden eingeholt. Dieser Planungsprozess steht in starker Wechselwirkung und Abstimmung zur Planung der lokalen strategierelevanten Verkehrstechnik (z.B. Anpassung von LSA-Programmen und Aktualisierung von Steuergeräten). Um verbindliche Strategievereinbarungen zwischen den beteiligten Akteuren im Kontext des operativen Verkehrsmanagements zu treffen, werden die im Ergebnis vorliegenden Strategien zwischen den Akteuren auf Fach- und Entscheidungsebene abgestimmt und unterzeichnet. Diese beinhalten u.a. die betrieblich-organisatorischen Abläufe beim Strategiemanagement sowie regelmäßige Grundsatzabstimmungen zur Weiterentwicklung der Systeme und Strategien.

Für die auf Basis der in der Ausführungsplanung entwickelten verkehrs- und systemtechnischen Infrastrukturen der regionalen Verkehrsmanagementzentrale wurden die Ausschreibungsunterlagen erstellt und das Ausschreibungsverfahren samt Vergabe eingeleitet. Die Ausschreibungen beinhalten die Lieferung, Erstellung und Versorgung der Systeme.

Die spätere Ausschreibung und Vergabe der lokalen Verkehrstechnik erfolgt eigenständig unter der Federführung der beteiligten Projektpartner (Land, Landkreis, Kommune).

4. Zusammenfassung

Es hat sich gezeigt, dass für eine Verbesserung der verkehrlichen Situation in regionalen Straßennetzen neben den verkehrsplanerischen und -technischen insbesondere die organisatorischen Ansätze sowie ein breiter politischer Konsens zur erfolgreichen Initiierung und späteren Etablierung eines zuständigkeitsübergreifenden Verkehrsmanagements Berücksichtigung finden müssen. Zudem werden je nach Ausgangslage der unterschiedlichen verkehrlichen oder umweltrelevanten Problemstellen maßgeschneiderte Lösungen erforderlich. Grundsätzlich sind zur Bewältigung und Verbesserung des Status Quo der Aufbau einer dauerhaften Kooperation und eine fortlaufende transparente Abstimmung zwischen den kommunalen und institutionellen Partnern.

Literatur

- [1] FGSV – Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Verkehrsmanagement: Hinweise zur Strategieranwendung im dynamischen Verkehrsmanagement (2011)
- [2] Regionalverkehrsplan Region Stuttgart - Beschluss der Regionalversammlung vom 18.07.2018 - Verband Region Stuttgart, <https://www.region-stuttgart.org/regionalverkehrsplan> (URL vom 23.10.2020)
- [3] Verband Region Stuttgart - „Regionale Mobilitätsplattform“, <https://www.region-stuttgart.org/mobilitaetsplattform> (URL vom 08.10.2020)
- [4] Verband Region Stuttgart - Aufgaben und Projekte, <https://www.region-stuttgart.org/aufgaben-und-projekte/verkehrsmanagement> (URL vom 26.10.2020)
- [5] Wirtschaftsförderung Region Stuttgart GmbH - Das Standortmagazin der Region Stuttgart, Themenheft 2019
- [6] MDM Mobilitäts Daten Marktplatz, <https://www.mdm-portal.de/> (URL vom 24.10.2020)

Motorradlärm in Baden-Württemberg – Von der subjektiven Belästigung zu belegbaren Grundlagedaten

Dr.-Ing. Hartmut Ziegler

DTV-Verkehrsconsult GmbH, 52076 Aachen, Deutschland

Zusammenfassung

In Baden-Württemberg wurde von Land und Kommunen die Initiative Motorradlärm gegründet, in der sich beide gemeinsam für Verbesserungen einsetzen. Einen Baustein dabei bildet die Objektivierung der Belastungen durch Motorradlärm. Dazu wurde das Zählstellennetz des Landes hinsichtlich hoher Motorradzahlen analysiert und geeignete Indikatoren für „viel“ Motorradverkehr überprüft und auf ihre Eignung getestet. Aus dieser Bewertung wurden rund 100 besonders hoch belasteten Stellen ausgewählt, an denen kontinuierliche Lärmmessungen über 14 Tage durchgeführt werden. Dazu werden sogenannte Akustikleitpfosten eingesetzt, die über Seitenradartechnik zur Zählung und Klassifizierung des Verkehrs verfügen und zusätzlich den Fahrzeuginlärm von Fahrzeugen, die am Leitpfosten direkt vorbeifahren, aufzeichnen. Die Ergebnisse dieser Messungen dienen als Grundlage für weitere Überlegungen, um eine Verminderung des Motorradlärms zu erreichen.

1. Ausgangssituation

Verkehrslärm belastet. Besonders Motorradlärm ist dabei zu einem breit thematisierten Ärgernis geworden. Vor allem in landschaftliche Gebieten, die für Motorradfahrer attraktive Streckenverläufe aufweisen, steigt der Unmut bei den Bewohnern der Ortschaften und auch bei Erholungssuchenden. All dies sind bekannte Fakten.

Diese Lärmbelastungen werden nicht nur durch unzulässige Manipulationen an den Motorrädern hervorgerufen, sondern in erster Linie durch die Fahrweise Ihrer Nutzer. Es bestehen bereits verschiedene kommunikative und praktische Ansätze, gegen diesen Lärm vorzugehen. Dies geschieht z.B. mittels Workshops, Infotermine oder mittels Dialogdisplays. Über die Wirksamkeit solcher Maßnahmen gibt es unterschiedliche Bewertungen.

Das Thema Lärm - und besonders Motorradlärm - ist teils stark emotional geprägt, was aufgrund der persönlichen Betroffenheit nachvollziehbar ist. In Baden-Württemberg wurde von Land und Kommunen eine gemeinsame „Initiative Motorradlärm“ gegründet. Der Verkehrsminister des Landes Baden-Württemberg, der Lärmschutzbeauftragte der Landesregierung von Baden-Württemberg und die der Initiative beigetretenen Städte, Gemeinden und Landkreise aus Baden-Württemberg fordern, dass alle Handlungsmöglichkeiten ergriffen werden, um Motorradlärm wirkungsvoll zu reduzieren. Die Initiative Motorradlärm fordert, dass Motorräder leiser werden, dass Motorräder leiser gefahren werden, und dass rücksichtsloses Fahren deutliche Folgen hat. Einen Baustein dabei bildet die Objektivierung der Belastungen durch Motorradlärm.

Die Fragen lauten dabei stark vereinfacht:

- Wie laut sind die Motorräder?
- Wo ist es besonders laut?

Diesen Fragestellungen will eine vom Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg beauftragte Untersuchung nachgehen. Dazu wurden drei zentrale Arbeitspositionen definiert:

- Ermittlung von verkehrlich hochbelasteten Motorradstrecken
- Messung von Verkehrszahlen und Lärmpegeln von Pkw, Lkw und Motorrädern
- Bewertung der Messergebnisse

Dazu sollten in einem ersten Schritt die durch Motorräder höchstbelasteten Zählstellen im Land ermittelt werden und anschließend dort Verkehrszählungen und Lärmmessungen durchgeführt werden. Bisher waren Lärmmessungen im Verkehrsraum sehr aufwändig und wurden daher eher selten durchgeführt. Mit einer neuen Erhebungstechnik hat sich das insofern geändert, dass vergleichende Messungen mit vergleichsweise geringem Aufwand möglich sind. Damit sind sozusagen flächendeckende Messungen realisierbar.

2. Motorradstrecken

2.1 Indikatoren

Motorradlärm hängt von verschiedenen Faktoren ab. Neben dem individuellen Fahrzeug und der individuellen Technik, spielen auch die Verkehrsmenge, Topographie, verkehrsregelnde Maßnahmen und natürlich die individuelle Fahrweise eine Rolle. Wo besonders viele Motorräder unterwegs sind, kann es auch besonders laut sein. Dieser Aspekt sollte in einem ersten Schritt analysiert werden. Dies ist relativ leicht möglich, da das Land Baden-Württemberg seit 2010 landesweit und systematisch ein rund 4.500 Zählstellen umfassendes Netz von Erfassungsstellen betreibt, bei der in kontinuierlichen Wochenzählungen der Verkehr gezählt und nach Fahrzeugarten differenziert analysiert werden. Das Verfahren hat unter dem Namen „Verkehrsmonitoring“ mittlerweile bundesweite Verbreitung gefunden. Dieses Zählstellennetz verteilt sich wie folgt auf die verschiedenen Straßenklassen:

- Bundesstraßen: 513
- Landesstraßen: 1.770
- Kreis- und Gemeindestraßen: 2.080

Diese Verteilung lässt erkennen, dass Verkehrsmengendaten nicht nur für die hochbelasteten Fernstraßen, sondern tatsächlich flächendeckend auch auf weniger verkehrsbelasteten Straßen vorliegen. Diese sind für Motorradfahrer häufig wesentlich attraktiver als gut ausgebaute und hochbelastete Straßen.

Die Frage, wo besonders viele Motorräder unterwegs sind, lässt sich aber gar nicht so eindeutig beantworten, da zunächst der Begriff „viele“ definiert werden muss. Dazu bieten sich verschiedene Kenngrößen an, die entweder gezählt oder berechnet wurden. Im Verkehrswesen wird üblicherweise mit Jahresdurchschnittswerten, dem DTV (Durchschnittlicher täglicher Verkehr) aller Tage eines Jahres gearbeitet. Außer an kontinuierlich das ganze Jahr zählenden Erfassungseinrichtungen liegt dieser Wert aber nicht als Zählwert vor, sondern wird mittels Hochrechnungsverfahren berechnet. Zudem hat er den Nachteil, dass er durch die Durchschnittsbildung verkehrliche Spitzenbelastungen nivelliert.

Zielführender scheinen aus den Zählungen direkt ermittelte maximale Tagesbelastungen oder auch maximale Stundenbelastungen zu sein. Diese hängen jedoch stark von den Tagen ab, an denen die Stichprobenzählungen durchgeführt wurden. Bei schlechtem Wetter finden üblicherweise weniger Freizeitfahrten mit Motorrädern statt, als bei gutem Wetter.

Für eine erste Analyse standen über 10.000 in den Jahren 2016 bis Frühjahr 2020 durchgeführte Wochenzählungen zur Verfügung, die jeweils ein vollständiges Wochenende mit umfassen. Die drei genannten Kennwerte, DTV, ma-

ximaler Tageswert und maximaler Stundenwert, wurden für diese Zählungen jeweils der Größe nach geordnet. In Abbildung 1 sind die Ergebnisse dargestellt.

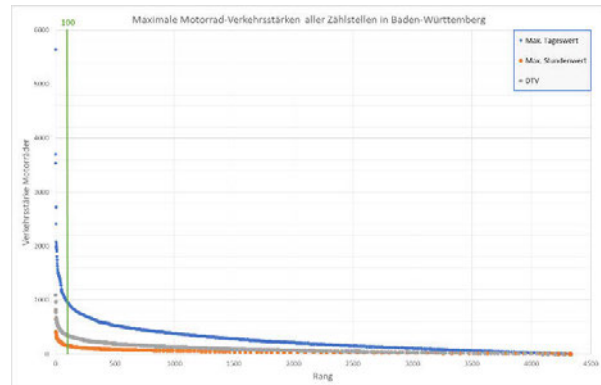


Abb. 1: Anzahl Motorräder

Während der Maximalwert des Jahresdurchschnittswerts der ca. 10.000 Zählungen bei rund 1.100 Motorrädern pro Tag liegt, beträgt der maximale Tageswert aus den Zählungen rund 3.700 Motorräder pro Tag. Der maximale Stundenwert beträgt rund 400 Motorräder pro Stunde. Interessant ist bei dieser Auswertung aber auch, dass sich die jeweilige Kennzahl innerhalb der ersten 100 Ränge stark verändert, während der Kurvenverlauf anschließend wesentlich flacher verläuft. Aufgrund dieser Auswertung wurde daher festgelegt, die 100 höchstbelasteten Zählstellen im Land näher zu betrachten.

Um jedoch festzulegen, welche der drei Kenngrößen für die Auswahl herangezogen werden sollte, wurde überprüft, ob sich die Rangfolgen der Kriterien eher ähneln oder nicht. Dazu wurde in einem Diagramm zu jeder Messstelle der Rang des maximalen Tageswertes dem des DTV-Wertes gegenübergestellt. Im Fall einer weitgehenden Ähnlichkeit würden die im Diagramm aufgetragenen Punkte dann auf der „Winkelhalbierenden“ liegen. In Abbildung 2 ist jedoch erkennbar, dass dies nicht der Fall ist, sondern vielmehr eine große Streuung vorliegt.

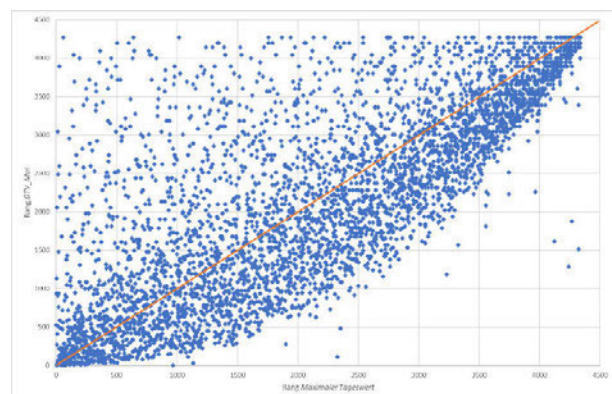


Abb. 2: Vergleich Rang DTV / max. Tageswert

Ähnlich sieht es auch beim Vergleich der DTV-Werte mit den maximalen Stundenwerten aus. Hingegen zeigt der

Vergleich von maximalen Tages- und Stundewerten eine wesentlich stärkere Übereinstimmung (Abbildung 3).

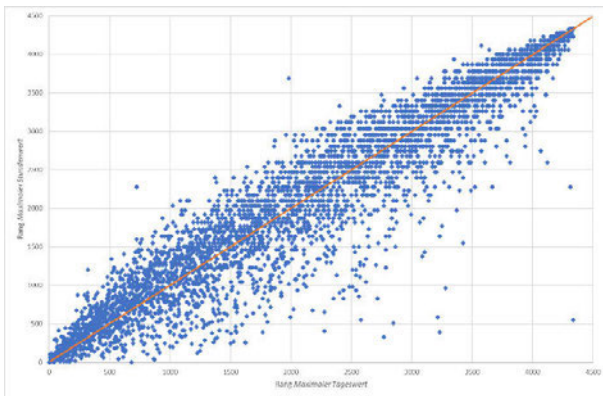


Abb. 3: Vergleich Rang max. Tages- / Stundenwerte

Daher wurde entschieden, dass hochgerechnete DTV-Werte nicht zur Zählstellenauswahl herangezogen werden sollen. Der Vergleich der Rangwerte der 100 Zählstellen mit den höchsten Tageswerten ergab im Durchschnitt Rang 84 bei den maximalen Stundenwerten, während umgekehrt der mittlere Rang der maximalen Tageswerte bei den 100 höchsten maximalen Stundenwerten 113 betrug. Daher wurde für die weiteren Betrachtungen die Rangfolge der maximalen Tageswerte verwendet. Übernimmt man ohne weitere Detailbetrachtung diese Zählstellen, ergibt sich die in Abbildung 3 dargestellte Verteilung auf Straßenklassen und Stadt-/Landkreise.

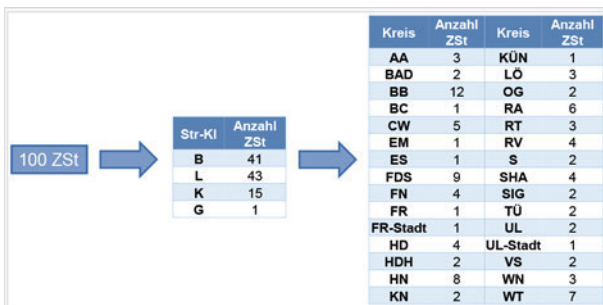


Abb. 4: Zählstellenverteilung

2.2 Detailbetrachtung

Anhand der vorliegenden Zählstellenbeschreibungen wurde deren Eignung untersucht. Dazu wurden Zählstellen, die dauerhaft betrieben werden ebenso ausgeschlossen, wie derzeit nicht mehr betriebene (inaktive) Zählstellen. An dauerhaft betriebenen Zählstellen sollte die Datenerfassung nicht für die Lärmmessung unterbrochen werden.

Weiter zeigte die Detailbetrachtung, dass zum Teil ausgewählte Zählstellen dicht nebeneinander auf derselben Straße in Nachbarabschnitten lagen. In diesem Fall wurde geprüft, ob zwischen benachbarten Zählstellen ein größerer Ort oder ein Knotenpunkt mit einer gleich- oder

höherrangigen Straße lag. Wenn dies nicht so war, wurde die Zählstelle mit dem niedrigeren Rang aussortiert. Anschließend wurde die Liste mit „Nachrückern“ wieder aufgefüllt.

Das so ermittelte Zählstellenkollektiv bildete das Grundgerüst für die geplanten Lärmmessungen.

3. Lärmmessungen

3.1 Messkonzept

Im Rahmen des landesweiten Verkehrsmonitorings werden Leitpostenzählgeräte eingesetzt, die mobil an dafür vorbereiteten Standorten verwendet werden können. Dazu sind an den registrierten Zählstellen Fundamente im Bankett einbetoniert, in denen normale (lange) Leitposten eingesteckt sind. Für die Zählungen wird der Leitposten lediglich gegen einen nahezu gleich aussehenden Zählleitposten ausgetauscht (Abbildung 5).



Abb. 5: Leitpostenzählgerät (Foto DTV-Verkehrsconsult GmbH)

Inzwischen sind Zählleitposten auf dem Markt verfügbar, die auch das Vorbeifahrgeräusch eines Fahrzeugs zusätzlich zu den Merkmalen Zeitstempel, Fahrzeugart, Richtung und Geschwindigkeit aufzeichnen. Wie aus dazu früher durchgeführten Untersuchungen des Verkehrsministeriums und des Herstellers nachgewiesen werden konnte, haben die Lärmwerte eine hohe Aussagekraft und ermöglichen zumindest eine vergleichende Bewertung der Lärmsituation an den Messstandorten. Dabei werden die Lärmwerte nur für Fahrzeuge des nahen Fahrstreifens ermittelt und dokumentiert, wohingegen die Standardzählgeräte zwei Fahrstreifen im Gegenrichtungsverkehr komplett erfassen.

Damit wird es möglich, ohne großen Aufwand Lärmmessungen an Straßen vorzunehmen. Da die geplanten Lärmmessungen nicht der Ermittlung rechtssicherer Belastungspegel dienen, sondern den Vergleich verschiedener Standorte und auch verschiedener Fahrzeugarten ermöglichen sollen, kann der geschilderte Weg eingeschlagen werden.

3.2 Auswertungen

Um die Lärmsituation an einer Messstelle zu beschreiben, sollen verschiedene Kennwerte ermittelt und gegenübergestellt werden. Dazu gehören die

- Verkehrsmengen
- gemittelte Lärmpegel verschiedener Fahrzeuggruppen
- Anzahl und Höhe von Einzel-Schallpegeln
- Schallwerte abhängig von der Geschwindigkeit
- Mittelungspegel differenziert nach Zeitbereichen

Bei der Erhebung werden die Vorbeifahrtpegel (SPB) abgespeichert. Um daraus Emissionspegel ($L_{m,E}$) gemäß der RLS-90 zu bilden, werden der tatsächliche Abstand zwischen Fahrachse und Messpunkt, die Höhe des Messpunkts über der Fahrbahn und die Geschwindigkeit des Fahrzeugs benötigt. Diese können je Messstelle variieren. Um die lagebezogenen Daten zu den Messstellen einzubeziehen, werden die Zählstellendokumentationen im Verkehrsmonitoring und im landesweiten Verkehrssicherheitscreening hinzugezogen. Damit sind die Emissionspegel sowohl der Einzelfahrzeuge als auch die Aggregation auf Stunden oder Stundengruppen berechenbar. Um diese Werte übersichtlich darstellen zu können, wurden erste Grafiken entwickelt, die die spezifischen Situationen darstellen. Nachfolgend werden einige dieser Musterdarstellungen mit noch nicht finalen Werten vorgestellt.

Die Verteilung der Schallpegel aller gemessenen Motorräder wird gemäß Abbildung 6 dargestellt. Zusätzlich erfolgt eine Unterscheidung in Werktage (Mo – Fr) und Wochenenden (Sa, So). Mit dieser Darstellung wird erkennbar, wie stark die Werte streuen und ob es eine starke Gruppe besonders „laut“ Motorräder gibt.

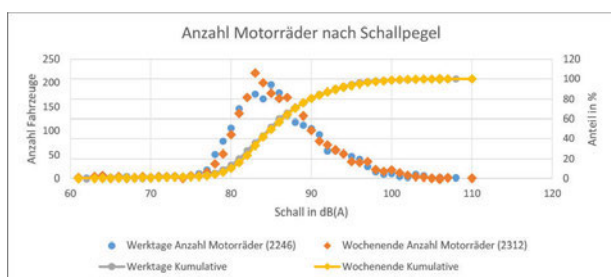


Abb. 6: Anzahl und Schallpegel der Motorräder

In Abbildung 7 wird die Verteilung der Schallwerte je gefahrener Geschwindigkeit dargestellt. Damit soll untersucht werden, ob es Geschwindigkeitsbereiche gibt, die besonders „laut“ sind.

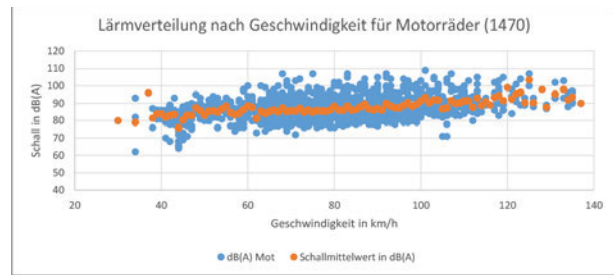


Abb. 7: Geschwindigkeiten und Schallpegel

Weitere Auswertungen, bei denen die Emissionspegel ($L_{m,E}$) gemäß der RLS-90 und die Verkehrsstärken für die verschiedenen Fahrzeuggruppen Pkw, Lkw und Motorräder über die Zeit betrachtet werden, sind in Vorbereitung. Insbesondere sollen die Unterschiede der Wochentage Montag bis Freitag gegenüber den Wochenenden näher betrachtet werden.

4. Messkampagne

Seit Ende Juni 2020 bis in den Herbst des Jahres 2020 hinein wurden die Lärmmessungen kontinuierlich im Land durchgeführt. Weitere Messungen werden im Frühjahr 2021 folgen. Ziel ist es, insgesamt rund 100 Lärmmessungen kombiniert mit Verkehrszählungen durchzuführen. Bisher konnte rund die Hälfte des Messprogramms abgearbeitet werden.

Die aus dem Verkehrsmonitoring Baden-Württembergs ausgewählten Zählstellen haben für die Lärmmessungen jedoch den systematischen Nachteil, dass sie meist auf der freien Strecke liegen. Aus diesem Grund werden Lärmmessungen auch an Beschleunigungsstrecken an den Ortsausgängen durchgeführt. Hierfür wurden die Kommunen angeschrieben und um Unterstützung gebeten.

Eine große Zahl der Kommunen hat sich dankenswerter Weise aktiv an der Auswahl der Standorte der Zählstellen beteiligt und auch die bauliche Vorbereitung durch Einbau der Fertigfundamente für die Leitpostenzählgeräte übernommen.

Ab dem Frühjahr 2021 wird die Zählkampagne fortgesetzt und anschließend die Analyse der Daten vorgenommen. Das Projekt soll im Laufe des Jahres 2021 abgeschlossen werden.



Bitumen

Bitumenmodifikation – Eine Optimierungsaufgabe mit Zielkonflikten?

Markus Oeser

RWTH Aachen, Aachen, Deutschland

Nicolás Carreño

RWTH Aachen, Aachen, Deutschland

Zusammenfassung

Aktuell ist die Straßenbauindustrie mit verschiedenen Herausforderungen konfrontiert. Neue Vorschriften zur Reduktion von Bitumendämpfen und Aerosolen während der Einbauphase und der Wunsch nach einem geringeren Energieeinsatz bei der Asphaltherstellung erfordern einen Paradigmenwechsel hin zu temperaturabgesenkten Asphalten. Mit der Temperaturabsenkung steigen jedoch die Prozessrisiken, da das Zeitfenster für eine ausreichende Verdichtung kleiner wird oder plötzliche Phasenübergänge – wie bei wachsmodifizierten Asphalten – den ohnehin bereits hohen Komplexitätsgrad des Asphalteinbaus weiter steigern. Trotzdem sollen gut verdichtete und langlebige Straßenbaustoffe zur Verfügung gestellt werden, die auch unter extremen klimatischen und verkehrlichen Beanspruchungen dauerhaft funktionieren. Eine Optimierungsaufgabe mit Zielkonflikten?

Das neuartige chemisch reaktive Bitumenadditiv B2Last® kann hierbei eine Lösung sein. B2Last®-modifizierte Asphalte können durch eine zeitlich begrenzte Viskositätsabsenkung bei verminderten Temperaturen produziert und eingebaut werden. Für die Verdichtung verbleibt ein komfortables Zeitfenster. Nach Abschluss der Modifikationsreaktion existiert im Bitumen ein Netzwerk, das zu verbesserten Verformungsstabilitäten und gesteigerten Ermüdungsresistenzen beiträgt, ohne dass da-bei die Tieftemperatureigenschaften beeinflusst werden.

In der vorliegenden Studie werden im Labor durchgeführten Steifigkeits- und Ermüdungsversuchen präsentiert. Die Performanceeigenschaften eines Tragschichtasphaltes mit und ohne B2Last® werden eingehend analysiert und Lebensdauerbetrachtungen auf Basis der RDO Asphalt 09 angestellt.

1. Einleitung

Die übergeordnete Fragestellung, die der Veröffentlichung zugrunde liegt, besteht in der Lösung des Zielkonfliktes zwischen Temperaturabsenkung, Verdichtung und Performancesteigerung von Asphalten. Es wird nachgewiesen, dass ein neuartiger Bitumenmodifikator (B2Last®) die Asphaltperformancecharakteristiken steigert und gleichzeitig eine sehr gute Verarbeitbarkeit auch bei abgesenkten Temperaturen gewährleistet.

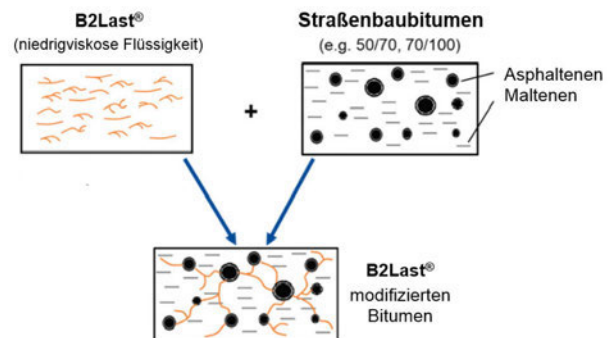


Abbildung 1: Bitumenmodifikation mit B2Last®

Das Additiv stellt eine dauerhafte chemische Bindung zwischen inhärenten Bitumenkomponenten (hauptsächlich Harzen und Asphaltene) her, siehe Abbildung 1. Da es sich bei B2Last® um ein chemisch reaktives Additiv handelt und dem Bitumen – anders als bei einer physikalischen Modifikation – keine zweite unabhängig existierende Phase beigemischt wird, besteht keine Entmischungsgefahr. Das Additiv reagiert mit den funktio-

nellen Gruppen innerhalb des Bitumens. Je mehr funktionelle Gruppen vorhanden sind, desto besser ist das Ergebnis der Modifikation. Infolge von Oxidationsprozessen steigt die Anzahl der verfügbaren funktionellen Gruppen, siehe Abbildung 2. Aus diesem Grund ist ein besonders positiver Reaktionsverlauf bei Mischungen mit Asphaltgranulat zu beobachten.

Die chemische Bindung zwischen den vernetzten Bitumenkomponenten steigert die verbleibende Steifigkeit des modifizierten Bitumens bei hohen Temperaturen, was die Verformungsstabilität erhöht und der Spurrinnenbildung entgegenwirkt. Die chemischen Bindungen wirken auf molekularer Ebene wie kleine Bewehrungselemente zwischen den vernetzten Bitumenkomponenten. Dieser Effekt führt zu einer verbesserten Ermüdungsstabilität.

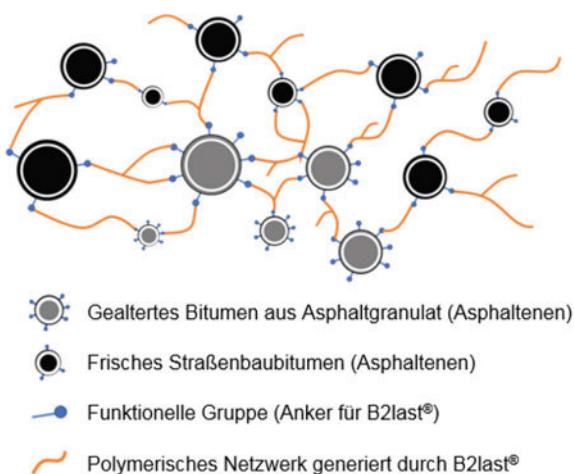


Abbildung 2: Interaktion von B2Last® mit Asphaltgranulat

Wie bereits erwähnt, kann mit dem Additiv die Asphalt Herstellung und der Einbau bei abgesenkten Temperaturen durchgeführt werden kann. Dies ist durch die reduzierte Viskosität während des zweistufigen Reaktionsprozesses möglich. Das Additiv wird über einen in-line Prozess als niedrigviskose Flüssigkeit im Mischwerk dosiert zugegeben. Zunächst erfolgt die erste Stufe der Modifikation, das Additiv reagiert in das Bitumen ein. Diese erste Stufe läuft innerhalb kürzester Zeit ab und verhindert ein Ausdiffundieren des Additivs aus dem heißen Bitumen. Bedingt durch die niedrige Viskosität des Additivs fällt die Viskosität des Bitumen-Additiv-Gemisches ab, sodass die Verarbeitung und der Einbau bei geringeren Temperaturen möglich werden. Während der zweiten Stufe der Modifikation erfolgt die Vernetzung. Als Folge der Vernetzung steigt die Viskosität an. Diese Stufe benötigt jedoch einen längeren Zeitraum (bis hin zu mehreren Stunden). Für den Einbau und die anschließende Verdichtung verbleibt deshalb in jedem Falle ein ausreichend großes Zeitfenster. Nach Abschluss der Vernetzungsreaktion liegen die verbesserten Performancecharakteristiken des Asphaltes vor. Diese manifestieren sich – wie bereits

erwähnt – in einer höheren Verformungsstabilität und geringeren Ermüdungsanfälligkeit. Um das Potential der Temperaturreduktion weiter auszuschöpfen, kann außerdem ein weiches Bitumen (z.B. PEN 70/100 statt 50/70) eingesetzt werden. Mit dem Additiv können dann trotzdem die Anforderungen an eine hohe Verformungsstabilität bei hohen Temperaturen sichergestellt werden.

2. Lebensdauer Prognose

Um die Nachhaltigkeit des Modifizierungsansatzes beurteilen zu können, müssen neben den Ergebnissen zur Energieeinsparung bei der Asphaltproduktion auch Aussagen zur Dauerhaftigkeit des modifizierten Asphaltes und zur erwartenden Lebensdauer der – mit diesem Asphalt hergestellten – Straßenaufbauten vorliegen. Zu diesem Zweck wurde das rechnerische Dimensionierungsverfahren für Asphaltbefestigungen (RDO Asphalt 09) herangezogen.

Dieses Verfahren wurde für die Dimensionierung von Asphaltbefestigungen unter Berücksichtigung der verkehrlichen und klimatischen Einflüsse sowie der Materialeigenschaften entwickelt. Dabei werden für definierte Kombinationen aus klimatischen und verkehrlichen Einwirkungen die Biegezugdehnungen an der Unterseite der Asphalttragschichten berechnet. Jeder Kombination aus verkehrlichen und klimatischen Einflüssen kann eine Auftretenshäufigkeit zugeordnet werden, sodass über die angestrebte Nutzungsdauer für jede berechnete Biegezugdehnung eine vorhandene Lastwechselzahl vorliegt. Diese Lastwechselzahl wird einer aufnehmbaren Lastwechselzahl gegenübergestellt, die sich experimentell nach dem Verfahren (TP Asphalt-StB Teil 24) ermitteln lässt. Der Quotient aus vorhandener und aufnehmbarer Lastwechselzahl liefert das Schädigungsinkrement der zugehörigen Kombination aus klimatischen und verkehrlichen Einwirkungen. Werden die Schädigungsinkremente aller Einwirkungskombinationen addiert, kann mit der Schädigungshypothese nach Miner der Ermüdungsstatus berechnet werden. Liegt der Ermüdungsstatus über der Zahl eins, bedeutet dies, dass die Befestigung unterdimensioniert ist und voraussichtlich vor dem Erreichen der geplanten Lebensdauer versagen wird. Ein Ermüdungsstatus unter der Zahl eins bedeutet hingegen, dass die Befestigung überdimensioniert ist, voraussichtlich eine höhere Lebensdauer aufweist als geplant und ggf. unwirtschaftlich ist. Deshalb wird im Dimensionierungsprozess ein Ermüdungsstatus von eins angestrebt, was durch eine geeignete Wahl des Befestigungsaufbaus, der Schichtdicken und der verwendeten Materialien erreicht werden kann.

Das Verfahren lässt sich aber auch einsetzen, um Befestigungsaufbauten und die darin verwendeten Materialien miteinander zu vergleichen. Hierzu werden nun zwei Szenarien skizziert: Bei gleichbleibendem Befestigungsaufbau (d.h., gleichbleibender Schichtdicke und Schichtfolge) kann der Einfluss unterschiedlicher Mate-

rialperformance auf die Lebensdauer abgebildet werden. Andererseits kann bei gleich-bleibender Lebensdauer der Einfluss der unterschiedlichen Materialperformance auf die erforderliche Schichtdicke bestimmt werden. Weitere Szenarien sind denk-bar. Da B2Last® modifizierte Asphalte eine geringere Ermüdungsneigung aufweisen als nicht modifizierte Asphalte, lassen sich im ersten Szenario ein Zugewinn an Lebensdauer und im zweiten Szenario das Materialeinsparpotential ermitteln. Diese Größen sind neben dem Energieeinsparpotential Grundlagen für die Nachhaltigkeitsbewertung.

2.1 Charakterisierung des Tragschichtmaterials

Für die Untersuchung wurde ein AC 22 T S ausgewählt. Zuerst musste das Mischungsverhältnis überprüft werden, da sowohl die Referenz als auch die B2Last® modifizierten Mischungen mit 50 % Ausbaumasphalt produziert werden sollten. Für beide Asphaltgemische wurde das Bitumen PEN 50/70 eingesetzt; die modifizierte Variante wurde mit 2.5 % B2Last® (bezogen auf das Bitumengewicht) modifiziert. Um im Labor die in der Realität vorliegenden Bedingungen nachzubilden, wurden für die modifizierte Variante bei 115 °C Asphaltplatten mit dem Walz-Segment-Verdichter hergestellt, während die Platten der Referenzvariante bei der Normtemperatur von 135 °C verdichtet wurden.

Um die Lebensdauer vorauszusagen, wurden die Steifigkeit (Masterkurve) und das Ermüdungsverhalten des nicht modifizierten und modifizierten Tragschichtmaterials gemäß TP Asphalt-StB Teil 24 und Teil 26 experimentell ermittelt. Beide Normen schreiben den Spaltzugschwellversuch (SZSV) vor, welcher bei verschiedenen Temperaturen und Frequenzen durchzuführen ist. Das Ermüdungsverhalten wurde durch SZS-Versuche bei 20 °C, bei einer Frequenz von 10 Hz und bei drei unterschiedlichen Belastungszuständen ermittelt, während die Steifigkeitsmasterkurve durch SZS-Versuche bei -10 °C, 5 °C und 20 °C, und bei Frequenzen zwischen 0.1 Hz bis 10 Hz, sowie unterschiedlichen Belastungszuständen (Spannungen) erlangt wurde. Die Ergebnisse sind in Abb. 3 und Abb. 4 dargestellt. Die B2Last® modifizierte Asphalt Tragschicht zeigt eine höhere liegende Ermüdungskurve (Abb. 3), dies bedeutet, dass das modifizierte Material unter gleicher Beanspruchung (hier Dehnung) eine größere Anzahl an Lastzyklen erträgt und damit ermüdungsresistenter ist als die nicht modifizierte Variante. Weiterhin zeigt die Masterkurve (Abb. 4) der modifizierten Variante eine höhere Steifigkeit bei geringen Frequenzen bzw. hohen Temperaturen und eine geringere Steifigkeit bei höheren Frequenzen bzw. niedrigeren Temperaturen verglichen mit der Referenzvariante. Diese Wirkung ist wünschenswert und führt zu einer besseren Asphaltperformance sowohl im hohen als auch im niedrigen Temperaturbereich.

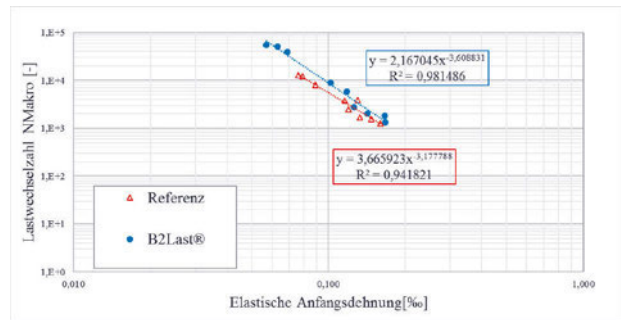


Abbildung 3: Ermüdungsfunktion der modifizierten und nicht modifizierten (Referenz) Varianten

Der Grund für die Steifigkeitsunterschiede im Bereich niedriger Frequenzen bzw. hoher Temperaturen ist im chemisch erzeugten Netzwerk zu suchen, das dem modifizierten Material eine höhere Stabilität verleiht, während das nicht modifizierte Material quasi unbegrenzt erweicht. Wieso am anderen Ende des Frequenz-Temperatur-Spektrum der Masterkurve beim modifizierten Material eine geringfügig niedrigere Steifigkeit oder besser gesagt ein späteres Erreichen des Glasmoduls vorliegt, als beim nicht modifizierten Material, ist derzeit noch nicht abschließend geklärt. Wie oben bereits erwähnt, ist dieser Effekt zwar ebenfalls wünschenswert, weil er geringere kryogene Spannungen im Tieftemperaturbereich und ein duktileres Verhalten erwarten lässt, jedoch wird derzeit noch an einer plausiblen und physikalisch begründeten Interpretation dieses Effektes gearbeitet.

b)

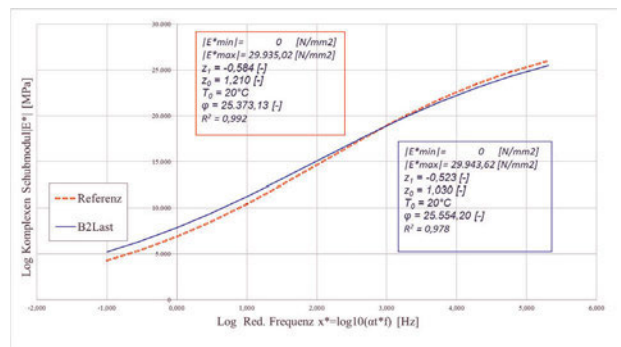


Abbildung 4: Ermüdungsfunktion (a) und Masterkurve (b) der modifizierten und nicht modifizierten Varianten

2.2 Verkehr- und Temperaturlasten

Neben den Materialeigenschaften müssen – wie oben bereits erwähnt – Verkehrs- und klimatologische Daten berücksichtigt werden. Für die Berechnung sind diese Werte für beide Varianten (modifiziert und nicht modifiziert) identisch. Die gewählte Verkehrsbelastung entspricht einem DTV von 42.500 Fahrzeugen pro Tag mit einem SV-Anteil von 21 % (jährliche Zunahme 3%). Der Bemessungszeitraum wurde auf 30 Jahre festgesetzt und die

Lastverteilung für eine Bundesautobahn angenommen. Diese Annahmen führen zu einer Anzahl von 129,2 Mio. äquivalenten 10-Tonnen-Achsübergängen. Hinsichtlich der klimatologischen Daten wurde die Auftretenshäufigkeit der Oberflächentemperatur der Zone 3 genutzt, die für große Teile Süddeutschlands gilt.

2.3 Ergebnisse der Lebensdauerprognose

Die letzte Stufe der Untersuchung bestand darin, die Schichtdicken der flexiblen Asphaltbefestigung zu definieren. Zwei Szenarien wurden analysiert, siehe Tab. 1. Die Dicken für Szenario 1 entsprechen der Tabelle 1, Bk100 der RStO 12. Da im ersten Szenario die Befestigung (bei Verwendung des nicht modifizierten Materials) unterdimensioniert ist (rechnerische Lebensdauer liegt lediglich bei 15,5 Jahren), wurde das zweite Szenario so definiert, dass sich mit dem nicht modifizierten Material bei Erreichen der angestrebten Lebensdauer ein Ermüdungsstatus von näherungsweise eins ergibt, d.h., die rechnerische Lebensdauer (32,3 Jahre) entspricht dann ungefähr der angestrebten Lebensdauer von 30 Jahren. Die Ergebnisse in Tab. 1 zeigen, dass der Aufbau mit der modifizierten Tragschicht in beiden Szenarien ca. die doppelte Lebensdauer aufweist wie der Aufbau mit der nicht modifizierten Tragschicht.

Tabelle 1. Schichtdicke und Lebensdauerprognose Ergebnisse

Schicht	Szenario 1 Dicken [mm]	Szenario 2 Dicken [mm]
Deckschicht	40	40
Binderschicht	80	80
Tragschicht	220	290
Referenz	15,5 Jahre	32,3 Jahre
B2Last®	31,5 Jahre	59,9 Jahre

Die Ergebnisse zeigen weiterhin, dass mit dem modifizierten Material eine Dicken-reduktion von 290 mm auf 220 mm, d.h., um 70 mm möglich ist, um die geplante Nutzungsdauer zu erfüllen.

3. Fazit

In dieser Arbeit wurden das Temperaturabsenkungspotential und die Einflüsse auf die Lebensdauer eines Tragschichtasphaltes untersucht, der mit dem neuartigen chemischen Additivs B2Last® modifiziert wurde. Die Laborergebnisse zeigen, dass das Additiv die Performanceeigenschaften und hier insbesondere die Ermüdungsresistenz des Asphaltes signifikant verbessert hat, sodass eine Verdopplung der Lebensdauer oder eine Dickenreduktion der Tragschicht von 290 mm auf 220 mm bei gleichzeitiger Absenkung der Einbautemperaturen um ca. 20 °C möglich erscheint.

Nachhaltigkeitsbewertung eines Bauprodukts im Straßenbau am Beispiel B2Last®

Amina Wachsmann, M.Eng.

Institut für Verkehr und Infrastruktur (IVI), Hochschule Karlsruhe Technik und Wirtschaft, Deutschland

Prof. Dr.-Ing. Christian Holldorb

Institut für Verkehr und Infrastruktur (IVI), Hochschule Karlsruhe Technik und Wirtschaft, Deutschland

Dr. Sonja Cypra

Institut für Verkehr und Infrastruktur (IVI), Hochschule Karlsruhe Technik und Wirtschaft, Deutschland

Abstract

Die Thematik des menschengemachten Klimawandels und seiner Folgen sowie das Ziel der Klimaneutralität ist aktueller denn je. Auch wenn die Thematik keine neue ist, befeuert sie das Bestreben vieler Akteure nach einem umweltverträglicheren bzw. nachhaltigeren Lebensstil. Auch in der Bauindustrie werden daher neue Ideen und Produkte entwickelt, welche den Weg hin zu mehr Nachhaltigkeit ebnen sollen. Eines dieser neuen Produkte ist das Bitumen-Additiv B2Last® von BASF. In dem Beitrag wird anhand aktueller Untersuchungsergebnisse dargestellt, welchen Einfluss die Nutzung eines solchen Produktes auf die Nachhaltigkeitsbewertung von Verkehrsflächen aus Asphalt haben kann.

1. Einleitung

Die im folgenden dargestellten Ergebnisse sind in dem durch die BASF SE beauftragten Forschungsvorhaben „*Nachhaltigkeitsbewertung zum Einsatz von B2Last®-modifiziertem Asphalt*“ [1] am Institut für Verkehr und Infrastruktur der Hochschule Karlsruhe erarbeitet worden.

1.1 Ausgangssituation

Der Verkehrsweg Straße stellt eine wichtige Grundlage für die Mobilität und somit für Wirtschaft und Gesellschaft dar, da auf ihm der Großteil des in Deutschland stattfindenden Personen- und Güterverkehrs abgewickelt wird [2]. Damit dieser weitestgehend uneingeschränkt nutzbar ist, müssen an den Verkehrswegen regelmäßig Erhaltungsmaßnahmen durchgeführt werden. Neben der Anforderung, den Verkehrsteilnehmern möglichst sichere und dauerhafte Verkehrswege zur Verfügung zu stellen, ohne dabei das Budget überzustrapazieren, rücken Anforderungen an die Nachhaltigkeit der Verkehrswege mehr und mehr in den Vordergrund. Unter dem Begriff Nachhaltigkeit werden Aspekte aus den Bereichen Ökonomie, Ökologie und Soziales zusammengefasst. Während sich die Bestrebungen im Bereich nachhaltiger Straßenbau bislang hauptsächlich auf die Aspekte ökonomische Nachhaltigkeit, Verkehrssicherheit, Lärm,

Ausbau der Radinfrastruktur und Umweltbelange in Planung und Ausführung bezogen [3], rücken auch Themen wie der Klimaschutz immer weiter in den Vordergrund.

Die Herausforderung an die Asphaltindustrie besteht daher darin, ihre Produkte in Bezug auf Qualität, Kosten, Umweltwirkungen wie auch Gesundheitswirkungen zu optimieren. Diese Herausforderung begünstigt Innovationen, sodass neue Produkte entwickelt werden. Diese Produkte sind sowohl in der Praxis zu erproben als auch einer ganzheitlichen Betrachtung in Bezug auf ihre Nachhaltigkeit zu unterziehen.

1.2 Zielsetzung

Ein von der BASF SE auf den Markt gebrachtes Produkt zur Asphaltmodifikation trägt den Namen B2Last® und wurde bereits im Labor und auf ersten Untersuchungsstrecken erprobt. Dabei konnte belegt werden, dass B2Last®-modifizierter Asphalt sowohl gute Einbaueigenschaften als auch gute Performance-Eigenschaften aufweist. Des Weiteren besteht durch die B2Last®-Modifizierung die Möglichkeit der Temperaturabsenkung bei der Asphaltproduktion und damit einhergehend einer reduzierten Asphalttemperatur beim Einbau. [4]

Ziel des Projekts ist es, die relevanten ökonomischen, ökologischen und sozialen Aspekte der Verwendung eines B2Last®-modifizierten Asphalts gegenüber einem konventionell hergestellten Asphalt (je nach Anwen-

dungsfall mit modifiziertem oder nicht modifiziertem Bitumen) darlegen zu können.

2. Grundlagen der Nachhaltigkeitsbewertung

2.1 Methoden

Zur Darlegung der ökonomischen, ökologischen und sozialen Aspekte werden die nachfolgenden Berechnungs- und Bewertungsverfahren angewendet:

- **Ökonomie:** Ermittlung von Lebenszykluskosten des Baulastträgers auf Grundlage von [5] und [6] unter Berücksichtigung eines Diskontierungszinssatzes von 3 %
- **Ökologie:** Lebenszyklusanalyse (Ökobilanz) auf Grundlage von [7] bis [12]
- **Soziales:** Zwar wurden bereits 2012 durch die Veröffentlichung der DIN EN 15643-3 [13] die Grundlagen für die Bewertung sozialer Aspekte im Hochbau geschaffen, allerdings sind diese nicht ohne weiteres sinnvoll auf den Straßenbau übertragbar. Da für den betrachteten fiktiven Autobahnabschnitt durch die Nutzung unterschiedlicher Asphalte keine negativen Auswirkungen für die Nutzer quantifiziert werden können, wird lediglich die gesundheitliche Belastung der Mitarbeiter durch Dämpfe und Aerosole beim Asphalteinbau betrachtet.

2.2 Untersuchungsrahmen

Als Grundlage der Untersuchungen dient der gebundene Oberbau eines fiktiven Autobahnabschnitts, welcher wie folgt definiert ist:

- 3 km lange Richtungsfahrbahn mit 3 Fahrstreifen entsprechend RQ 36 nach [14]
- Durchschnittliche tägliche Verkehrsbelastung (DTV): 42.500 Kfz/24 h je Richtung; davon Schwerverkehr: 21 %
- Maßgebende Belastungsklasse auf Grundlage der Verkehrsbelastung nach [15]: Bk100

Auf Grundlage der obigen Angaben wurde durch die RWTH Aachen ([17]) eine Dimensionierung des gebundenen Oberbaus nach [16] durchgeführt. Die aus der Dimensionierung resultierende Schichtdicke der Asphalttragschicht sowie die aus der RStO12 übernommenen Schichtdicken der Asphaltdeckschicht (ADS) und Asphaltbinderschicht (ABS) sind in Abbildung 1 dargestellt.

Neben den bereits definierten Abmessungen und Schichtdicken spielen vor allem die Nutzungsdauern der Schichten, Transportentfernungen, Maschinenkenndaten, Materialzusammensetzungen und die über den gesamten Lebenszyklus zu berücksichtigenden Informationsmodule, wie nachfolgend beschrieben, eine wichtige Rolle für die Nachhaltigkeitsbewertung.

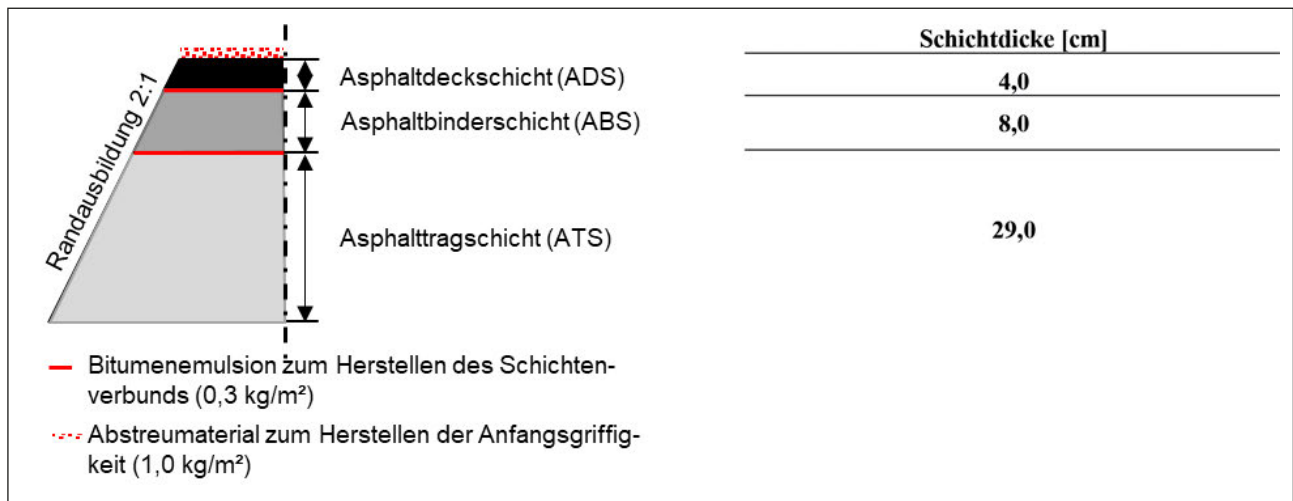


Abbildung 1: Schichtdicken des gebundenen Verkehrsflächenoberbaus in Anlehnung an Tafel 1, Zeile 1 der RStO12 für die Belastungsklasse 100 (Bk100) [15] und [17] inkl. der Darstellung zur Randausbildung von Verkehrsflächen in Asphaltbauweise nach [18] sowie des weiteren Materialbedarfs

Über den gesamten Lebenszyklus werden neben der Herstellungs- und Errichtungsphase (Module A1 bis A5 in Tabelle 1) auch die Instandsetzungen bzw. Erneuerungen und die Entsorgung der ausgebauten Materialien berücksichtigt (vgl. Modul B3, B4, C1 und C2 in Tabelle 1). Zusätzlich zu diesen in [10; 11; 12] definierten Informationsmodulen werden Arbeitsplatzbelastungen berücksichtigt (Z2). Baustellenbedingte Verkehrsbeeinträchtigungen (Z1) werden, wie bereits unter Abschnitt 2.1 erwähnt, nicht

weiter berücksichtigt. Hintergrund ist, dass zum einen von einer Aufrechterhaltung der Fahrstreifenanzahl während der Baumaßnahmen ausgegangen wird und dadurch von keinen signifikanten Erhöhungen bei der Reisezeit oder den Unfallkosten auszugehen ist und dass zum anderen keine Hinweise für eine Veränderung der Oberflächeneigenschaften (Griffigkeit, Rollwiderstand) eines mit B2Last®-modifizierten Asphalts gegenüber einem konventionellen Asphalts vorliegen.

Tabelle 1: Berücksichtigte Informationsmodule zur Nachhaltigkeitsbewertung eines gebundenen Verkehrsflächenoberbaus aus Asphalt in Anlehnung an [10; 11; 12]

Informationen zur Bewertung des gebundenen Verkehrsflächenoberbaus aus Asphalt																	
Lebenszyklus des gebundenen Verkehrsflächenoberbaus aus Asphalt															Ergänzende Informationen außerhalb des Lebenszyklus		
Phasenbezeichnung	Planungsphase	Herstellungsphase			Errichtungsphase		Nutzungsphase					Entsorgungsphase		Vorteile und Belastungen jenseits der Systemgrenzen			
Informationsmodul	A0	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	D	
	Voruntersuchungen, Experten und Kosten	Rohstoffgewinnung	Transport zur Asphaltmischanlage	Herstellung des Asphaltmischguts	Transport zur Baustelle	Einbau	Betrieb	Wartung	Instandsetzung	Austausch / Erneuerung	Modernisierung	Abbruch bzw. Ausbau aller Asphalttschichten	Transport zur Asphaltmischanlage	Abfallaufbereitung für Wiederverwendung, Rückgewinnung und Recycling	Entsorgung	Wiederverwendungs-, Recyclingpotenzial	Vermiedene Auswirkungen aus zusätzlichen Funktionen
					Z1 baustellenbedingte Verkehrsbeeinträchtigung		B6	Energieverbrauch im Betrieb									
					Z2 Arbeitsplatzbelastung		B7	Weitere Betriebsprozesse									
B8					Nutzung												

Systemgrenze

 berücksichtigte Module

3. Bilanzierung

3.1 Datengrundlagen

Als Eingangsdaten für die Bilanzierung dienen Daten, welche in folgender Reihenfolge berücksichtigt werden:

1. Angaben des Herstellers
2. Datenbanken
3. Literaturangaben

Sofern möglich werden aktuelle Daten mit dem geographischen Bezug Deutschland verwendet, andernfalls wird auf europäische und globale Daten zurückgegriffen. Eine Übersicht über die Datenherkunft gibt Tabelle 2. Als Bezugszeitpunkt der Kosten dient das Ende des Jahres 2019. Ältere Kostendaten werden durch die Nutzung des Baupreisindex [19] auf das Ende des Jahres 2019 angepasst.

Tabelle 2: Herkunft der verwendeten Datengrundlagen

Datensatz	Herkunft
B2Last®	BASF
Bitumen	Eurobitume [20; 21]
Herstellung des Asphaltmischgutes	Brzuska; DAV [22; 23]
Einsatzdauern Baumaschinen	Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V.; Wirtgen GmbH; Krause/Ulke [24; 25; 26]
Weitere Energie- und umweltbezogene Daten	GaBi-Professionaldatenbank; GaBi Extension database XIV: Construction materials [27]
Kostendaten	Baupreislexikon; Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V.; Zander/Birbaum; BASF; Oefer et al. [24; 28; 29; 30]
Arbeitsplatzbelastung	Gesprächskreis Bitumen, DAV, EAPA, FAV [23; 31; 32; 33; 34]

3.2 Untersuchte Varianten

Um die relevanten ökonomischen, ökologischen und sozialen Aspekte eines B2Last®-modifizierten Asphalts gegenüber einem konventionell hergestellten Asphalt darlegen zu können, werden drei Varianten untersucht sowie Sensitivitätsanalysen durch die Variation relevanter Parameter durchgeführt (vgl. Tabelle 4). Der Hauptunterschied der drei Varianten besteht in der Bindemittelwahl. Während bei der konventionellen Variante (Variante 1) ein Polymermodifiziertes Bitumen in der Deck- und Binderschicht und ein übliches Straßenbaubitumen in der Tragschicht verwendet wird, wird bei der B2Last® Variante 2.1 in allen drei Schichten eine B2Last®-Modifizierung bei einem üblichen Straßenbaubitumen durchgeführt. Bei der Variante 2.2 wird ein B2Last®-modifiziertes Bitumen nur in der Deck- und Binderschicht eingesetzt, in der Tragschicht wird jedoch auf ein übliches Straßenbaubitumen zurückgegriffen. Tabelle 3 zeigt die Asphaltmischgutzusammensetzung.

Tabelle 3: Zusammensetzung Asphaltmischgut

	ADS	ABS	ATS
Asphaltgranulat [%]	-	50,00	50,00
Frischbitumen [%]	7,20	2,50	2,15
davon B2Last® [% des Gesamt-Bitumengehalts]	2,50	2,50	2,15
Zellulosefasern [%]	0,30	-	-

Durch die RWTH Aachen [17] wurden die Schichtdicken für die Variante 1 mit dem Ziel ermittelt, eine Nutzungsdauer der Asphalttragschicht (ATS) von 30 Jahren zu erreichen. Die Schichtdicken der Asphaltdeckschicht (ADS) und der Asphaltbinderschicht (ABS) entsprechen denen aus Tafel 1, Zeile 1 der RStO12 für die Belastungsklasse 100. Für die Nutzungsdauern der ADS und ABS wurden Erfahrungswerte der RWTH Aachen angesetzt. Für die Varianten 2.1 und 2.2 wurden die Schichtdicken der Variante 1 übernommen. Bei der Nutzung von B2Last® konnte anhand von Laborergebnissen durch [17] für die ATS eine Verdoppelung der Nutzungsdauer ermittelt werden (Variante 2.1). Durch die positiven Auswirkungen von B2Last® auf die Performance kann somit auch von einer Verlängerung der Nutzungsdauer der ABS ausgegangen werden. Die für die ATS der Variante 2.1 ermittelte Nutzungsdauer von 60 Jahren wird als Betrachtungszeitraum für die Nachhaltigkeitsbewertungen festgelegt.

Bei der Sensitivitätsanalyse werden neben der Variation der Nutzungsdauern bei Variante 2.1 auch eine geringere Reduktion der Herstelltemperatur bei B2Last®-modifiziertem Asphalt betrachtet bzw. der Diskontierungszinssatz zu Veranschaulichungszwecken auf 0 % gesetzt.

Tabelle 4: Übersicht der untersuchten Varianten sowie der Variation einzelner kritischer Parameter im Zuge der Sensitivitätsanalyse

Fallbezeichnung		Variante 1 – konventionell			Variante 2.1 – B2Last® (ges.)			Variante 2.2 – B2Last® (nur ADS und ABS)		
		ADS	ABS	ATS	ADS	ABS	ATS	ADS	ABS	ATS
Standardfall	Bindemittelauswahl	PmB		B	B + B2Last®			B + B2Last®		B
	Schichtdicke [cm]	4	8	29	4	8	29	4	8	29
	Nutzungsdauer [a]	10	20	30	10	30	60	10	30	30
	Herstelltemperatur Asphalt [°C]	170			140			140		170
	Diskontierungszinssatz [%]	3			3			3		
Variation ND	Nutzungsdauer [a]	siehe Standardfall			12	24	48	siehe Standardfall		
Variation T	Herstelltemperatur Asphalt [°C]	170			150			150		170
Variation D	Diskontierungszinssatz [%]	0			0			0		
Bemerkungen: B = Straßenbaubitumen; PmB = Polymermodifiziertes Bitumen Schichtdicken: Ergebnisse aus [17] Nutzungsdauern: ATS (Standardfall) Berechnungsergebnisse aus [17]; ADS, ABS und ATS (Variation ND) Festlegung auf Grundlage von Erfahrungswerten und bisherigen Laborergebnissen der RWTH Aachen										

4. Ergebnisse der Nachhaltigkeitsbewertung

4.1 Ökologie

Folgende Wirkungskategorien bzw. Indikatoren werden im Bereich Ökologie über einen Zeitraum von 60 Jahren betrachtet:

- Gesamtprimärenergiebedarf (PE)
- der nicht erneuerbare Primärenergiebedarf
- Treibhauspotenzial (Global Warming Potential (GWP))
- Primärmaterialbedarf sowie Möglichkeiten zur Nutzung von Recyclingmaterial

Abbildung 2 zeigt für die in Tabelle 4 definierten Standard-Varianten den Gesamtprimärenergiebedarf sowie die Treibhausgasemissionen für alle berücksichtigten Informationsmodule (vgl. Tabelle 1). Dabei ist zu erkennen, dass der energetische Vorteil der B2Last®-modifizierten ADS (Variante 2.1 und 2.2) gegenüber der konventionellen ADS (Variante 1) vergleichsweise gering ist. Bei den Treibhausgasemissionen fällt die Differenz bereits höher aus. Aufgrund der gleichen Nutzungsdauern sind energetische Vorteile lediglich auf die reduzierte Herstelltemperatur und die Verwendung von B2Last® anstelle eines Polymers zurückzuführen, bei den Treibhausgasemissionen spielen zudem die eingesetzten Energieträger eine relevante Rolle. Der Vorteil von B2Last® gegenüber

Polymere ist auf den geringeren Energiebedarf bei der Herstellung zurückzuführen. Bemerkenswerte energetische Vorteile und Treibhausgaseinsparungen können vor allem dann verzeichnet werden, wenn B2Last® in allen drei Schichten verwendet wird. Die Gesamtprimärenergieeinsparung umfasst 41,3 % und die Treibhausgasemissionseinsparungen betragen 46,0 % gegenüber der konventionellen Variante 1. Ausschlaggebend ist dabei die Verlängerung der Nutzungsdauer, wobei sich auch die reduzierte Herstelltemperatur und der Verzicht auf Polymere positiv auf die Energiebilanz der B2Last®-modifizierten Asphalte auswirken. Wird B2Last® hingegen lediglich in der ADS und der ABS eingesetzt (Variante 2.2), beläuft sich die Gesamtprimärenergieeinsparung immer noch auf 12,6 % und die Treibhausgasemissionseinsparung auf 13,0 % gegenüber der konventionellen Variante 1.

Die Untersuchungen zeigen des Weiteren, dass rund 90 % des Gesamtenergiebedarfs durch nicht erneuerbare Energieträger gedeckt werden. Durch die Variation der Nutzungsdauer (Variation ND, Tabelle 4) bei der Variante 2.1 beschränkt sich die Reduzierung des Gesamtprimärenergiebedarfs auf rund 35 % im Vergleich zur Variante 1, sodass auch dann eine signifikante Einsparung verzeichnet werden kann. Wird hingegen die Variation der Herstelltemperatur (Variation T, Tabelle 4) betrachtet, sind lediglich geringfügige Veränderungen zu verzeichnen.

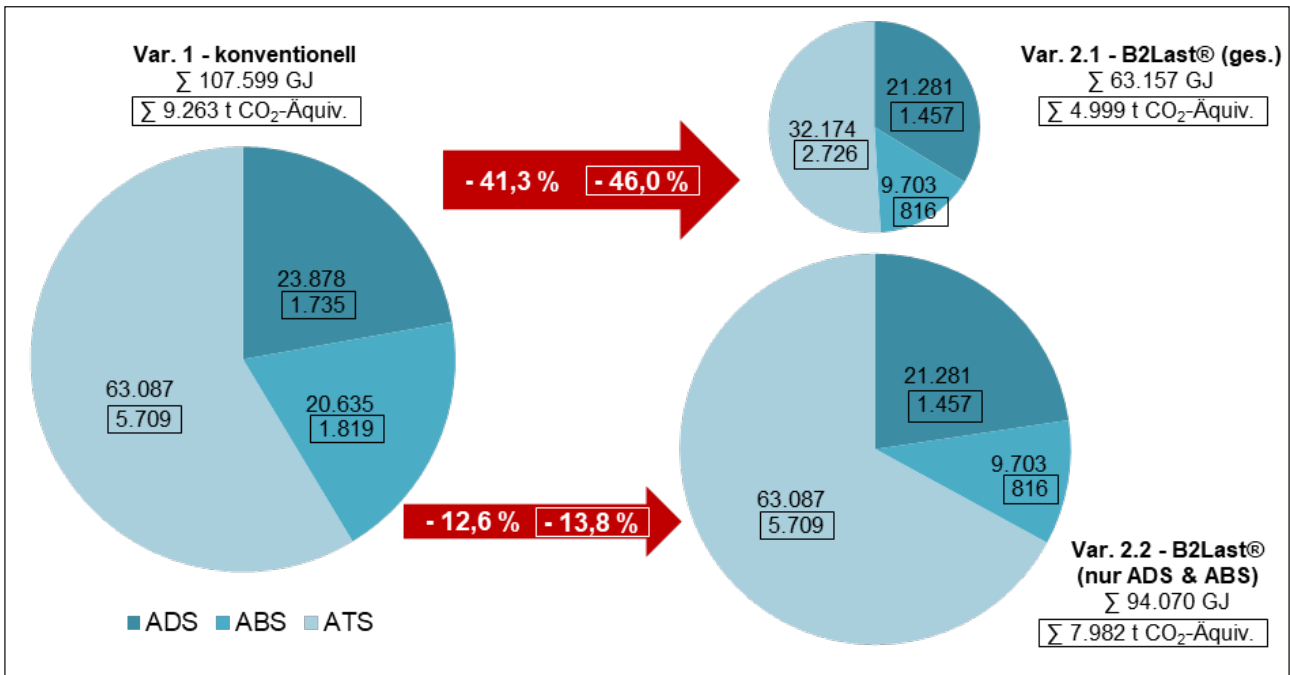


Abbildung 2: Gesamtprimärenergiebedarf (PE) und Treibhausgasemissionen über einen Betrachtungszeitraum von 60 Jahren unterschieden nach Schichtart

In Abbildung 3 ist der Rohstoffbedarf für die drei in Tabelle 4 definierten Standard-Varianten, unterschieden nach Primär- und Recyclingmaterialien (=Asphaltgranulat), dargestellt. Einen Einfluss auf den Rohstoffbedarf haben neben den Schichtdicken auch hier die Nutzungsdauern und die damit verbundenen Erneuerungsintervalle. Wird B2Last® in allen 3 Schichten eingesetzt (Variante 2.1), kann der Materialbedarf um 42,7 % gegenüber der konventionellen Variante 1 reduziert werden. Dies ist

auf die große Schichtdicke der ATS in Verbindung mit den höheren Nutzungsdauern der ATS und ABS zurückzuführen. Die ADS hat auf die Differenz des Materialbedarfs aufgrund der zugrunde gelegten gleichen Nutzungsdauer keinen Einfluss. Wird B2Last® hingegen nur in der ADS und der ABS eingesetzt (Variante 2.2), kann noch eine Reduzierung des Materialbedarfs um 9,7 % gegenüber der Variante 1 erzielt werden.

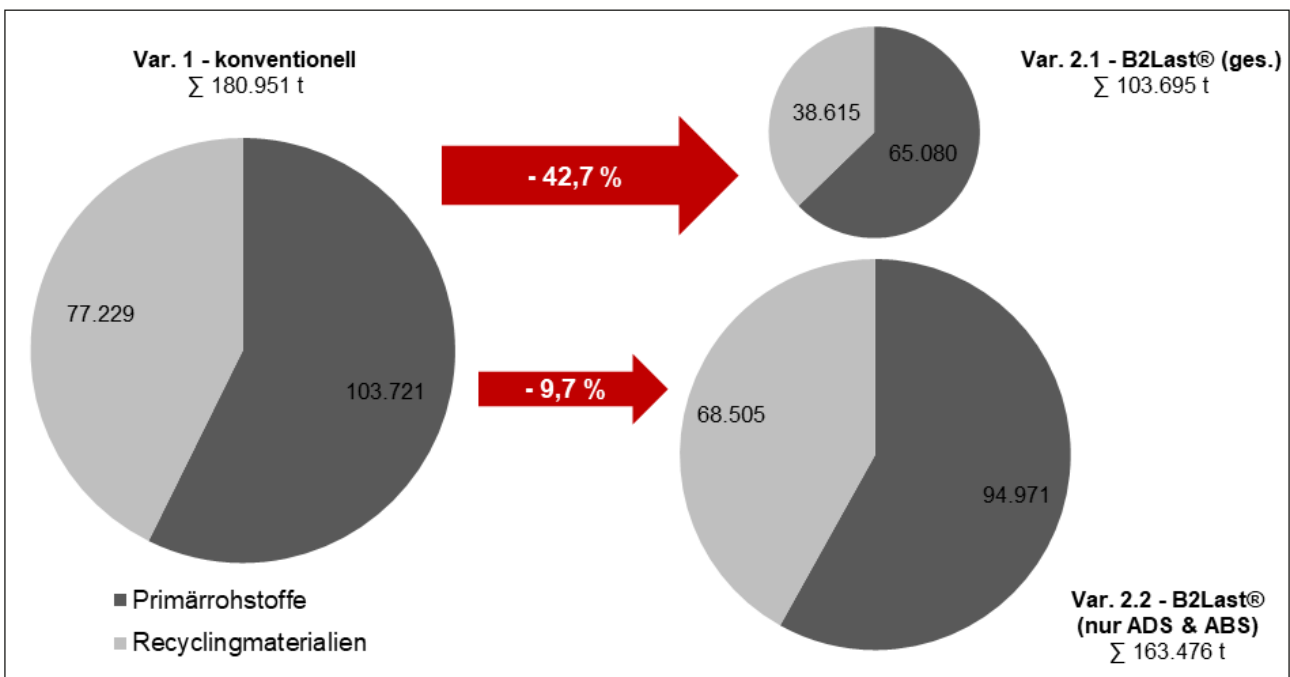


Abbildung 3: Gesamter Rohstoffbedarf über einen Betrachtungszeitraum von 60 Jahren

4.2 Ökonomie

Im Bereich Ökonomie werden die Baulastträgerkosten ebenfalls über einen Zeitraum von 60 Jahren betrachtet. Abbildung 4 zeigt diese Baulastträgerkosten für die drei in Tabelle 4 definierten Standard-Varianten, unterschieden nach der Schichtart bzw. allgemeinen baustellenbedingten Kosten. Während unter den allgemeinen baustellenbedingten Kosten (Informationsmodule A5 C1 nach Tabelle 1) die Kosten für Personal, Maschinen, Verkehrsicherung und Baustelleneinrichtung unabhängig von der Schichtart zusammengefasst sind, sind den einzelnen Schichten nur die Material- und Transportkosten zugeordnet. Eine bei den B2Last®-modifizierten Asphalten infolge der Temperaturabsenkung zustande kommende Kosteneinsparung bleibt unberücksichtigt, da davon auszugehen ist, dass eine solche Kosteneinsparung eine untergeordnete Rolle spielt.

Wird B2Last® in allen drei Asphaltsschichten eingesetzt (Variante 2.1), kann eine Kosteneinsparung von knapp 24 % gegenüber der konventionellen Bauweise (Variante 1) erzielt werden. Während die Kostenersparnis der ADS aufgrund der gleichen Nutzungsdauer gering ausfällt, führt die Nutzungsdauerverlängerung bei der ATS und ABS zu erheblichen Kosteneinsparungen.

Wird B2Last® lediglich in der ADS und der ABS eingesetzt (Variante 2.2), kann immer noch eine Kosteneinsparung von rund 8 % erzielt werden. Die Kosteneinsparung ist dabei hauptsächlich auf die Nutzungsdauerverlängerung der ABS zurückzuführen.

4.3 Soziales – Arbeitsplatzbelastung beim Asphalteinbau

Zur Bewertung der gesundheitlichen Gefährdung für die am Asphalteinbau beteiligten Mitarbeiter wurde die in Tabelle 2 aufgeführte Literatur zur Temperaturabhängigkeit der Expositionsbelastung herangezogen. Hierbei ist für den Vergleich der B2Last®-modifizierten Asphalte gegenüber konventionell hergestellten Asphalten die verringerte Herstelltemperatur bei B2Last®-modifiziertem Asphalt und die damit einhergehende deutlich niedrigere Einbautemperatur von Bedeutung (vgl. Abbildung 5). Die in Abbildung 5 dargestellten Werte mit einer großen Spannweite der Messergebnisse gelten für eine Temperaturabsenkung von im Mittel 20 °C. Sowohl das 50 %- als auch das 95 %-Perzentil zeigen, dass durch den Einsatz von temperaturreduziertem Asphalt anstelle von konventionellem Walzasphalt deutliche Expositionsreduzierungen erzielt werden können. Die Expositionsbelastung des Walzenfahrers, welcher generell deutlich geringeren Expositionen ausgesetzt ist, weist ein geringfügig erhöhtes 95 %-Perzentil auf. Dies ist auf Einzelwerte bei geringer Messwertanzahl zurückzuführen. Allgemein kann jedoch zusammengefasst werden, dass bei allen Personengruppen für das 50 %-Perzentil von mindestens einer Halbierung der Exposition auszugehen ist.

Bei einer Reduzierung der Herstelltemperatur um 30 °C kann von einer Reduzierung der Expositionswerte um ca. zwei Drittel gegenüber einem konventionell hergestellten Asphalt ausgegangen werden.

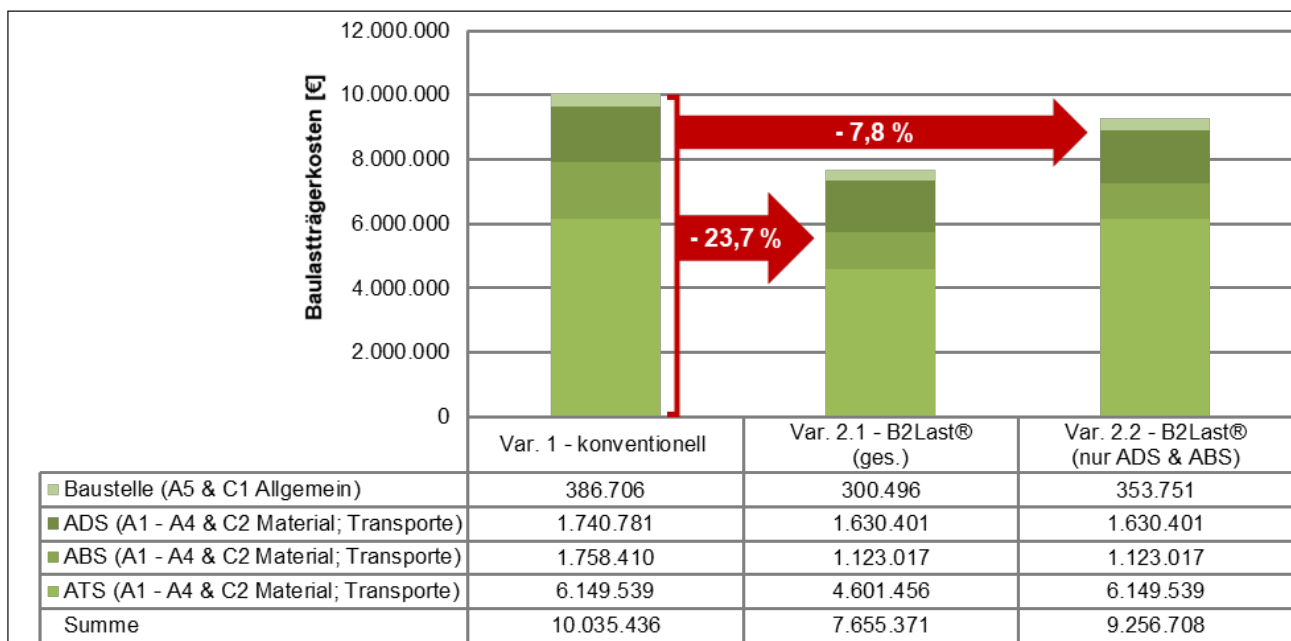


Abbildung 4: Anfallende Baulastträgerkosten über einen Betrachtungszeitraum von 60 Jahren (Diskontierungszinssatz 3 %, Bezugsjahr 2019; ohne MwSt.)

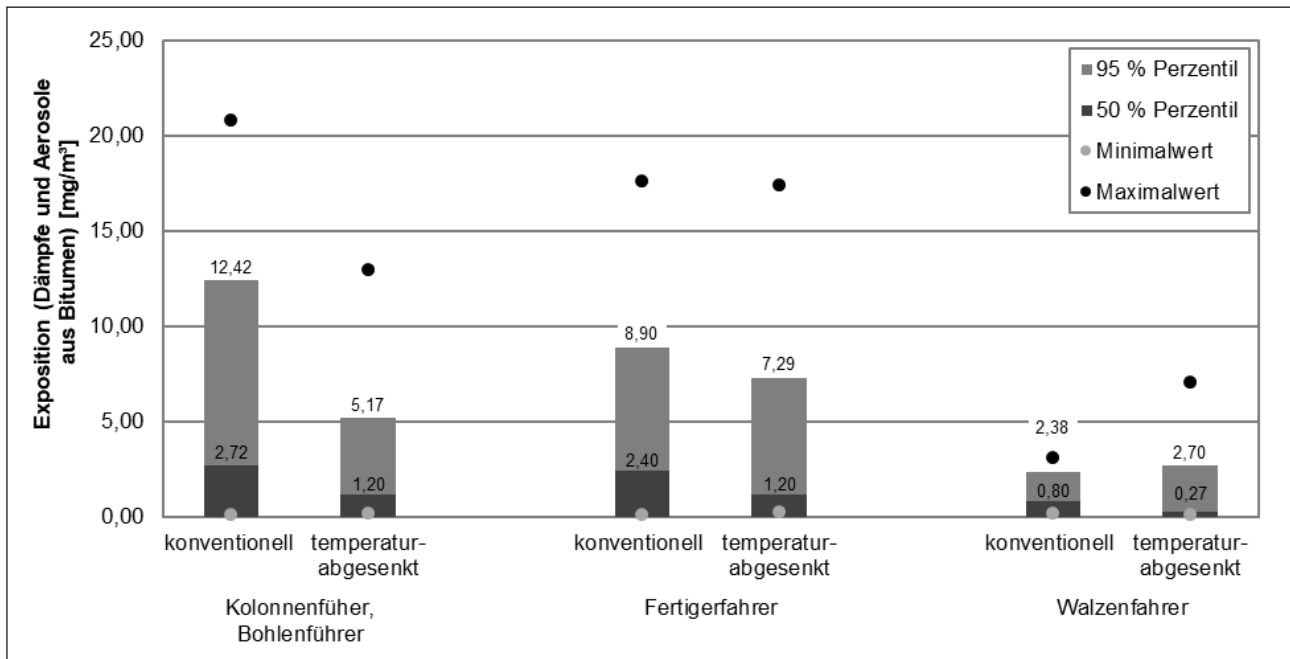


Abbildung 5: Expositionsbelastung aus Dämpfen und Aerosolen beim Einbau von Walzasphalt, Daten-grundlage: [31; 32]

5. Zusammenfassung und Ausblick

Die Untersuchungen zeigen deutlich, dass sich der Einsatz von B2Last® positiv auf die Ergebnisse der Nachhaltigkeitsbewertung auswirkt. Die größten Vorteile können erzielt werden, wenn B2Last® in allen drei Asphalt-schichten eingesetzt wird (Variante 2.1). Durch den Einsatz von B2Last® in allen drei Schichten können folgende Vorteile erzielt werden:

- Reduzierung der Asphalttemperatur um 30 °C
- Verlängerung der Nutzungsdauern von 20 auf 30 Jahre (ABS) bzw. 30 auf 60 Jahre (ATS)

Infolge der Mischguttemperaturabsenkung und der Nutzungsdauerverlängerung ist von folgenden Reduzierungen innerhalb des Betrachtungszeitraums von 60 Jahren auszugehen:

- Gesamtprimärenergiebedarf: - 41 %
- Treibhausgasemissionen: - 46 %
- Primärrohstoffbedarf: - 37 %
- Baulastträgerkosten: - 24 %
- gesundheitsgefährdenden Exposition: -67% bei 4 Einbauvorgängen (1-lagiger ADS und ABS Einbau sowie 2-lagiger ATS Einbau)

Als signifikante Parameter der Bewertung sind die berechneten bzw. angesetzten Nutzungsdauern der einzelnen Asphalt-schichten, die Temperaturabsenkung, die angesetzte Diskontierungsrate und die Datenqualität zu nennen. Soll die Nachhaltigkeitsbewertung auf andere verkehrliche Situationen bzw. Projekte übertragen wer-

den, ist zu prüfen, ob die gewählten Kriterien zielführend sind oder aber beispielsweise zustande kommende Umwege oder Staus infolge der Erhaltungsmaßnahmen einen signifikanten Einfluss auf die Bewertungsergebnisse haben können und deshalb eine Anpassung der Kriterien notwendig ist.

Literatur

- [1] Holldorb, C.; Brzuska, A.; Cypra, S.: Nachhaltigkeitsbewertung zum Einsatz von B2Last®-modifiziertem Asphalt: Schlussbericht im Auftrag der BASF SE, Karlsruhe (unveröffentlicht), 2020.
- [2] MVIBW Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg: Wir bauen nachhaltig! (2015). Online verfügbar unter: https://vm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/Dateien/Brosch%C3%BCren/Wir_bauen_nachhaltig_Broschuere-Strassenbau_MVI_Internet.pdf, abgerufen am: 22.09.2020
- [3] Radke, S.; BMVI Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.): Verkehr in Zahlen 2019/2020. 48. Auflage. (2019). Online verfügbar unter: https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/verkehr-in-zahlen-2019-pdf.pdf?__blob=publicationFile, abgerufen am: 20.07.2020.
- [4] Carreño, N., Renken, L., Schatz, W., Zeilinger, M., Bokern, S., Fleischel, O., Oeser, M.: New type of chemical modification of asphalt binders to enhance the performance of flexible pavements. Proceedings of the 7th Eurasphalt & Eurobitume Congress v1.0, 2020.

- [5] ISO International Organization for Standardization: Buildings and constructed assets, service life planning; Part 5: Life-cycle-costing (ISO 15686-5). Geneva, 2008.
- [6] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden - Teil 4: Rahmenbedingungen für die Bewertung der ökonomischen Qualität (DIN EN 15643-4:2012). Beuth-Verlag, Berlin, 2012.
- [7] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: Umweltkennzeichnungen und -deklarationen, Allgemeine Grundsätze (DIN EN ISO 14020:2001). Beuth-Verlag, Berlin, 2002.
- [8] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen (DIN EN ISO 14040:2006). Beuth-Verlag, Berlin, 2009.
- [9] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: Umweltkennzeichnungen und -deklarationen - Typ III Umweltdeklarationen - Grundsätze und Verfahren (DIN EN ISO 14025:2011). Beuth-Verlag, Berlin, 2011.
- [10] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: Nachhaltigkeitsbewertung von Bauwerken - Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden und Ingenieurbauwerken - Teil 5: Leitfaden zu den Grundsätzen für und den Anforderungen an Ingenieurbauwerke (DIN EN 15643-5:2017). Beuth-Verlag, Berlin, 2018.
- [11] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklaration - Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte (DIN EN 15804:2012 +A2:2019). Beuth-Verlag, Berlin, 2020.
- [12] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklarationen - Festlegung für Straßenbaustoffe - Teil 1: Asphaltmischgut (Entwurf, DIN EN 17392-1:2020). Beuth-Verlag, Berlin, 2020.
- [13] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden - Teil 3: Rahmenbedingungen für die Bewertung der sozialen Qualität (DIN EN 15643-3:2012). Beuth-Verlag, Berlin, 2012.
- [14] FGSV – Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (RAA 08/14) (FGSV 202). FGSV-Verlag, Köln, 2008/2014.
- [15] FGSV – Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (RStO 12) (FGSV-Nr.: 499). FGSV-Verlag, Köln, 2012.
- [16] FGSV – Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht (RDO Asphalt 09) (FGSV 498). FGSV-Verlag, Köln, 2009.
- [17] Carreno, N.: Nutzungsdauern von B2Last-Asphalt nach RDO Asphalt 09. Aachen (unveröffentlicht), 2020.
- [18] FGSV – Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächen aus Asphalt (ZTV Asphalt-StB 07/13) (FGSV 799). FGSV-Verlag, Köln, 2007/2013.
- [19] Statistisches Bundesamt: Baupreisindizes: Deutschland, Berichtsmonat im Quartal, Messzahlen mit/ohne Umsatzsteuer, Ingenieurbau, Bauarbeiten (Tiefbau), 61261-0004 (2020). Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online>, abgerufen am: 30.04.2020.
- [20] Eurobitume: Life Cycle Inventory: Bitumen. 2. Auflage. (2012). Online verfügbar unter: https://www.eurobitume.eu/index.php?id=233&no_cache=1&keyword=LCI, abgerufen am: 06.04.2020.
- [21] Eurobitume: The eurobitume Life-Cycle Inventory for Bitumen. 3. Auflage. (2019). Online verfügbar unter: https://www.eurobitume.eu/public_downloads/General/LCI/EB.LCI.Re-port.Jan2020.Pages_Interactive.pdf, abgerufen am: 27.03.2020.
- [22] Brzuska, A.: Ermittlung der CO₂-Emissionen bei einer Straßenerneuerungsmaßnahme am Fallbeispiel der K 3533 (ehem. L 560) im Landkreis Karlsruhe. Bachelor-Thesis an der Hochschule Karlsruhe - Technik und Wirtschaft, Karlsruhe (unveröffentlicht), 2016.
- [23] DAV - Deutscher Asphaltverband e.V.: Temperaturabgesenkte Asphalte, Ratschläge aus der Praxis für die Praxis (2009). Online verfügbar unter: https://www.asphalt.de/fileadmin/user_upload/downloads/dav/temperatur-abgesenkte_asphalte.pdf, abgerufen am: 25.02.2020.
- [24] Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V.: BGL Baugeräteliste 2015: Technisch-wirtschaftliche Baumaschinendaten. Baugeräteliste, 2015. Bauverlag, Gütersloh, 2015.
- [25] Wirtgen GmbH: Wirtgen Kaltfräsen Handbuch: Technologie und Anwendung (1. Aufl.). Windhagen, 2013.
- [26] Krause, T.; Ulke, B.: Zahlentafeln für den Baubetrieb (9., überarbeitete und aktualisierte Auflage). Springer Vieweg, Wiesbaden, 2016.
- [27] thinkstep AG: GaBi ts: GaBi Professional-Datenbank; GaBi Extension database XIV_Construction materials (Version 9.2.1.68). Leinfelden-Echterdingen, 2020.
- [28] f.data GmbH: Baupreislexikon. Online verfügbar unter: <https://www.baupreislexikon.de/>, abgerufen am: 30.04.2020. Weimar, 2020.
- [29] Oefer, G.; Krmek, M.; Nußbainer, C.: Kostenermittlung für Erhaltungsmaßnahmen zur Bestimmung

- der Kosteneingangsgrößen für das PMS (Pavement Management System). Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 896. DMB Bundesdruckerei GmbH & Co. KG. Bonn, 2004.
- [30] Zander, U.; Birbaum, J.: Aktualisierung der Kostendaten. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 1108. Fachverlag NW. Bremen, 2014.
- [31] Gesprächskreis Bitumen: Expositionsbeschreibung Herstellung und Beförderung von Asphalt (2018). Online verfügbar unter: https://www.bgbau.de/fileadmin/Die_BG_BAU/Gespr%C3%A4chskreis_Bi-tumen/ExpoHerstTranspAsphalt.pdf, abgerufen am: 27.05.2020.
- [32] Gesprächskreis Bitumen: Expositionsbeschreibung Einbau von Walzasphalt im Straßenbau (2018). Online verfügbar unter: https://www.bgbau.de/fileadmin/Die_BG_BAU/Gespr%C3%A4chskreis_Bi-tumen/ExpoWalzasphalt.pdf, abgerufen am: 27.05.2020.
- [33] EAPA-European Asphalt Pavement Association: The use of Warm Mix Asphalt - Position Paper. Brussels, Belgium, 2014.
- [34] FAV - Norwegian Asphalt and Road Contracting Association: Norwegian WMA project - Low Temperature Asphalt 2011 - Main Report (2012). Online verfügbar unter: https://www.vegvesen.no/fag/fokusomrader/forskning+og+utvikling/Avsluttede+FoU-program/Varige+veger/Rapporter/_attach-ment/1337373?_ts=154611d3240&fast_title=Norwegian+WMA+project+%E2%80%93+Low+Temperature+Asphalt+2011, abgerufen am: 27.05.2020.

Neue Bitumen zur Reduzierung von Emissionen aus Asphalt

Martin Vondenhof

Shell Deutschland Oil GmbH, Hamburg

Zusammenfassung

Die Emissionen bei der Verarbeitung von Asphalt sind besonders seit Einführung von Arbeitsplatzgrenzwerten für Dämpfe und Aerosole aus Bitumen im Fokus der Industrie. Verschiedene Forschungsprogramme von Shell zu diesem Thema werden vorgestellt. Diese umfassen einerseits die Erprobung von Additiven zur direkten Reduzierung bestimmter Emissionen und andererseits die Entwicklung neuer modifizierter Bitumen, die den Asphalteinbau bei verringerter Temperatur erlauben und auf diesem Wege Emissionen senken. Um die Verarbeitbarkeit von Asphalt bei unterschiedlichen Temperaturen im Labor beurteilen zu können wurde ein neues Prüfverfahren erfolgreich erprobt.

1. Emissionen aus Bitumen

Bitumen ist ein Gemisch aus Kohlenwasserstoffen und enthält außerdem in geringen Mengen Sauerstoff, Schwefel, Stickstoff und in Spuren weitere Elemente. Aufgrund seiner Herstellung aus Rohöl und den Produktionsbedingungen in den Raffinerien schwankt die genaue Zusammensetzung. Bei Erwärmung ist stets ein bitumentypischer Geruch wahrnehmbar.

In einer Studie aus dem Jahr 1999 [1] wurde die deutliche Temperaturabhängigkeit des Ausmaßes der gasförmigen Emissionen (Dämpfe und Aerosole) nachgewiesen. So wurden bei Bearbeitungstemperaturen von 80 °C keine quantifizierbaren Aerosol-Emissionen nachgewiesen, und die bei 120 bzw. 150 °C durchgeführten Emissionsversuche ergaben – außer bei einigen vernachlässigbaren Ausnahmen – Werte unterhalb 1 mg Aerosol/h. In einer 2006 veröffentlichten Studie des Fraunhofer-Instituts [2] entwickelten Versuchstiere bei den höchsten Dampf- und Aerosolkonzentrationen entzündliche Prozesse, jedoch gab es keinen statistisch signifikanten Anstieg in der Krebsrate. Daraufhin war der Weg für einen MAK-Wert (Maximale Arbeitsplatzkonzentration) frei, denn für krebserregende Stoffe gibt es solch einen Wert nicht.

Dieser Wert für Dämpfe und Aerosole aus Bitumen (außer Oxidationsbitumen) wurde von der ständigen Senatskommission im Jahr 2018 auf 1,5 mg/m³ festgesetzt. Der Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) hat daraufhin am 19. November 2019 einen Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) für Dämpfe und Aerosole bei der Heißverarbeitung von Destillations- und Air-rectified-Bitumen von 1,5 mg/m³ festgelegt.

Für Walz- und Gussasphalt und für den Bereich der Bitumen- und Polymerbitumenbahnen soll für den AGW eine Übergangsfrist bis zum 31.12.2024 gelten.

Bis Mai 2020 ist von der BG Bau gemeinsam mit dem Baugewerbe und der Bauindustrie ein detaillierter Plan über die vorgesehenen Aktivitäten, die zur Einhaltung des Grenzwerts führen, zu erstellen.

Ein erweiterter Bericht zum Sachstand erfolgt im AGS im Mai 2022.

2. Möglichkeiten der Emissionsreduzierung

Zur Reduzierung der Emissionen gilt das STOP-Prinzip (Substitution – Technische Maßnahmen – Organisatorische Maßnahmen – Persönliche Schutzausrüstung) in absteigender Präferenz. Die Modifikation des Bindemittels Bitumen zur Reduzierung der Emissionen ist als Substitution oder als technische Maßnahme einzuordnen

2.1 Direkte Reduzierung von Emissionen aus Bitumen

Ein Weg zur Reduzierung von Dämpfen und Aerosolen bei ansonsten unveränderten Produktionsbedingungen für den Asphalt besteht darin, die Zusammensetzung des Bindemittels Bitumen so zu verändern, dass bei der Herstellung und beim Einbau weniger Gase emittiert werden.

Die gegebenen Rohölsorten und Raffinerieprozesse bestimmen die chemischen Eigenschaften des Destillationsrückstands Bitumen und damit auch dessen Emissionseigenschaften. Raffinerien sind im Allgemeinen bestrebt, zur Erhöhung der Ausbeute an niedriger molekularen Mineralölprodukten die Destillationstiefe zu steigern, was prinzipiell zu weniger flüchtigen Rückständen und damit Bitumenprodukten führt. Dieser Weg ist aber nicht problemlos fortführbar, an seinem Ende steht nicht Bitumen als Endprodukt, sondern Petrolkoks, der nicht als Bindemittel eingesetzt werden kann.

Eine weitere Möglichkeit zur direkten Minimierung der Emissionen besteht darin, die gasförmigen Komponenten im heißen Bitumen durch Zugabe von chemischen Additiven zu binden und so dafür zu sorgen, dass diese nur noch in geringerer Menge emittiert werden. Ein Beispiel für eine solche Technologie stellt Shell Bitumen FreshAir dar. In Labor- und Feldversuchen wurden gasförmige Emissionen (SO_x, VOC, CO) im Durchschnitt um bis zu 40 % reduziert im Vergleich zu herkömmlichen Bitumen [3].

2.2 Indirekte Reduzierung von Emissionen: Temperaturabsenkung (TA) beim Einbau von Asphalt

Das Ausmaß gasförmiger Emissionen von Bitumen hängt in extremem Ausmaß von der Temperatur des Bindemittels ab [4]. Ideal wäre daher, den Straßenbelag bei Umgebungstemperatur einzubauen – allerdings müsste die Viskosität des Bindemittels unter diesen Bedingungen für den Einbau und die Verdichtung geeignet sein. Bitumengebundene Kaltbauweisen, das sind im wesentlichen Schaumbitumen und Emulsionen, kämpfen mit technologischen Problemen, die hauptsächlich auf die Gegenwart von Wasser im Belag zurückzuführen sind. Seit nunmehr 25 Jahren wird daher versucht, mit kristallisierenden Additiven (Wachsen) die Viskosität des Bindemittels so zu verändern, dass eine Verdichtung auch bei abgesenkter Temperatur, das heißt, je nach Asphaltmischgut im Bereich von 100 bis 140 °C, erfolgen kann. Diese Technologie wird, wie auch die Verwendung kristallwasserhaltiger Mineralstoffe (Zeolithe) in den Empfehlungen zur Klassifikation von viskositätsveränderten Bindemitteln E KvB (2016) und im M TA (neue Auflage voraussichtlich 2021) beschrieben. Außer Wachsen, die das Viskositätsverhalten des Bindemittels auch im Gebrauchstemperatur beeinflussen und bei Fehldosierung zur Beeinträchtigung der Kälteeigenschaften führen können, wurden auch Additive erforscht, die die Benetzung des Gesteins mit dem Bindemittel erleichtern und so eine Temperaturabsenkung ermöglichen.

Es ist zu bedenken, dass das derzeit gültige Regelwerk (TL Asphalt-StB 07/13, ZTV Asphalt-StB 07/13) – mit der Ausnahme für Gussasphalt - keine Temperaturabsenkung zulässt, daher ist von Seiten des Auftraggebers in Zusammenarbeit mit der Industrie eine vorsichtige Anpassung der Technischen Liefer- und Vertragsbedingungen erforderlich.

2.3 Beurteilung der Effektivität von TA-Additiven

Um die Wirksamkeit der beschriebenen Additive im Labor beurteilen zu können, wurde ein Rührversuch konzipiert, der die Viskosität eines 1:1-Gemisches aus dem zu prüfenden Bitumen und Füller ermittelt. Mit einer speziell entwickelten, kalibrierten Spindel in Form eines Rührers wird sichergestellt, dass während der Messung keine Trennung von Füller und Bitumen auftreten kann. Die Bestimmung

der dynamischen Viskosität bei verschiedenen Temperaturen ist so auch von Mastices möglich. Die benötigte Probenmenge ist dabei klein (unter 20 g).

Erste Versuche haben gezeigt, dass die Viskositätsreduzierung durch oberflächenaktive Substanzen in Bitumen in der gleichen Größenordnung liegen kann wie bei den seit vielen Jahren praxiserprobten Wachsen. Solche Additive verändern im Gegensatz zu den Wachsen die Gebrauchseigenschaften des Asphaltbelags nach derzeitigen Erkenntnissen nicht.

Im abgebildeten Diagramm werden beispielhaft die Ergebnisse bei der Prüftemperatur 120°C gezeigt. Auf der y-Achse ist die relative Viskosität des mit verschiedenen Additiven modifizierten Mastix im Vergleich zu einem Mastix mit reinem Bitumen 70/100 aufgetragen. Die x-Achse beschreibt die relative Viskosität des additvierten Bitumen 70/100 im Vergleich zu reinem Bitumen 70/100. Verschiedene oberflächenaktive Substanzen (VOBP, PAAE, PAEE), Mineralöl (MO) und die bekannten Wachse (FAA, FT-Wax) führen in allen Fällen zu einer stärkeren relativen Senkung der Mastix-Viskosität. Dies bedeutet, dass die Additive auch in Asphalt bei 120 °C effektiv die Viskosität absenken können, denn sie sind nicht nur in reinem Bitumen aktiv.

3. Ausblick

Durch die Kombination verschiedener technischer Maßnahmen zur Senkung der Emissionen von Bitumendämpfen und -aerosolen wird angestrebt, einen zukünftigen Arbeitsplatzgrenzwert sicher einzuhalten. Neben technischen Maßnahmen beim Einbau, wie zum Beispiel die Absaugung der Fertigerbohle stellt die Weiterentwicklung der Bindemitteltechnologie eine vielversprechende Möglichkeit dar. Für die Erprobung in der Praxis bleibt nicht mehr viel Zeit, doch die bisherigen Ergebnisse sind durchaus vielversprechend.

Literatur

- [1] U. Knecht, S. Stahl, H.-J. Woitowitz: Handelsübliche Bitumensorten: PAH-Massegehalte und temperaturabhängiges emissionsverhalten unter standardisierten Bedingungen, Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 59 (1999), 429 – 434.
- [2] R. Fuhst, O. Creutzenberg, H. Ernst, T. Hansen, G. Pohlmann, A. Preiss, S. Rittinghausen: 24 Months Inhalation Carcinogenicity Study of Bitumen Fumes in Wistar (WU) Rats, Journal of Occupational and Environmental Hygiene 4 (2007), 20 – 43.
- [3] R. Taylor, R. Hanumanthgari, D. D’Melo, E. Malinson: Shell Bitumen FreshAir – Technischer Leitfaden. Shell International Petroleum Company Limited (2020)
- [4] M. Hugener, K. Zeyer, J. Mohn: Reduced emissions of warm mix asphalt during construction. Road Materials and Pavement Design 20 (2019), 568 – 577.



**Asphalt-
recycling**

Technische Aspekte einer Kaltrecyclingbauweise von Asphalt ohne Zusatz von Bindemittel

Dr.-Ing. Hartmut Herb

Hochschule Karlsruhe –Technik und Wirtschaft

Prof. Dr.-Ing. Markus Stöckner

Hochschule Karlsruhe –Technik und Wirtschaft

Zusammenfassung

Im Rahmen des europäischen Forschungsverbundprojekts ORRAP (Optimales Recycling von Ausbauasphalt auf verkehrsschwachen Straßen) wurde in der Region Oberrhein das Ziel verfolgt, Ausbauasphalt bei Umgebungstemperatur und ohne Zusatz von bituminösem Bindemittel zu 100 % wiederzuverwenden. Konzipiert wurde diese Kaltrecyclingbauweise in den Ländern Frankreich, Schweiz und Deutschland für Fahrbahnen mit geringer Verkehrsbelastung. Im experimentellen Teil des Projekts wurden zunächst Ausbauasphaltgranulate asphalt- und bitumentecnologischen Prüfungen unterzogen, d.h. mechanisch-physikalisch und chemisch charakterisiert. Anhand der Verdichtung und Prüfung von Laborprüfkörpern konnte die Durchführbarkeit des ORRAP-Verfahrens demonstriert werden, was somit zum erfolgreichen Bau zweier Teststrecken führte. Zur Qualitätskontrolle wurden mechanische Prüfungen nach dem Einbau anhand von Plattendruckversuchen durchgeführt. Kontrollmessungen auf den Teststrecken erfolgen weiterhin, um das Langzeitverhalten der Bauweise zu beurteilen.

1. Einleitung

Für den Bau, die Sanierung und die Instandhaltung von Straßen werden erhebliche Mengen natürlicher, qualitativ hoher Ressourcen in Form von Gesteinskörnung und Bitumen verwendet. Heutzutage wird es daher immer wichtiger, die Ausbeutung natürlicher Ressourcen zu begrenzen, indem die Wiederverwendung von Ausbauasphalt gefördert wird. Darüber hinaus begründen zunehmend begrenzte Haushaltsmittel und steigende Umweltschutzziele den Einsatz ökonomischer und weniger energieintensiver Materialien. Daher wurde in der Region Oberrhein das trinationale Forschungsverbundprojekt ORRAP - Optimales Recycling von Ausbauasphalt auf verkehrsschwachen Straßen – mit dem Ziel initiiert, Ausbauasphalt in einer Kaltrecyclingbauweise und ohne Zusatz von bituminösem Bindemittel vollständig wiederzuverwenden. Dieses Material sollte dabei auf Straßen für geringen oder mäßigen Verkehr eingesetzt werden. Aufbauend auf schwedischen Erfahrungen [1] wurde das Konzept verfolgt, nach Laborversuchen Ausbauasphaltgranulat mit einem bestimmten Wassergehalt einzubauen und zu verdichten.

2. Charakterisierung der verwendeten Materialien

Aus allen drei Ländern (F, CH, D) wurde Ausbauasphaltgranulat von Halden verschiedener, regionaler Mischwerke bezogen und asphalttechnologischen Prüfungen unterzogen. Ebenso wurden die rückgewonnenen Bitumen sowohl physikalisch-mechanisch als auch chemisch charakterisiert.

2.1 Ausbauasphaltgranulat

Vorwiegend wurden Ausbauasphaltgranulate der Kornklasse 0/16 untersucht. Zur Ermittlung der modifizierten Proctordichte des Ausbauasphaltgranulats bei entsprechendem optimalen Wassergehalt wurde der Proctorversuch mit modifizierter Verdichtungsarbeit eingesetzt [2]. Mit dem CBR (California Bearing Ratio) -Test erfolgten Untersuchungen zur Tragfähigkeit [3]. Der CBR-Wert wird dabei als Verhältnis der für eine bestimmte Eindringtiefe gemessenen Kraft zu einer Bezugskraft in Prozent (%) berechnet. 100 % entsprechen dabei einem genormten kalifornischen Kalkstein. Der zu messende Probekörper wird durch modifizierte Verdichtungsarbeit im Proctortopf hergestellt. Die Ergebnisse in Tabelle 1 zeigen für die Proctorversuche, dass die optimalen Was-

sergehalte bei ca. 5% liegen. Abhängig von den Feuchtegehalten auf der Halde sind die AA daher für den Einbau auf der Baustelle entsprechend mit Wasser einzustellen. Die gemessenen CBR-Werte betragen ca. 14 %.

Tabelle 1: Ergebnisse aus modifiziertem Proctor- und CBR-Versuchen

	AA (D)	AA (F)	AA (CH)
mod. Proctordichte in g/cm ³	1,92	1,79	1,81
opt. H ₂ O-Gehalt in %	5,6	5,5	4,3
CBR-Wert in %	14	12	14

Um eine Abschätzung der aus den ermittelten CBR-Werten zu erwartenden EV2-Werten auf der realen Straße vorzunehmen, wurde anhand einer in der Literatur [4] beschriebenen Relation eine Kalkulation der EV2-Werte vorgenommen. Ein CBR-Wert von 14 % sollte damit einem EV2-Wert von ca. 75 MN/m² entsprechen.

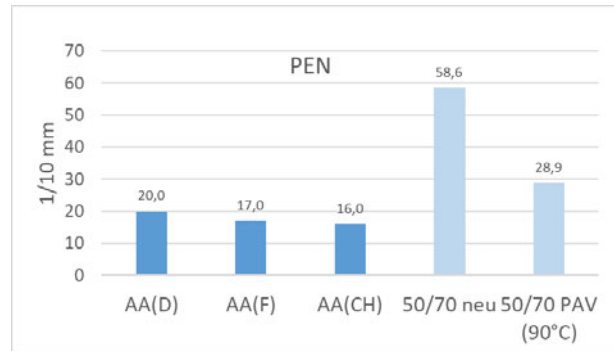
In diesem trinationalen Projekt wurden die verschiedenen Ausbausphaltgranulate hinsichtlich ihres mechanischen Verhaltens eingehend mit Triaxialversuchen auf Verdichtungseigenschaften [5] mit dem Verkehrslastsimulator (MMLS3) hinsichtlich Spurrinnenbildung [6] untersucht. Probekörper unterschiedlicher Geometrie wurden dafür hergestellt.

2.2 Charakterisierung der rückgewonnenen Bitumen

Nach Heißextraktion der Ausbausphaltgranulate mit Trichlorethen wurden die Bitumen im Rotationsverdampfer zurückgewonnen und charakterisiert. Als mechanisch-physikalische Testmethoden wurden neben der Ermittlung des Bitumengehalts die Bestimmung des Erweichungspunkts (Ring und Kugel), der Nadelpenetration (bei 25°C), der elastischen Rückstellung, des komplexen Schermoduls und des Phasenwinkels mit dem Dynamischen Scherrheometer (T-Sweep) und das Tieftemperaturverhalten mit dem Biegebalkenrheometer eingesetzt. Chemisch wurden die Bitumen durch Bestimmung der Carbonyl- und Sulfoxid-Indices mit Fourier Transformierter-Infrarot-Spektroskopie (FT-IR), der mittleren Molmasse mit Gelpermeationschromatographie (GPC) und der SARA (Saturates, Aromatics, Resins, Asphaltenes) -Analyse charakterisiert.

In Tabelle 2 sind die Ergebnisse zur Bestimmung der Nadelpenetration [7] der zurückgewonnenen Bitumen der Ausbausphaltgranulate (AA) aufgetragen. Vergleichend hierzu wurde zusätzlich das Ergebnis für ein Bitumen der Sorte 50/70 dargestellt, sowohl im Zustand frisch aus der Raffinerie als auch nach einem künstlichen Alterungsprozess im Labor (PAV-Verfahren – Pressure Ageing Vessel [8]). Die zurückgewonnenen Bitumen weisen geringere Eindringtiefen auf als das gealterte Vergleichsbitumen. Sie sind somit durch erfolgte Alterungsprozesse in ihrem Gebrauchsverhalten entsprechend härter.

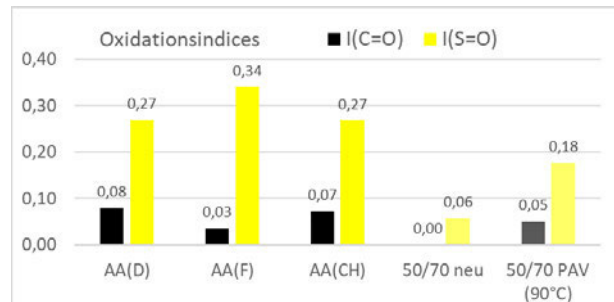
Tabelle 2: Ergebnisse der Bestimmung der Nadelpenetration der Bitumen



Komplementär zu diesen Ergebnissen zeigt die FT-IR-Bestimmung [9] der Oxidationsindices, welche eine Quantifizierung für den Oxidationsgrad von Kohlenstoff- und Schwefelverbindungen im Bitumen darstellen [10], in Tabelle 3, dass die zurückgewonnenen Bitumen der AA höhere Indices aufweisen als das künstlich gealterte Bitumen der Sorte 50/70. Durch Oxidation mit Sauerstoff während der Bau- und Nutzungsphase waren die Bitumen entsprechend gealtert.

Alle aus den untersuchten Ausbausphaltgranulaten zurückgewonnenen Bitumen zeigen somit hinsichtlich mechanisch-physikalischer und chemischer Charakterisierung, wie beispielhaft an den zwei erläuterten Testmethoden dargestellt, einen fortgeschrittenen Alterungsgrad, was beim Recycling zu berücksichtigen ist.

Tabelle 3: Ergebnisse der Bestimmung der Carbonyl (C=O)- und der Sulfoxid (S=O)-Indices der Bitumen



3. Einbau auf den Teststrecken

Vor dem Einbau wurde der vorhandene Asphaltbelag durch Fräsen bzw. Aufrauen bearbeitet, um dessen Dicke zu verringern und die nötige Oberflächenrauigkeit zur Sicherstellung eines guten Haftverbunds zu erreichen. Zusätzlich wurde ein Haftkleber aufgebracht. Das Aufbringen des ORRAP-Materialien erfolgte durch einen Grader bzw. Straßenfertiger mit einer Schichtdicke (je nach Teststreckenabschnitt) von 10 cm (Teststrecke Schweiz) bzw. 12 und 15 cm (Teststrecke Frankreich). Während des Einbaus sowie während dem Verdichten wurde das Material bewässert z.T. mit am Straßenfertiger

(Bohle, Schnecke) montierten Bewässerungsvorrichtungen bzw. mit fahrbarem Wassertank mit Exaktverteiler, um die Verdichtung zu optimieren.



Abbildung 1: Einbau des ORRAP-Materials mit einem Straßenfertiger

Die Verdichtung erfolgte mit Gummiradwalzen und Stahlglattradwalzen, wobei letztere für eine glatte und gleichmäßige Oberfläche sorgten. Bei Verwendung der Vibrationsvorrichtung an Stahlglattradwalzen wurde darauf geachtet, dass eine Rissbildung vermieden wurde. Schwere Stahlradwalzen wurden nicht eingesetzt. Die Verdichtung der Bankette erwies sich schwieriger als beim Einbau von Heißasphalt. Daher wurde die ORRAP-Schicht mit einer zusätzlichen Breite von ca. 30 – 50 cm, um so ein Befahren der Randbereiche zu vermeiden. Der Verdichtungsaufwand (Anzahl der Walzendurchgnge) entsprach ungefähr dem doppelten Aufwand, der für die Heiasphaltbauweise erforderlich ist. Die ORRAP-Bauweise kann generell nicht für eine Deckschicht verwendet werden, da das Asphaltgranulat nicht den Kriterien für Deckschichten (Qualität der Gesteinskörnung, Mikrotextur, Makrotextur) entspricht, und somit das Risiko von Kornausbrchen besteht. Daher wurde auf den Teststrecken am Tag nach dem Einbau des ORRAP-Materials eine Asphaltbetondeckschicht von 4 cm bzw. eine bituminöse Versiegelung aufgetragen.

4. Qualitätskontrolle der Bauweise

Während des Einbaus wurden Verdichtungsprfungen durchgeführt, um eine ordnungsgeme Verdichtung des verwendeten Materials sicherzustellen. Aufgrund des feuchten Materials wurde ein Dual-Source-Gamma-Densimeter (Isotopsonde) eingesetzt. Die Dicke der Schicht wurde während des Einbaus mit einem Tiefenmesser überprüft. Nach dem Einbau wurden am folgenden Tag Plattendruck- und Deflektionstests durchgeführt. Zudem wurden die Streckenabschnitte nach 3 Monaten bezüglich einer Nachverdichtung des Materials und auf

eventuell auftretende Spurrinnenbildung überwacht. Die Ergebnisse der statischen Plattendruckversuche auf den zwei Abschnitten der französischen Teststrecke mit einer Schichtdicke von 12 bzw. 15 cm sind in Abbildung 2 dargestellt.

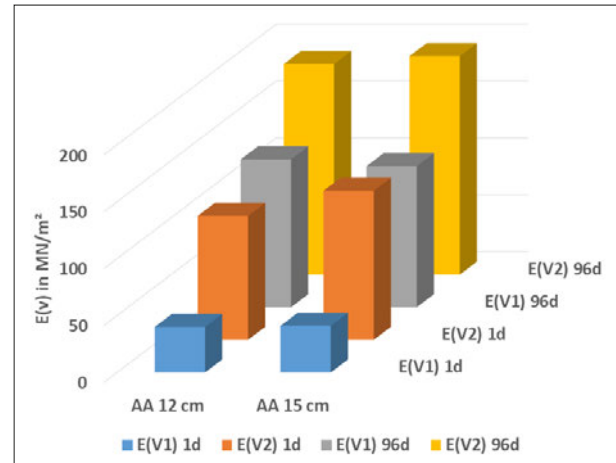


Abbildung 2: Ermittelte E_{v1} - und E_{v2} -Werte auf der französischen Teststrecke 1 bzw. 96 Tage nach dem Einbau

Die realen E_{v2} -Werte des AA unterscheiden sich von den aus Ergebnissen der CBR-Versuche korrelierten Werten. In situ sind für 1 d nach dem Einbau 109 bzw. 131 MPa erreicht worden. Der CBR-Wert für das französische Teststreckenmaterial betrug 20 %. Die entsprechende Korrelation hat ca. 95 MPa als Resultat. Die realen E_{v2} -Werte sind somit ca. 15 bis 25% höher. Nach 3 Monaten Liegezeit unter Befahrung betragen die E_{v2} -Werte des AA bei ca. 190 MPa.

5. Ausblick

Die bisherigen Ergebnisse der entwickelten Kaltrecyclingbauweise zeigen die erfolgreiche Durchführbarkeit in der Praxis. Es ist geplant, die Teststrecken in den nächsten drei Jahren über das Ende des Projektzeitraums hinaus weiterhin zu beobachten und Kontrollmessungen durchzuführen, um das Langzeitverhalten der Bauweise zu beurteilen. Insbesondere wird hier die Entwicklung der Spurrinnenbildung untersucht.

Neben den dargestellten technischen Aspekten berücksichtigt die ORRAP-Bauweise verschiedene wirtschaftliche, ökologische und gesundheitliche Aspekte, da sie natürliche Ressourcen schont und die Verwendung von Materialien geringerer Qualität ermöglicht [11]. Darüber hinaus reduziert diese 100%-ige Recyclingtechnologie nicht nur die Menge der AA-Lagerbestände, sondern stellt auch eine umweltfreundliche Bauweise dar, die zur CO_2 -Einsparung und Reduzierung anderer Emissionen fhrt.

Literatur

- [1] Torbjörn Jacobson and Andreas Waldemarson, 2010, Återvinning av asfaltgranulat vidmotorvägsbygget på E4, Markaryd Uppföljningar åren (Recycling of crushed asphalt pavement on highway construction on E4, Markaryd – follow-up period) 2005–2010, VTI (Swedish National Road and Transport Research Institute), SE-581 95
- [2] EN 13286-2 (2010): Ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische - Teil 2: Laborprüfverfahren zur Bestimmung der Referenz-Trockendichte und des Wassergehaltes – Proctorversuch, Beuth-Verlag, Berlin
- [3] EN 13286-47 (2012): Ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische - Teil 47: Prüfverfahren zur Bestimmung des CBR-Wertes (California bearing ratio), des direkten Tragindex (IBI) und des linearen Schwellwertes; Beuth-Verlag, Berlin
- [4] Lottmann A. (2003): Tragfähigkeit und Frostempfindlichkeit von kalkbehandelten bindigen Böden im Planumbereich von Verkehrsflächen; Dissertation, Technische Universität Cottbus, S. 48
- [5] Laura Gaillard, Cyrille Chazallon, Pierre Horny and Juan Carlos Quezada, (2019), Study of the Mechanical Behaviour of Reclaimed Asphalt Aggregates Without Binder Addition, E3S Web of Conferences, Volume 92, on 7th International Symposium on Deformation Characteristics of Geomaterials (IS-Glasgow 2019), <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199210004>
- [6] Christiane Raab and Manfred Partl, (2020), Laboratory Evaluation and Construction of Fully Recycled Low-Temperature Asphalt for Low-Volume Roads, Advances in Materials Science and Engineering, Volume 2020 |Article ID 4904056 | <https://doi.org/10.1155/2020/4904056>
- [7] DIN EN 1426 (2015): Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel - Bestimmung der Nadelpenetration, Beuth-Verlag, Berlin
- [8] EN 14769 (2012): Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel - Beschleunigte Langzeit-Alterung mit einem Druckalterungsbehälter (PAV), Beuth-Verlag, Berlin
- [9] Lu X., Isacsson U., (2002), Effect of ageing on bitumen chemistry and rheology. Constr.Build. Mater.; 16:15–22
- [10] Le Guern M. et al., (2010), Physico-chemical analysis of five hard bitumens: Identification of chemical species and molecular organization before and after artificial aging, Fuel 89, 3330-3339
- [11] A. Brzuska, S. Cypra, C. Holldorb und M. Stöckner, (2018), CO₂-Emissionen bei der Straßenerhaltung, Straße und Autobahn, Jg. 69, Nr. 10, S. 845–853

Dimensionierung von Asphaltbefestigungen mit Kaltrecyclingmischgut: ein internationaler Vergleich

Marius Winter

Universität Kassel, Hessen

Konrad Mollenhauer

Universität Kassel, Hessen

Zusammenfassung

Die Wiederverwendung von Asphaltgranulat im europäischen Straßennetz gewinnt zunehmend an Bedeutung. Neben den konventionellen Möglichkeiten der Wiederverwendung (z. B. in Heißasphaltemischgut), findet auch die Verwertung in Tragschichten als Kaltrecycling-Baustoff Anwendung. Ein europäischer Vergleich zeigt, dass die Dimensionierungsverfahren sowohl unter dem Einsatz von Heißasphalt als auch von Kaltrecyclingmischgut international voneinander abweichen. Allerdings macht die Analyse der verschiedenen Regelwerke deutlich, dass trotz unterschiedlicher Verfahrensansätze teilweise ähnliche Schichtdicken innerhalb der Befestigungen resultieren (insb. für Heißasphalt). Im Allgemeinen führt die Verwendung von Kaltrecyclingmischgut zu einer Zunahme der Schichtdicke im Vergleich zum Standardaufbau. Des Weiteren können verschiedene Sicherheitsparameter identifiziert werden, welche im Rahmen der internationalen Dimensionierungen Anwendung finden. Grundsätzlich lassen die untersuchten Verfahren eine Differenzierung zweier Ansätze zu. Zum einen findet die rechnerische Dimensionierung Anwendung, welche die Ermittlung der erforderlichen Schichtdicken ermöglicht. Zum anderen können empirische Verfahren zur Dimensionierung herangezogen werden.

1. Einführung

Da das europäische Straßennetz fast vollständig ausgebaut ist, wird die bauliche Erhaltung der bestehenden Straßen einen zunehmenden Anteil der künftigen Investitionen in die Straßeninfrastruktur abdecken. Der überwiegende Anteil der Straßen wird mit Asphaltbelägen gebaut, wobei das übliche Verfahren darin besteht, den gesamten Asphaltaufbau oder die obere(n) Schicht(en) davon zu entfernen und auf dem verbleibenden Aufbau neuen Asphalt einzubauen. Infolgedessen führt das zunehmende Alter des Straßennetzes zu steigenden Mengen an Ausbaupasphalt bzw. Asphaltgranulat (AG). Dieses wird vornehmlich in Asphalttragschichten recycelt. Da überwiegend Asphaltdeck- und -binderschichten erneuert werden, kommt es zu einem Überschuss an AG.

Kaltrecycling (KRC) von AG ist ein Verfahren, bei dem hohe Recyclingraten von in der Regel $\geq 75\%$ bei geringerer Empfindlichkeit bezüglich der AG-Eigenschaften erreicht werden [1] im Vergleich zu anderen Recyclingoptionen (z. B. in Heißasphaltemischungen). KRC wird erfolgreich in zahlreichen Straßenstrukturen unterschiedlicher Verkehrsbelastungen eingesetzt. Da das Mischgut bei Umgebungstemperatur hergestellt wird, wird der Prozess mit dem höchsten Energieverbrauch - die Erwärmung und Trocknung der Zuschlagstoffe - vermieden.

Dadurch können die herstellungsbedingten CO₂-Emissionen signifikant reduziert werden. [2]

Trotz der praktischen Erfahrungen mit kaltrecycelten Materialien sind die Versagensarten dieser Schichten noch nicht vollständig verstanden. Dies lässt sich zum Teil durch die häufige Anwendung innerhalb des Straßennetzes mit vergleichsweise geringem Verkehrsaufkommen sowie mit geringer Fachkenntnis und geringem Bedarf an Erhaltungsprognosen und Dauerhaftigkeitsbewertung erklären. Die mechanischen Eigenschaften von Kaltrecyclingmaterial sind in laborgestützten Projekten gut erforscht. Dabei werden in der Regel geringere Steifigkeits- und Festigkeitseigenschaften im Vergleich zu Heißasphaltemischungen (HMA) festgestellt. Daher führen verfügbare Dimensionierungsverfahren auf der Grundlage von Ermüdungsversagenskriterien, die üblicherweise auf Heißasphalte angewendet werden, zu hohen erforderlichen Tragschichtdicken und sind daher in der Praxis unwirtschaftlich [3]. Die in der Praxis angewandten Dimensionierungsverfahren unterscheiden sich somit erheblich und reichen von den gleichen Dickenabschätzungen wie bei heißen bituminösen Materialien (z. B. in der Schweiz) bis zu Dickenerhöhungsfaktoren von z. B. 50 % [4] im Vergleich zu Heißasphaltschichten. Ein Grund für diese vorsichtigen Dimensionierungen liegt in der zeitabhängigen Änderung der Materialfes-

tigkeit während der Aushärtung, die dazu führt, dass die Tragfähigkeit von KRC-Schichten über Monate oder sogar Jahre hinweg zunimmt [5]. Internationale Erfahrungen zeigen die Anwendbarkeit von Kaltrecyclingmaterial auch bei stark befahrenen Autobahnkonstruktionen [6]. Da die mechanistischen Bemessungsansätze noch nicht vollständig akzeptiert sind und Versagensmodi für kaltrecycelte Materialien innerhalb der Verfahren nicht implementiert sind, wurden die bestehenden empirischen Dimensionierungsverfahren in mehreren Ländern verglichen. Da die für konventionelle Materialien (insbesondere Heiasphalte) angewandten Standardbemessungsverfahren von Land zu Land sehr unterschiedlich sind, werden diese Ansätze in einem ersten Schritt verglichen. Danach werden spezielle Ansätze für kaltrecycelte Materialien vorgestellt. Zum Vergleich der Dimensionierungsverfahren sowohl für Befestigungen mit Tragschichten aus HMA als auch aus KRC-Material werden empirische und mechanistische Dimensionierungsverfahren aus fünf ausgewählten europäischen Ländern, die das Spektrum der klimatischen Bedingungen innerhalb Europas abdecken, für acht gängige Modellbeläge mit unterschiedlichen Verkehrs- und Untergrundbedingungen herangezogen. Aus diesen Ergebnissen werden die Erwartungen an KRC-Material im Vergleich zu HMA bewertet.

2. Empirische Dimensionierungsverfahren für Straßenbefestigungen

2.1 Betrachtete nationale Dimensionierungsverfahren

Die innerhalb Europa angewendeten Verfahren für die Dimensionierung von Straßenbefestigungen unterscheiden sich erheblich. Um den strukturellen Aufbau von KRC-Tragschichten, wie sie in verschiedenen Ländern angewendet werden, zu vergleichen, werden zunächst die Gemeinsamkeiten der Bemessungsansätze diskutiert. Die für Standard-Asphalttragschichten sowie für ungebundene und zementstabilisierte Tragschichten angewandten Bemessungsansätze werden als Referenz für den Vergleich der Befestigungen mit KRC-Tragschichten verwendet.

Die aktuellen Richtlinien für die Dimensionierung von Straßenbefestigungen in Großbritannien werden in dem Design Manual for Roads and Bridges der Highway Agency (HA) beschrieben [7][8][9].

Die Vorschriften der schwedischen Verkehrsbehörde sind in der TRVK Väg [10] festgelegt und beschreiben, dass die Bemessung des Oberbaus durch die Begrenzung der horizontalen Dehnung an der Unterseite der unteren gebundenen Asphaltenschicht und der vertikalen Dehnung an der Oberseite des Untergrunds erfolgen sollte. Zusätzliche Anforderungen bezüglich der Mindestdicken für die

verschiedenen Schichten müssen ebenfalls erfüllt werden.

In Italien ist das einzige verfügbare offizielle Referenzdokument zur Dimensionierung ein Befestigungskatalog, „CATALOGO DELLE PAVIMENTAZIONI STRADALI“, der 1994 vom Nationalen Forschungsrat veröffentlicht wurde (CNR) [11]. Der Katalog wurde nach der Entwurfsmethode entwickelt, die im „AASHTO Guide for Design of Pavement Structures“ beschrieben ist. Neben dem Katalog des CNR wird ein Entwurfsdokument für kaltrecycelte Materialien angewandt, welches auch die unterschiedlichen klimatischen Bedingungen in Norditalien berücksichtigt [12].

In Deutschland ist das Bemessungsverfahren für Straßenbefestigungen in der RStO 2012 festgelegt [13]. Das Verfahren berücksichtigt die mechanischen Eigenschaften der verwendeten Straßenbaustoffe, die ihrerseits in Mischgutnormen festgelegt sind, sowie die Umweltbedingungen. Die Vorgaben für die Dimensionierung unter Berücksichtigung von KRC-Material sind im M KRC [14] enthalten.

Das französische Dimensionierungsverfahren für Straßenbefestigungen wird in der Norm NF P98-086 [15] beschrieben, die die Anwendung eines mehrschichtigen elastischen Schichtenmodells für die Schichtdickenermittlung beschreibt. In erster Linie werden die berechneten Spannungen und Dehnungen in den Schichten mit Werten verglichen, die hauptsächlich von der Anzahl der äquivalenten Achslastübergänge und den Schichteigenschaften abhängen.

2.2 Allgemeiner Aufbau von Straßenbefestigungen

Innerhalb Europas hat fast jedes Land unterschiedliche Ansätze für den Entwurf von Straßenbefestigungen. Trotz unterschiedlicher Werkzeuge zur Berücksichtigung von Verkehrsbelastungen und Untergrundbedingungen sind die allgemeinen Aufbauten jedoch ähnlich, mit zunehmender Steifigkeit, Tragfähigkeit und Widerstand gegen Rissbildung und/oder permanente Verformung von der Unterseite bis zur Oberseite des Oberbaus. Abbildung 1 und Tabelle 1 zeigen die schematische Darstellung des allgemeinen Oberbaus und angewandten Fachbegriffe aus den fünf ausgewählten europäischen Ländern, die das Spektrum der klimatischen Bedingungen innerhalb Europas abdecken.

Auf dem vorhandenen, wenig tragfähigen Untergrund (z. B. Lehm) wird eine erste Tragschicht (1) entweder durch Aufbringen einer ungebundenen Tragschicht oder einer hydraulisch gebundenen Schicht hergestellt. Die Tragschicht (2) wird aufgebracht, um die Tragfähigkeit zu erhöhen sowie die Frostbeständigkeit und Wasserdurchlässigkeit des Aufbaus zu gewährleisten.

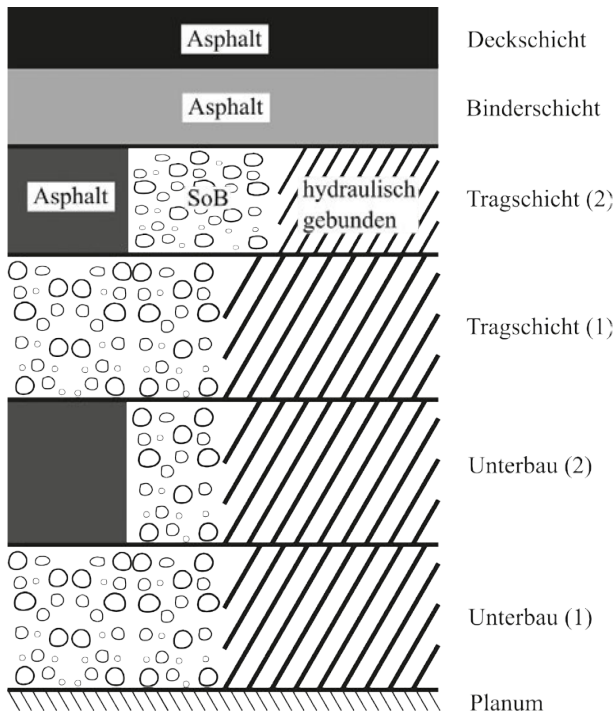


Abbildung 1: Schematische Darstellung der einzelnen Schichten einer Straßenbefestigung

Tabelle 1: Nationale Fachbegriffe und verwendete Materialien für die Schichten der Straßenbefestigung gemäß den nationalen Vorschriften zur Dimensionierung

Schicht	UK ¹	SWE ²	ITA ³	DE ⁴	FRA
Deckschicht	„Surface course“ (Asphalt)	„Slitlager“ (Asphalt)	„Tappeto di usura“ (Asphalt)	„Deckschicht“ (Asphalt)	„Couche de roulement“ (Asphalt)
Binderschicht	„Binder course“ (Asphalt)	„Bindlager“ (Asphalt)	„Strato di collegamento“ (Asphalt)	„Binderschicht“ (Asphalt)	„Couche de liaison“ (Asphalt)
Tragschicht (2)	„Base“ (Asphalt, hydraulisch gebunden oder SoB)	„Bundet bärlager“ (Asphalt)	„Strato di Base“ (Asphalt)	„Tragschicht“ (Asphalt)	„Couche de base“ (Asphalt, hydraulisch gebunden oder SoB)
Tragschicht (1)	-	„Obundet bärlager“ (SoB)	„Misto cementato“ (hydraulisch gebunden)	„Tragschicht“ (hydraulisch gebunden, SoB)	-
Unterbau (2)	„Sub-base“ (hydraulisch gebunden, SoB)	„Förstärkningslager“ (SoB)	„Misto granulare“ (SoB)	„Frostschuttschicht“ (SoB)	„Couche de foundation“ (Asphalt, hydraulisch gebunden, SoB)
Unterbau (1)	„Capping“ (hydraulisch gebunden, SoB)	„Skyddslager“ (SoB)	„Strato antigelo“ (SoB)	„Bodenverfestigung“ (hydraulisch gebunden)	„Couche de forme“ (hydraulisch gebunden, SoB)
Planum					

¹ (Highways Agency, 2006), ² (Trafikverket, 2011), ³ (Consiglio Nazionale Ricerche, 1995), ⁴ (FGSV, 2012), ⁵ (Afnor, 2011)

Die Tragschichten sorgen für die erforderliche Tragfähigkeit und können aus ungebundenen, hydraulisch gebundenen oder Asphalttragschichten bestehen. Die weitere Asphaltüberbauung besteht aus einer Asphaltbinderschicht, die einen hohen Widerstand gegen bleibende Verformungen bietet, über welcher die Asphaltdeckschicht angeordnet wird.

2.3 Dimensionierungsparameter

2.3.1 Verkehrsbelastung

Die Berechnungsverfahren zur Berücksichtigung der Verkehrsbelastung sind innerhalb der ausgewählten europäischen Länder ähnlich. Tabelle 2 gibt einen Überblick über verschiedene Eingangsparameter, die innerhalb der nationalen Richtlinien angewendet werden. Der Basiswert zur Berücksichtigung der Verkehrsbelastung ist die Anzahl der Standardachslasten während der angestrebten Nutzungsdauer der Befestigung. Als Standardachslast werden 8,2 t (UK, IT), 10 t (SWE GE) oder 13 t (FR) angesetzt und die angestrebte Nutzungsdauer beträgt 30 Jahre (SWE, IT, GE, FR) bzw. 40 Jahre (UK). Alle Berechnungen berücksichtigen die durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (DTV), den Anteil des Schwerverkehrs sowie die Straßenkategorie.

2.3.2 Untergrundbedingungen

Die Verfahren zur Berücksichtigung der individuellen Tragfähigkeit des Untergrundes variieren innerhalb der Regelwerke für die Dimensionierung der Befestigung. In Deutschland ist ein Mindestwert für die Untergrundtragfähigkeit in Form eines Verformungsmoduls $E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$ definiert. Falls die Bodenverhältnisse diese Anforderung nicht erfüllen, wird der Untergrund durch hydraulische Bindemittel stabilisiert.

Andere Bemessungsansätze verfügen über eine höhere Flexibilität hinsichtlich unterschiedlicher Tragfähig-

keiten des natürlichen Bodens und bieten Fundamentklassen entsprechend der verfügbaren Tragfähigkeit in Form des Elastizitätsmoduls M_r , des CBR-Wertes oder des Oberflächenmoduls. Bei geringer Tragfähigkeit des natürlichen Bodens kann zur Verbesserung der Bodeneigenschaften eine Zement- oder Kalkbehandlung eingesetzt werden.

Darüber hinaus wird die Frostempfindlichkeit des Untergrundes nach den deutschen, schwedischen und französischen Dimensionierungsrichtlinien berücksichtigt. Nach den Bodenparametern (insbesondere der Einstufung) wird der Boden entsprechend der Gefahr von Frosthörungen bei winterlichen Bedingungen in drei (GER, FRA) oder vier (SWE) Frostempfindlichkeitsklassen eingeteilt. Die Frostempfindlichkeitsklasse des Bodens bestimmt einen Zuschlag auf die Befestigungsdicke (in der Regel als ungebundene Frostschutzschicht).

2.3.3 Klimatische Bedingungen

Der Klimaeinfluss wird von Land zu Land unterschiedlich betrachtet. In den meisten Richtlinien wird jedoch eine Landkarte mit unterschiedlichen Klimazonen (Frostzonen) angewendet. Die deutschen und schwedischen Richtlinien haben Frostzonen, die drei (GER) oder fünf (SWE) Klimazonen für die Berücksichtigung der Frosteindringungstiefe im Winter definieren, vgl. Abbildung 2. Der italienische Befestigungskatalog „CATALOGO DELLE PAVIMENTAZIONI STRADALI“ bezieht sich ausdrücklich auf die für Mittelitalien typischen klimatischen Bedingungen, während nach der norditalienischen Gestaltungsrichtlinie die Höhenlage über dem Meeresspiegel berücksichtigt wird, siehe Tabelle 3. Innerhalb Großbritanniens und Frankreichs ist der mittlere jährliche Frostindex die Grundlage für die Beurteilung der Frosttiefe, der auch zur Definition der Frostzonen (RStO) verwendet wird.

Tabelle 2: Zusammenstellung der Eingangsparameter zur Ermittlung der Verkehrsbeanspruchung

	UK	SWE	ITA	DE	FRA
Standardachslast [t]	8.2	10	8.2	10	13
DTV	✓	✓	✓	✓	✓
Anteil des Schwerverkehrs	✓	✓	✓	✓	✓
Angestrebte Nutzungsdauer [a]	40	30	30	30	20 / 30
Verkehrszuwachs	✓	✓	✓	✓	✓
Straßenkategorie	✓	✓	✓	✓	✓
Fahrbahnbreite	x	✓	✓	✓	✓
Anteil der Fahrzeuge innerhalb der Schwerverkehrrollspur	✓	x	x	✓	✓
Geschwindigkeitsfaktor	x	✓	x	x	x
Längsneigung	x	x	x	✓	x

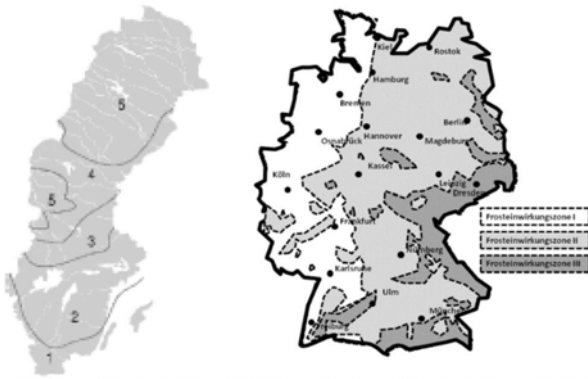


Abbildung 2: Klimazonen zur Berücksichtigung der Frosttiefe in Schweden (links) und Deutschland (rechts)

Tabelle 3: Italienische Klimazonen gemäß Befestigungskatalog [12]

Klima zone	Höhe [m]	Wärmste monatliche Durchschnittstemperatur [°C]	Kälteste monatliche Durchschnittstemperatur [°C]
1	bis 500	23.1	0.9
2	500 bis 1000	21.0	0.1
3	1000 bis 1500	17.9	- 0.1
4	über 1500	15.8	- 1.5

2.4 Dimensionierungsverfahren

Die Untersuchung der verschiedenen Dimensionierungsverfahren macht deutlich, dass es drei verschiedene grundlegende Ansätze zur Dimensionierung einer geeigneten Befestigung gibt. Das Vereinigte Königreich verwendet Nomogramme mit hinterlegten Funktionen zur Bemessung der Gesamtasphaltdicke. Die darunterliegenden Schichten werden mit Hilfe von Nomogrammen in Abhängigkeit von der Untergrundklasse des natürlichen Bodens definiert. Die Richtlinien aus Italien und Deutschland verwenden ein Katalogsystem zur Dimensionierung von Straßenbefestigungen. In Schweden und Frankreich wird ein mechanistisch-empirisches Bemessungsverfahren angewandt, das auf der Mehrschichtentheorie basiert und den Widerstand gegen Ermüdungsriss an der Unterseite der gebundenen Schichten und gegen permanente vertikale Verformung an der Oberseite des Unterbaus berücksichtigt.

Allen Verfahren gemeinsam ist, dass die Gesamtdicke der Befestigung zur Vermeidung von Frosthebungen unter Berücksichtigung der klimatischen Parameter sowie der Untergrundeigenschaften berechnet wird. Während in Schweden und Deutschland die erforderliche Dicke bis

zu 80 cm betragen kann, wird in Großbritannien eine Dicke von 45 cm (35 cm in Küstenregionen) angesetzt.

2.4.1 Katalogsystem

Die in Italien und Deutschland angewandten empirischen Dimensionierungsverfahren für Straßenbefestigungen basieren auf einem Katalogsystem. Für gegebene Verkehrsbelastungsklassen, Untergrundtragfähigkeiten sowie die verwendeten Tragschichtmaterialien werden geeignete Oberbauten definiert. In Frankreich existiert neben dem mechanistisch-empirischen Bemessungsverfahren auch ein Katalog [16], der vorberechnete Bemessungslösungen für einige Standardtypen von Oberbaukonstruktionen, für verschiedene Verkehrsklassen und Untergrundtragfähigkeiten bietet.

2.4.2 Nomogramm System

Im Gegensatz zum Katalogsystem wenden die Richtlinien des Vereinigten Königreichs Nomogramme mit hinterlegten Funktionen an, um die Gesamtasphaltdicke des Oberbaus zu ermitteln. Für dieses Verfahren werden die Anzahl der äquivalenten Standard-Achslasten auf den Oberbau während der Nutzungsdauer sowie die aktuelle Fundationsklasse als Eingabeparameter verwendet. Abbildung 3 zeigt die Bemessungsdicke für bituminöse Oberbauten. Nach der Berechnung der Verkehrslast wird die entsprechende Fundationsklasse verknüpft (1). Die erforderliche Gesamtdicke des Asphaltüberbaus hängt vom verwendeten Asphalttragschichtmaterial ab (2). Außerdem erlaubt das Dimensionierungsverfahren, die Asphalttragschicht durch eine HBM-Tragschicht (hydraulisch gebundenes Material) zu ersetzen.

2.4.3 Mechanistisch-empirisches Dimensionierungsverfahren

Im Rahmen des schwedischen und französischen Dimensionierungsverfahren wird eine auf der elastischen Mehrschichtentheorie basierende Software zur Berechnung der resultierenden Spannungen und Dehnungen im gebundenen Oberbau verwendet. Die Steifigkeitsparameter für die Asphaltsschichten werden entsprechend dem jeweiligen Material gewählt. Die Untergrundsteifigkeit wird in Abhängigkeit von der Jahrestemperatur und den Frostempfindlichkeitsbedingungen (in Schweden) bzw. in Abhängigkeit von der langfristigen Tragfähigkeitsklasse des Untergrundes variiert. Im Rahmen des Verfahrens werden die Schichtdicken so festgelegt, dass die vertikalen Spannungen auf der Oberseite des Untergrundes begrenzt werden, um der tatsächlichen Anzahl von Belastungszyklen während der Nutzungsdauer des Oberbaus zu widerstehen. Darüber hinaus wird die horizontale Dehnung an der Unterseite der Asphalttragschicht bzw. die horizontale Spannung an der Unterseite der hydraulisch gebundenen Tragschicht begrenzt, um Ermüdungsriss zu vermeiden.

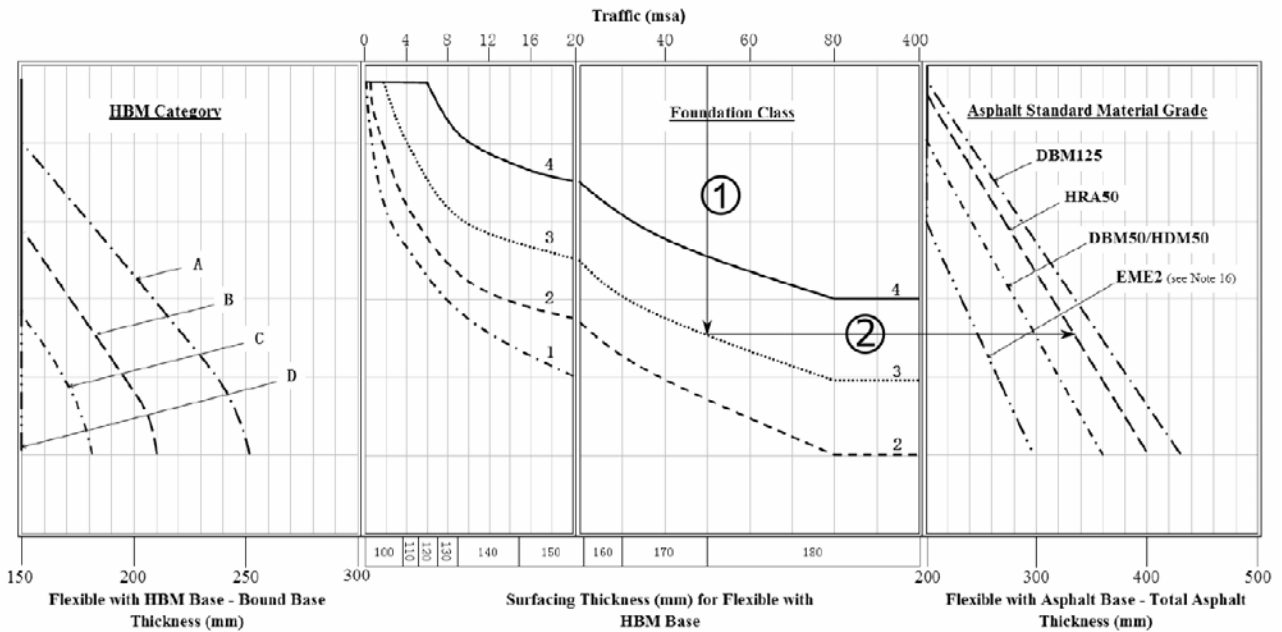


Abbildung 3: Schichtdickendimensionierung für Asphaltbefestigungen [7]

3. Dimensionierungsverfahren mit Kaltrecyclingmaterial

Die Verwendung von KRC-Material ist in den meisten europäischen Ländern nicht standardisiert. Daher wird es bei der Dimensionierung nur bedingt berücksichtigt. Als Alternative müssen mechanistische Verfahren für die Dimensionierung angewendet werden, wenn nicht standardisierte Straßenmaterialien verwendet werden.

Für die Anwendung in Italien beschreibt die Norm der norditalienischen Provinz Bozen folgende Asphaltbaustoffe [12]:

- Asphaltbeton für Deck-, Binder- oder Tragschichten, die alle mit modifiziertem SBS-Bindemittel hergestellt werden;
- KRC-Tragschicht mit SBS-modifizierter Bitumenemulsion und Zement;
- KRC-Tragschicht mit Schaumbitumen oder Bitumenemulsion und Zement;
- Zement- oder kalkstabilisierte Fundationsschichten

Alle Schichten werden unter Berücksichtigung individueller technischer Spezifikationen sowohl für die Materialien wie auch die Bauwerke dimensioniert. Die Verwendung einer KRC-Tragschicht ist oft mit einer darunter angeordneten zement- oder kalkstabilisierten Fundationsschicht kombiniert. Dies ist ein wirksames Mittel, um die Zugbeanspruchung in der KRC-Tragschicht zu begrenzen und damit deren Dauerhaftigkeit zu erhöhen. Darüber hinaus erfordert die Anwendung von KRC-Tragschichten nach italienischen Spezifikationen den Bau eines Versuchsabschnitts, um den Bauablauf, die Verdichtbarkeit der Mischung und ihre mechanischen

Eigenschaften zu testen. Da der Versuchsabschnitt für den Auftragnehmer mit zusätzlichen Kosten verbunden ist, ist die Anwendung von KRC-Tragschichten oft auf mittlere oder große Projekte beschränkt.

In ähnlicher Weise fehlt auch in der deutschen Richtlinie zur Dimensionierung von Straßenbefestigungen die Anwendung von KRC-Mischgut [13]. Im Merkblatt für Kaltrecycling in situ im Straßenoberbau sind jedoch geeignete Oberbaustrukturen einschließlich KRC-Tragschichten enthalten, die auch aus teerkontaminiertem Asphaltmaterial bestehen können. Im Vergleich zu den betrachteten Ländern weist das deutsche KRC-Mischgut hohe Gehalte an bituminösen und zementhaltigen Bindemitteln auf.

Nach den schwedischen Richtlinien gibt es bei der Verwendung von Kaltrecyclingmaterial keine besonderen Anforderungen. Das Ziel bei der Verwendung von KRC-Mischgut ist, dass die KRC-Schicht eine vergleichbare Wertigkeit zur konventionelle Asphalttragschicht aufweist. Daher ist eine individuelle Beurteilung erforderlich, um festzustellen, wann das Kaltrecyclingmaterial die Anforderungen erfüllt und als qualitativ gleichwertig mit dem konventionellen HMA angesehen werden kann.

Im Vereinigten Königreich können kaltrecycelte Materialien auf zwei Arten in einer Straßenbefestigung verwendet werden [17]:

- Das kaltrecycelte Material bildet die Schicht unmittelbar über der Fundation und wird bituminös überdeckt;
- Bitumengebundenes Kaltrecyclingmaterial kann als Ersatz für konventionelles Heißmischgut für Inlay-Behandlungen verwendet werden, bei denen ein erheblicher Anteil der vorhandenen Befestigung als Teil des sanierten Oberbaus verbleibt.

Tabelle 4: Verkehrsbeanspruchung und Untergrundbedingungen der Modell-Befestigungen

	Verkehrsbeanspruchung	Untergrundbedingungen
Befestigung 1	Mittlere Verkehrsbeanspruchung: ♦ DTV = 4500 / Fahrstreifen ♦ Schwerverkehranteil: 3 %	Hohe Tragfähigkeit: ♦ CBR: > 15 % ♦ $M_R = 120 \text{ MN/m}^2$
Befestigung 2	♦ Fahrbahnbreite: 3,0 m ♦ Verkehrszuwachs: 2 %/Jahr	Geringe Tragfähigkeit: ♦ CBR: 10 % ♦ $M_R = 50 \text{ MN/m}^2$
Befestigung 3	Geringe Verkehrsbeanspruchung: ♦ DTV = 450 / Fahrstreifen ♦ Schwerverkehranteil: 3 %	Hohe Tragfähigkeit: ♦ CBR: > 15 % ♦ $M_R = 120 \text{ MN/m}^2$
Befestigung 4	♦ Fahrbahnbreite: 2,6 m ♦ Verkehrszuwachs: 1 %/Jahr	Geringe Tragfähigkeit: ♦ CBR: 10 % ♦ $M_R = 50 \text{ MN/m}^2$

Die französische Dimensionierung definiert kein spezielles Verfahren für Befestigungen mit Kaltmischgutschichten. Die Richtlinien sehen lediglich spezifische mechanische Leistungsklassen für bituminöse Kaltmischgüter (Grave-Emulsion / GE) vor. Diese Mischungen enthalten kein hydraulisches Bindemittel. Je nach dem Gehalt an bituminösem Bindemittel wird zwischen drei Typen unterschieden:

- Typ 1 wird für Profilierungsarbeiten verwendet. Die maximale Korngröße kann 10 oder 14 mm betragen.
- Typ 2 und 3 werden für Tragschichten verwendet. Die maximale Korngröße kann 10, 14 oder 20 mm betragen.

Um die verschiedenen Dimensionierungsverfahren mit und ohne kaltrecycelten Tragschichtmaterialien vergleichen zu können, werden Modell-Befestigungen auf der Grundlage der üblichen Verkehrslasten sowie der Tragfähigkeiten im Untergrund entworfen.

4. Vergleich von Modell-Befestigungen

Im folgenden Abschnitt werden die beschriebenen Dimensionierungsverfahren auf Modell-Befestigungen angewendet, die durch übliche Verkehrslasten und Untergrundbedingungen definiert sind. Für jede Befestigung werden die Modelle sowohl für eine Standardbefestigung mit einer konventionellen Asphalttragschicht als auch für eine Befestigung mit KRC-Tragschicht verglichen. Die Bedingungen für die vier Modell-Befestigungen sind in Tabelle 4 aufgeführt. Der wesentliche Unterschied zwischen den einzelnen Beispielen liegt in der Verkehrsbelastung (DTV, Fahrbahnbreite, Verkehrszunahme) und den Untergrundbedingungen. Die Befestigungen 1 und 2 sollen mittlere Verkehrsbelastungen (Bk3,2) mit hoher oder eher geringer Tragfähigkeit des Untergrundes simu-

lieren. Im Vergleich dazu stellen die Befestigungen 3 und 4 geringe Verkehrsbelastungen (Bk0,3) dar.

Als Ergebnis zeigt Abbildung 4 die resultierenden Befestigungen nach den verschiedenen Dimensionierungsverfahren für Modell-Befestigung 1. Die Konstruktionen unterscheiden sich erheblich in der Gesamtdicke.

Für Deutschland ist angesichts der hohen Tragfähigkeit des Untergrundes keine Frostschutzschicht erforderlich. Die Gesamtdicke des Asphaltpaketes beträgt 22 cm. Bei Verwendung von KRC-Material als zusätzliche Tragschicht ist eine Gesamtdicke des bituminösen Oberbaus von 32 cm erforderlich, welcher sich aus 12 cm Asphalttragschicht und 20 cm KRC-Tragschicht zusammensetzt. Als Ergebnis des italienischen Verfahrens ergibt sich eine Gesamtasphaltdicke von 22 cm, einschließlich einer Asphalttragschicht von 14 cm und einer ungebundenen Tragschicht. Wenn anstelle der Asphalttragschicht eine Tragschicht aus KRC-Material verwendet wird, erhöht sich die Dicke der Tragschicht um 2 cm. Darüber hinaus muss die ungebundene Tragschicht durch eine hydraulisch gebundene Tragschicht ersetzt werden, um eine ausreichende Tragfähigkeit zu gewährleisten.

In Schweden wird ein mechanistisch-empirisches Verfahren angewendet, das die tatsächlichen Steifigkeitseigenschaften der Schichten berücksichtigt. Da KRC-Material nicht spezifisch beschrieben ist, wurden die gleichen Eigenschaften wie bei HMA-Tragschichten angewendet, was zu der gleichen Gesamtdicke der Befestigung führt. Insgesamt summieren sich die Asphalttschichten auf 14 cm basierend auf 8 cm ungebundener Tragschicht.

Der britische Dimensionierungsansatz führt zu einer Gesamtasphaltdicke von 28 cm, welche eine Asphalttragschicht mit einer Dicke von 16 cm enthält. Wenn KRC-Material als Alternative zu Heißasphalt als bituminöse Tragschicht verwendet wird, ist eine Dicke von 29 cm erforderlich.

Befestigung 1: Mittlere Verkehrsbeanspruchung, hohe Untergrundtragfähigkeit

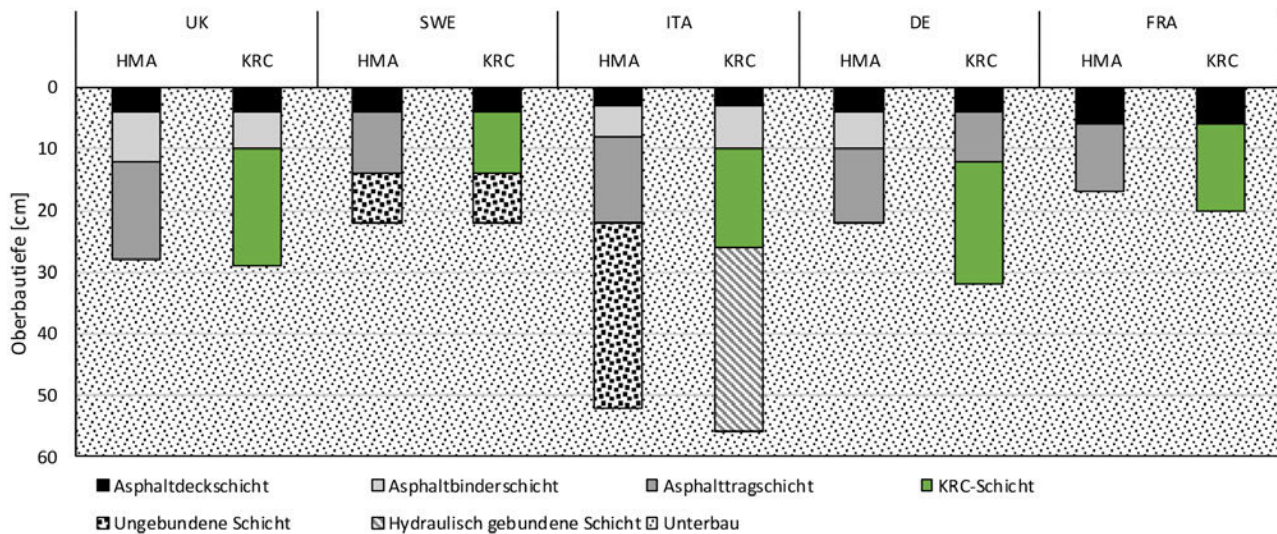


Abbildung 4: Resultierende Befestigungen für Modell-Befestigung 1 (Mittlere Verkehrsbeanspruchung, hohe Untergrundtragfähigkeit)

Die Dimensionierung nach dem französischen Verfahren ergibt eine Gesamtdicke des gebundenen Oberbaus von 17 cm, welcher sich aus einer Asphaltdeckschicht mit einer Dicke von 6 cm und eine Tragschicht mit einer Dicke von 11 cm zusammensetzt. Enthält die Befestigung KRC-Material, erhöht sich die Dicke der Tragschicht mit Grave Emulsion auf bis zu 14 cm.

Für die anderen in Tabelle 4 beschriebenen Modell-Befestigungen sind die resultierenden Gesamtdicken der bituminösen Schichten in Tabelle 5 zusammengefasst. Zunächst ist festzustellen, dass das deutsche und italienische Dimensionierungsverfahren zu ähnlichen Schichtdicken der Straßenbefestigung mit Heißasphalttragschichten führen. Die Befestigungen nach dem britischen Verfahren haben eine höhere Asphaltstärke, während die Befestigungen nach schwedischem und französischem Dimensionierungsverfahren mit einer dünneren Asphaltstärke ausgelegt werden.

Hinsichtlich des Unterschieds zwischen Befestigungen mit einer bituminösen Tragschicht aus KRC-Material und einer Asphalttragschicht ist zu beobachten, dass nach deutscher empirischer Auslegung die Asphaltstärke für hoch tragfähige Untergrundverhältnisse um 45 % und für gering tragfähige Verhältnisse um bis zu 100 % erhöht wird. In Italien und Großbritannien wird die Asphaltstärke um 18 % bis 37 % erhöht, wenn KRC-Material anstelle von HMA als Asphalttragschicht aufgebracht wird.

Die daraus resultierenden Befestigungen zeigen, dass bei klassischen Materialien die verschiedenen Dimensionierungsverfahren zu mehr oder weniger vergleichbaren Befestigungen führen. Offensichtlich entstammen die verschiedenen Bemessungsansätze einer gemeinsamen Grundlage.

5. Zusammenfassung

Verschiedene nationale empirische Dimensionierungsverfahren, die das Spektrum der klimatischen Bedingungen innerhalb Europas abdecken, wurden auf der Grundlage gemeinsamer Verkehrs- und Untergrundbedingungen verglichen. Als Ergebnis wird gezeigt, dass unterschiedliche Entwurfsansätze zu sehr ähnlichen Befestigungen führen können. Betrachtet man die ersten Erfahrungen mit der empirischen Bemessung von Befestigungen, die kaltrecycelte Materialien enthalten, so lassen sich unterschiedliche Gewichtungen der Sicherheitsparameter feststellen.

Die in Deutschland angewandten Sicherheits-Zuschläge für KRC-Schichten gegenüber Heißasphaltbefestigungen sind dabei erheblich höher als bei den anderen betrachteten Ländern.

Zur Identifizierung geeigneter Dimensionierungsverfahren für diese Materialien werden zwei Ansätze verfolgt. Im Rahmen des mechanistischen Verfahrens werden Steifigkeits- und Festigkeitsparameter von KRC-Material bewertet, die die Berechnung der erforderlichen Schichtdicke ermöglichen. Es muss jedoch sichergestellt werden, dass die angewandten Versagensmodelle für diese Art von nicht vollständig gebundenen Materialien tatsächlich gültig sind. Die Entwicklung ihrer Eigenschaften im Laufe der Zeit muss ebenfalls berücksichtigt werden.

Auf der anderen Seite können bestehende Befestigungen mit KRC-Tragschichten überwacht werden, um das Langzeitverhalten zu beurteilen. Dies wird es ermöglichen, die empirischen Dimensionierungsverfahren zu validieren und mögliche Veränderungen zu identifizieren.

Tabelle 5: Dicke des bitumengebundenen Oberbaus für die Modell-Befestigungen mit KRC-Material und HMA

Befestigung	Asphalt Schichtdicke	DE		ITA		SWE		UK		FRA	
		HMA	KRC	HMA	KRC	HMA	KRC	HMA	KRC	HMA	KRC
1	Dicke	22	32	22	26	14	14	28	29	17	20
	Δ [cm]	+10		+4		+0		+1		+3	
	Δ [%]	+45 %		+18 %		-		+3 %		+17 %	
2	Dicke	22	36	23	-	14	14	30	33	22	22
	Δ [cm]	+14				+0		+3		+0	(+ ToB)
	Δ [%]	+64 %				-		+10 %		-	
3	Dicke	14	24	10	-	4,5	-	21	28,5	1,5 ⁽¹⁾	13,5
	Δ [cm]	+10						+7,5		+12	
	Δ [%]	+43 %						+36 %		-	
4	Dicke	14	28	10	-	4,5	-	23	31,5	1,5 ⁽¹⁾	13,5
	Δ [cm]	+14						+8,5		+12	
	Δ [%]	+100 %						+37 %		-	

(1) Für besonders geringe Verkehrsbeanspruchungen ermöglicht das französische Dimensionierungsverfahren die Anwendung von sehr dünnen bituminösen Schichten mit einem granularen Unterbau

(2) ToB: Tragschicht ohne Bindemittel

Literatur

- [1] K. Mollenhauer and D. Simnofske, "Tolerances for inhomogeneity of pavement structure for in-situ cold recycling," in 6th Eurasphalt & Eurobitume Congress: 1-3 June 2016, Prague Congress Centre, 2016.
- [2] C. Holldorb and T. Mayer, "Ökoprofil für Asphalt- und Betonbauweisen von Fahrbahnen," Deutscher Asphaltverband e.V., 2009.
- [3] M. Radenberg, M. Miljković, and V. Schäfer, Einfluss des Asphaltgranulates auf die bemessungs- und ermüdungsrelevanten Materialeigenschaften einer zwangsgemischten, kaltgebundenen und bitumendominanten Tragschicht. Bremen: Fachverlag NW, 2015.
- [4] M. Bocci, F. Canestrari, A. Grilli, E. Pasquini, and D. Lioi, "Recycled Techniques and Environmental Issues Relating to the Widening of an High Traffic Volume Italian Motorway," International Journal of Pavement Research and Technology, no. 3, pp. 171–177, 2010.
- [5] J.-P. Serfass, X. Carbonneau, F. Delfosse, and J.-P. Triquigneaux, "Emulsified Asphalt Mixes: towards a complete design method," Revue Générale des Routes, pp. 2–22, 2010.
- [6] Wirtgen GmbH, "Wirtgen Group technologies take Brazil by storm – Ayrton Senna Highway rehabilitated with cold recycling," Wirtgen GmbH, 2015.
- [7] Highways Agency, "Design Manual for Roads and Bridges (DMRB): HD 26/06: Pavement Design," Highways Agency, London, 2006.
- [8] J. J. E. Liebenberg and A. Visser, "Towards a mechanistic structural design procedure for emulsion-treated base layers," Journal of the South African Institution of Civil Engineering, no. 46, pp. 2–9, 2004.
- [9] N. Thom, "Principles of Pavement Engineering: Second edition," London, 2008.
- [10] Trafikverkets tekniska krav Vägkonstruktion - TRVK Väg, 2011.
- [11] Catalogo delle pavimentazioni stradali. Bollettino Ufficiale CNR, 1995.
- [12] Autonome Provinz Bozen - Südtirol, "Verzeichnis der Bezugsbauweisen zur Dimensionierung von Asphaltstrassen," 2016.
- [13] FGSV, Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen: RStO 12. Köln: FGSV Verlag GmbH, 2012.
- [14] FGSV, Merkblatt für Kaltrecycling in situ im Straßenbau - M KRC. Köln: FGSV-Verlag, 2005.
- [15] Afnor, NF P98-086 - Dimensionnement structurel des chaussées routières. La Plaine Saint-Denis Cedex: AFNOR, 2011.
- [16] SETRA-LCPC, "Catalogue des structures types de chaussées neuves," 1998.
- [17] D. Merrill, M. Nunn, and I. Carswell, "A guide to the use and specification of cold recycled materials for the maintenance of road pavements: TRL Report TRL 611," Department of Transport, London TRL 611, 2004.

Thermische Reinigung von teerhaltigem Straßenaufbruch

Dipl.-Ing. David Heijkoop

Recycling Combinatie REKO B.V., Direktor
Vondelingenplaat 17, 3196 KL Rotterdam, Niederlande
Tel.: +31 10 4724080, E-Mail: david.heijkoop@rekobv.eu

Über das Unternehmen REKO

Recycling Combinatie REKO B.V. (Reko) ist ein Unternehmen in die Niederlande mit etwa 120 Mitarbeiter und hat das Unternehmungsziel um von einem mineralischen Abfall wieder neue Rohstoffe zu gewinnen (auch „Urban Mining“ genannt) oder „von Abfall bis neue Rohstoffe“.

Um dieses Ziel „von Abfall bis Rohstoffe“ zu erreichen ist in Rotterdam (NL) ein Recyclingstandort entwickelt. Dieser Standort (etwa 28 Hektar) liegt an den zwei größten Flüssen in die Niederlande und hat einen Kai mit einer Länge von 530 Meter. Dadurch können sowohl Seeschiffe als auch Binnenschiffe den Standort gut erreichen. Aufgrund dieses großes Kais ist die Recyclinganlage aus Länder wie Deutschland, Österreich, Frankreich, Belgien, Dänemark und England über Fluss oder Meer gut erreichbar.



Abbildung 1: Recycling Standort im Hafen von Rotterdam

Teerhaltigem Asphalt Granulat (TAG) Reinigung

In den Niederlanden kommt bei der Rekonstruktion des Straßenverkehrsnetzes etwa 1,1 Millionen Tonnen teerhaltige Straßenaufbruch frei. Bis 2001 wird diese teer-/pechhaltiger Straßenaufbruch hauptsächlich als ein gebundene Tragschicht (mit Zement) im Straßenbau wieder verwendet. Das Problem um teerhaltigen Straßenaufbruch wieder einzubauen ist das die krebserzeugenden Schadstoffe des Teers verbleiben im Materialkreislauf. Am Ende des Lebensdauer von einer Autobahn kommt das teerhaltige Material wieder frei. Das heißt, nach etwa 15 bis 20 Jahre (nach Ende des Lebensdauer einer Autobahn) kommt das Material wieder frei und verursacht wieder ökologische Risiken und Risiken für die öffentliche Gesundheit. Und die kontaminierten Mengen sind dann sogar mit etwa 15 Prozent gestiegen, weil normalerweise Zement zugegeben wird mit einbauen von das teerhaltige Straßenaufbruch und mehr ausgegraben wird, um sicher zu sein, dass alles was in der Vergangenheit wieder eingebaut war weggenommen wird.

Auf dieser Grund hat die niederländische Regierung gesagt das teerhaltigen Asphalt definitiv aus „der Kette“ genommen werden musste. Weil in den Niederlanden eine Deponieverbot ist für mineralische Abfällen war ab 2001 thermische Reinigung (in einer Anlage wobei die Kohlenteerpech verbrennt wird) die einzige Verwertungsmöglichkeit für teerhaltigen Straßenaufbruch.

Infolge dieser klaren politischen Änderung durch die niederländische Regierung haben verschiedene Unternehmen in den Niederlanden ein Reinigungsanlage entwickelt. Auch in Rotterdam ist in 2006 ein spezielles für teerhaltigen Straßenaufbruch entwickelte thermische Reinigungsanlage in Betrieb genommen. In diese Anlage wird das teer verbrennt und bleibt der mineralische Anteil (Sand/Kies/Füller). Nach der Reinigung werden diese hochwertige Sekundärbaustoffe verwendet als Rohstoff in Asphalt- oder Betonmischwerken (100 % Recycling). Die bei der Verbrennung freiwerdende Wärme wird mit einem Dampfkessel und Turbine umgesetzt in Strom.

Holländische Situation

Die Niederlande hat eine besondere geologische Situation und Urbanisation. Es gibt kein natürliches Gestein im Niederländischen Boden. Ein Drittel von den Niederlanden ist ein Polder (unter dem Meeresspiegel) und hat ein Torf/Schlamm Boden wo man kein Sand und Kies gewinnen kann. Nur im Osten der Niederlande befindet sich eine geringe Menge Sand/Kies im Boden aber wegen der hohen Bevölkerungsdichte gibt es in diese Region nur bedingt Möglichkeiten um Sand oder Kies zu gewinnen. Durch das gegeben das in die Niederlande keine Rohstoffe im Boden gibt und auch wenig Möglichkeiten gibt um diese zu gewinnen, ist den Niederlanden gezwungen, jedes Jahr, etwa 25 Millionen Tonnen Primärrohstoffe,

wie Sand und Kies, zu importieren. Der Sand und Kies kommt aus Deutschland, Belgien, Norwegen und Irland. Die Gewinnung von Primärrohstoffen verursacht jedoch Schäden an Natur und Umwelt und wird in der Zukunft zu einem Mangel an Primärbaustoffen zur Folge haben. Wegen dieser besonderen Situation hat die Regierungspolitik in den Niederlanden Recycling von mineralische Abfälle höchste Priorität gegeben. Dies hat zum Beispiel resultiert zu einem Deponieverbot für mineralischen Abfällen und Vorschriften für die Verwendung von Sekundärprodukten ohne Probleme für die Umwelt. Die Regierungspolitik in den Niederlanden ist somit auch darauf ausgerichtet, so viel wie möglich vergleichbare Recyclingbaustoffen aus mineralischen Abfällen zu verwenden. Besonders in den Niederlanden werden daher seit viele Jahren (ab 1990) mineralische Abfälle zu neuem RC-Granulat recycelt. Zum Beispiel wird im Straßenbau normalerweise für Trag- oder Frostschticht immer sekundär Granulat und kein Naturstein verwendet. Im Moment wird in den Niederlanden etwa 99 Prozent aller Abbruchabfälle recycelt.

Allgemeine Reinigungsprinzip von eine thermische Reinigungsanlage

Das teerhaltige Asphalt wird zunächst in die richtige Größe gebrochen. Danach wird er in einem Ofen gereinigt. Bei einer Temperatur von ca. 850 bis 1.000 Grad Celsius verbrennen die organischen Verunreinigungen; neben PAK auch Öl, PCB und Aromaten.

Das übrig bleibende mineralische Material (Öko-Sand und das übrig bleibende Öko-Granulat) werden in einer Kühler abgekühlt, in der richtigen Größe gesiebt und sind dann geeignet für die Verarbeitung in neuem Asphalt oder Beton. Die sehr heiße Rauchgase werden anschließend durch einen Abgaskessel geleitet, wo sie sich abkühlen. In diesem Kessel wird Dampf produziert. Dieser Dampf wird durch eine Dampfturbine geleitet der einen Generator zur Stromproduktion antreibt. Dieser Generator produziert etwa 5 MW Strom in einer Stunde. Genügend Strom, um etwa 9.000 Familien mit Strom zu versorgen.

Nach dem Abkühlen der Rauchgase werden diese Rauchgase entstaubt durch zwei hintereinander geschaltete Gewebefiltern. In diesen Filtern wird der Staub abgetrennt und in einem Silo gelagert. Dieses Staub (auch Öko-Füllstoffe genannt) wird geliefert an der Beton- oder Asphaltindustrie. Nach diesen Entstaubungsfiltern werden die Rauchgase durch eine katalytische DeNO_x-Anlage geleitet. Das Stickstoffoxid in den Rauchgase wird mittels dieser Anlage in unschädlichen Stickstoff und Sauerstoff umgewandelt.

Nach dieser DeNO_x Anlage werden den Rauchgase in einem DeSO_x Anlage (Gaswäscher) behandelt, weil den Rauchgase schwer belastet sind mit Schwefeloxid. Diese Schwefeloxid entsteht durch die Verbrennung von

Schwefel was in hoher Konzentration vorhanden ist in Teer. Durch Waschen der Gase mit Wasser, in dem sich Kalk löst, wandelt sich Schwefeloxid, über eine chemische Reaktion, in Gips. Dieser Gips wird in einer Presse von der vorhandenen Feuchtigkeit befreit, wonach sich

dieser für hochwertige Anwendungen in verschiedenen Bauprodukten eignet.

Aus dem Schornstein wird dann nur noch Wasserdampf in die Luft geblasen und es bleibe keinerlei Abfälle mehr übrig. Einhundert Prozent Recycling.

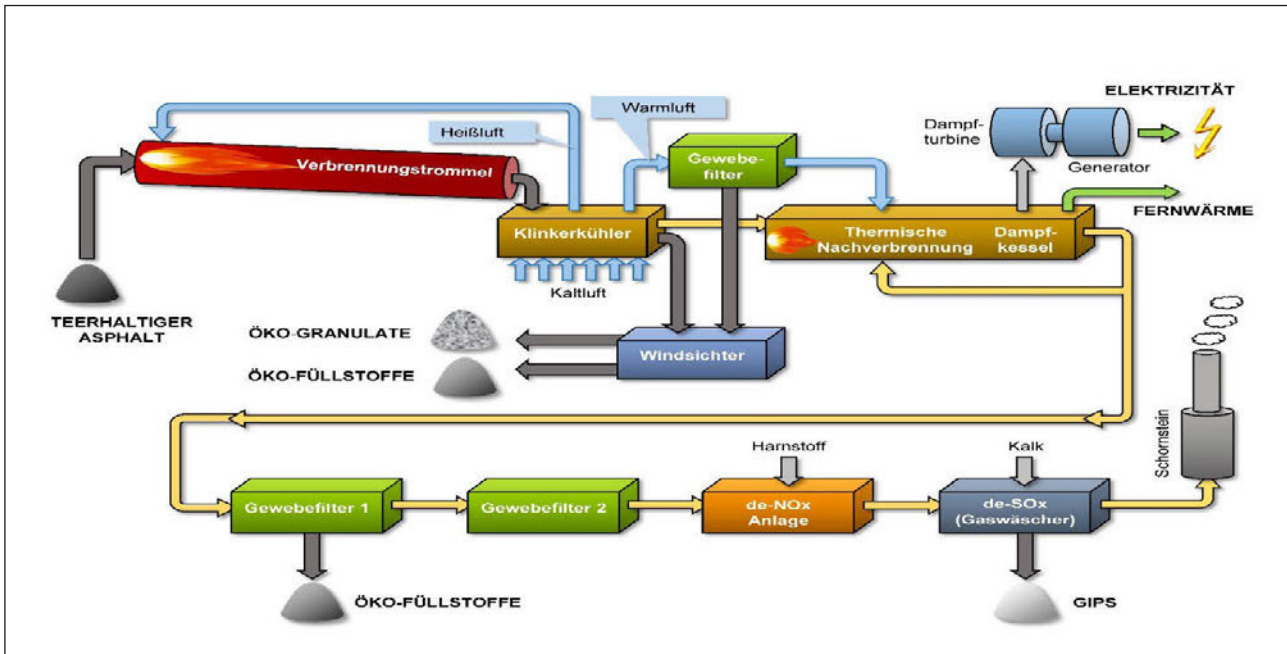


Abbildung 2: Prinzip der thermische Reinigung

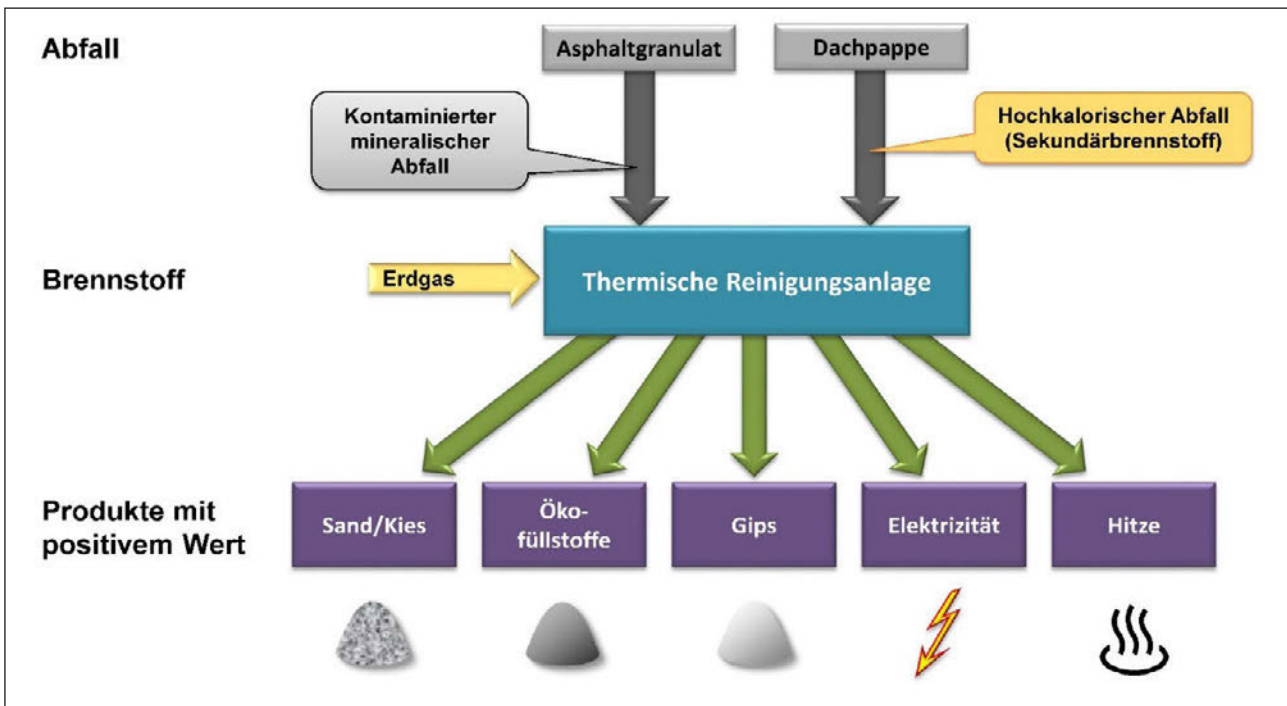


Abbildung 3: Flussdiagramm der thermische Reinigung

Weitere Entwicklung von thermischer Reinigung in Europa

Weil es in den Niederlanden immer noch große Nachfrage gibt nach Sand und Kies für die Bauwirtschaft ist in Rotterdam ab 2012 angefangen zu untersuchen ob es Möglichkeiten gibt teerhaltige Asphalt aus dem Ausland zu importieren für thermische Reinigung, wobei neue Rohstoffe aus Abfälle gewonnen werden können. Nach einer Untersuchung konnte man feststellen das auch im Ausland (Deutschland, Belgien, Frankreich, Österreich, Die Schweiz) viel teerhaltigen Straßenaufbruch gibt. (Deutschland etwa 4 mio ton pro Jahr). Für den Größten Teil wird das Material meistens auf Deponien transportiert.

Wenn die Anlage in Rotterdam das teerhaltigen Straßenaufbruch importiert, wird im Ausland Deponieraum verschont und braucht man für die Niederländische Bauindustrie weniger Sand oder Kies ab zu graben und wird Natursteingrube langsamer abgebaut.



Abbildung 4: Lineare und Zirkulare Recycling

Seit 2018 ist die Markt für die thermische Reinigung von teerhaltigen Straßenaufbruch so groß das man auf die Anlage in Rotterdam angefangen hat mit dem Bau von ein zweiter thermischen Reinigungsanlage mit einem Investitionsvolumen von etwa 125 Millionen Euro. Diese neue Anlage wird die „Reko II“ Anlage genannt und ist in September 2020 in Betrieb genommen.

Mit dieser neue Anlage ist es möglich sehr effizient teerhaltigen Straßenaufbruch zu reinigen und in neue Rohstoffe um zu setzen mit einer Energieeffizienz von 400 %. Das meinst das neben diese neue Rohstoffe 400 % mehr Energie erhalten wird dann was am Gas in diese Anlage eingeführt ist. Mit dieser neue Anlage kann man in Rotterdam daher sehr effizient neue Rohstoffe und Energie produzieren für ein “Circular Economy“.



Abbildung 5: Neue Reinigungsanlage (REKO II)



BIM in der Ausführung

BIM im kommunalen Verkehrswege- und Tiefbau (BIM K-VTB)

Rainer Schrode

MTS Schrode AG, 72534 Hayingen, Deutschland

Zusammenfassung

„Ich weiß nicht, ob es besser wird, wenn es anders wird. Aber es muss anders werden, wenn es besser werden soll.“ Georg Christoph Lichtenberg

Ob und wie modellbasiertes Bauen (BIM) unter realen Einsatzbedingungen im Tiefbau funktionieren kann, war die Ausgangsfrage, die die MTS Schrode AG dazu veranlasste, Deutschlands erste Modellbaustelle für „BIM im kommunalen Verkehrswege und Tiefbau (K-VTB)“ im Schwäbischen Erbstetten zu installieren. Zentraler Leitgedanke dabei war es, Bauunternehmer, Auftraggeber und Planer, aber auch die Gremien und Institutionen an einen Tisch zu bringen, um bereits umsetzbare Möglichkeiten auszuloten und nötige Vorgaben für die Zukunft modellbasierten Bauens gemeinsam zu definieren. Um die gewonnenen Erkenntnisse einem breiten Fachpublikum vorzustellen, installierte MTS im Folgejahr einen aufwändig gestalteten BIM-Parcours auf dem firmeneigenen Demonstrationsgelände. Rund 300 geladene Führungs- und Fachkräfte sowie Planer und Auftraggebervertreter rotierten in moderierten Kleingruppen entlang der insgesamt 13 Parcours-Stationen, die das ‚Big Picture‘ der BIM-Idee auf seine wichtigsten Puzzlesteine runterbrachen. Die im Rahmen dieser beiden Projekte erworbenen Erkenntnisse und Erfahrung sind zentraler Inhalt dieses Fachbeitrags.

1. Einführung

1.1 Wofür steht BIM?

BIM ist aller Munde, doch nach wie vor wissen viele nicht, welche Leitidee mit den drei Buchstaben verbunden sind. Ausgeschrieben steht das Kürzel BIM für ‚Building Information Modeling‘, was sich am einfachsten mit ‚modellbasiertem Bauen‘ übersetzen lässt.

In der Umsetzung bedeutet das: Das zu erstellende Bauwerk wird erst digital in 3D (dreidimensional, sprich in Lage und Höhe) geplant und virtuell im Maßstab 1:1 errichtet und erst dann real. Der Vorteil: Gebaut wird nicht nach einer vage definierten Vorstellung des Bauherren, sondern nach einem gemeinsam entwickelten und getesteten Modell, auf das alle gleichermaßen Zugriff haben. So ergibt sich schon bei der Planung eine Kollisionsprüfung und Fehler können bereits vor dem Bau korrigiert werden. Darüber hinaus umfasst BIM den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks. Sprich: Bauunternehmer und Planer liefern dem Bauherrn nicht mehr nur ein Bauwerk, sondern auch sämtliche Informationen, die für Bewirtschaftung und/oder Rückbau desselben notwendig sind. Damit bringt BIM auf der einen Seite zwar einen zusätzlichen Aufwand für die Planung mit sich, im Rückkehrschluss aber auch eine enorme Prozess- und Kostensicherheit für die Bauherren.

1.2 Wie weit ist die Umsetzung gediehen?

Die Realität der Bauwirtschaft ist von diesem Ziel noch weit entfernt, denn hier wird nach wie vor nicht leistungs- sondern nachtragsorientiert gearbeitet. Sprich: Der Bauunternehmer muss durch mangelnde Planung verursachte Verluste über ein Nachtragsmanagement ausgleichen und der Auftraggeber die „Zeche“ dafür zahlen (im Schnitt rund 60 Prozent Mehrkosten). Und bei kommunalen Projekten wie dem Berliner Flughafen zahlt dann letztlich der Steuerzahler das drauf, was im Zuge einer ordnungsgemäßen Planung hätte verhindert werden können.

Kein Wunder also, dass sich viele Bauunternehmer und Auftraggeber vorm Umsatteln scheuen – auch aus Liebe zur Gewohnheit und aus Angst vor dem Aufwand, der mit jeder Veränderung verbunden ist.

Währenddessen fragen die Planer zu Recht, wer ihnen den Mehraufwand für eine modellbasierte Planung entlohnt. Denn noch gibt es für diese Honorierung keine rechtsverbindliche Regelung, obwohl der Aufwand fürs digitale Planen im Zuge des modellbasierten Bauens nicht neu entsteht, sondern einfach von der Bauausführung in die Planung verlegt wird.

Diese strukturelle Vorgabe ist einer der maßgeblichen Gründe, weshalb der Tiefbau dem Hochbau beim Thema BIM so sehr hinterher hinkt. Denn im Gegensatz zum Hochbau wird der Tiefbau von Auftraggeberseite voran-

getrieben, da die Bauherren hier meist privat sind und sich den finanziellen Vorteil modellbasierten Bauens so ins eigene Portemonnaie wirtschaften können.

Expertenzirkel konnten diese Zusammenhänge bislang allenfalls thematisieren. Verändern lassen sie sich nur durch konkrete Pilot-Projekte wie die hier beschriebene Modellbaustelle: Denn nur diese zeigen auf, wie und unter welchen Voraussetzungen sich BIM schon heute konkret umsetzen lässt – nicht auf der grünen Wiese, sondern auf realen Modellbaustellen.

2. Das Projekt “Modellbaustelle”



2.1 Vorgeschichte und Profil

Die Suche nach einer geeigneten Modellbaustelle verlief beschwerlich. MTS-Vorstandsvorsitzender Rainer Schrode fragte zunächst beim Bund an, erhielt hier jedoch nur Hinweise auf Brücken- und Tunnelprojekte, die mit den Belangen kommunalen Verkehrswege- und Tiefbaus nichts zu tun haben. So wandte er sich mit seinem Gesuch an Bürgermeister und Planer und stieß auf viele offene Ohren. Die Ausschreibung scheiterte trotz Kosten- und Terminvorteil jedoch immer wieder an dem Vorwurf der Wettbewerbsverzerrung; man würde Bieter ausschließen, die nicht in der Lage waren, so eine Ausschreibung und Ausführung umzusetzen.

Nach über dreijähriger Suche hatte Schrode Anfang schließlich alles beisammen, was er brauchte: Eine Baustelle mit genügend komplexen Anforderungen, um BIM auf Herz und Nieren zu prüfen (bei der Sanierung sollten alle Kanäle und Straßen im Bestand komplett erneuert werden). Im Rücken sein eigenes Tiefbauunternehmen, das alle technischen und fachlichen Voraussetzungen für die 3D-Bauausführung erfüllt. Dazu ein Planungsbüro,

das motiviert und in der Lage war, im Vorfeld eine akribische 3D-Planung umzusetzen. Und eine Stadt, die den Vorteil der Prozess- und Kostensicherheit für sich erkannte.

Das Modellprojekt: Die Sanierung einer Ortsdurchfahrt im Schwäbischen Erbstetten mit einer Bausumme von ca. 2 Millionen Euro. Ein komplexes Bauvorhaben, bei dem es galt, mitten im Bestand sämtliche Kanäle und Straßen zu erneuern. Denn nur unter solchen Realbedingungen lässt sich ernsthaft prüfen, ob und wie sich „BIM im kommunalen Verkehrswege- und Tiefbau (K-VTB) in der Praxis wirklich umsetzen lässt und welche Hürden einem auf dem Weg dorthin begegnen. Und genau diesen Fragen müssen wir uns stellen, wenn wir das Thema BIM von der Möglichkeit zur gelebten Praxis führen wollen.

In dem von MTS-Vorstandsvorsitzenden Rainer Schrode gewählten Setting konnte sich das klassischerweise auf Konfrontation ausgerichtete Zusammenspiel der am Bauprozess beteiligten Parteien zu einer sehr partnerschaftlichen Zusammenarbeit wandeln, die trotz aller Beschwerlichkeiten in der Startphase bis zum Ende der Maßnahme für eine große Zufriedenheit auf allen Seiten sorgte.

2.2 Die Idee



Im Prinzip ging es MTS darum, auf dieser Modellbaustelle etwas an einem konkreten Beispiel umzusetzen, worüber andernorts in Expertenkreisen sehr abgehoben von der Praxis debattiert wird. Um die gemachten Erfahrungen in die Öffentlichkeit zu tragen und zur Diskussion zu stellen, lud MTS Vertreter aller am Bau-prozess Beteiligten zu einer Exkursion, deren Stationen im Folgenden beschrieben werden.

2.3 Die Stationen



Zum Auftakt der Exkursion hatte MTS im Rahmen einer Live-Demonstration innovativer Tiefbautechnologie gemeinsam mit dem KI-Experten Robin Popelka den thematischen Bogen von der Kanalerstellung nach 3D bis hin zu den Perspektiven einer Flächendeckenden Verdichtungskontrolle (FDVK) geschlagen.



Weiter ging es mit dem CAD-Experten Andreas Ragg und Bereichsleiterin Ulrike Nohlen zu einer multimedial begleiteten Einführung ins Thema 3D-Planung und Datenaufbereitung nach BIM-Vorgaben. An der nächsten Station demonstrierten Baggerfahrer Mustafa Durgan und Stefan Vezonik sowie Anwendungsingenieur Kevin Rau den Teilnehmern auf der Live-Baustelle das Arbeiten nach Digitalem Geländemodell (DGM) am Beispiel der Herstellung eines Erdplanums.



Wie sich gemäß BIM dokumentieren und ein Aufmaß erstellen lässt, erklärten Polier Manfred Vöhringer und Bauleiter Michael Reichenecker anhand des BIM-Abwicklungsplans (BAP) den Exkursionsgästen an der nächsten Station im Baucontainer. Sie diskutierten mit den Teilnehmern auch, welche Veränderungen sich im Zuge von BIM für die Mengenermittlung und Abrechnung ergeben.



Der BIM-gemäßen Absteckung von Randeinfassungen und dem Aufnehmen von Leitungen und Schächten (As-Built) widmeten sich anschließend Bauleiter Gerd Reimold und Polier Josia Wald. Bestückt mit Rover und ToughPad-Display erhielten die Exkursionsgäste parallel dazu die praktische Einweisung in die konkrete Umsetzung.



Über die Perspektiven für Gerätemanagement informierten schließlich Produktmanager Dr. Gerhard Lörcher und Diplom-Geografin Ruth Bantle anhand anschaulicher Praxisbeispiele rund um die smarte Erfassung von Geräten und Kosten



Den Schlusspunkt der Exkursion setzten Josef Missel und Andreas Falch über das Thema gemeinsame Datenablage anhand NextCloud mit einer Präsentation von technischen Voraussetzungen und Möglichkeiten.



2.4 Teilnehmer-Statements

Dipl.-Ing. Dirk Münzner

Geschäftsführender Gesellschafter, BIM-Cluster BW

„Wir beobachten bereits heute einen starken Anstieg der Nachfrage nach Planungsleistungen mit BIM. Innerhalb der Baubranche bauen viele Firmen Kapazitäten und Knowhow auf, um diese Planungen dann auch umsetzen zu können.“

Hartmut Gündra

Clustermanager, GeoNet.MRN e.V. Heidelberg

„Die Baubranche scheint mir in vielen Fällen deutlich besser vorbereitet zu sein, als die Verwaltung und die Planer. Wenn es darum geht, Prozessketten zu digitalisieren, müssen alle Beteiligten an einem Strang ziehen. Hier liegt noch ein langer Digitalisierungsweg vor uns.“

Andreas Erwerle Stadtbaumeister, Stadt Ehingen

„Noch arbeiten die meisten Planungsbüros konventionell. Verständlich. Denn der im Zuge von BIM in die Planung vorverlegte Aufwand ist über die HOAI bislang nicht abgebildet. Sprich: Öffentliche Auftraggeber fordern eine hochwertige Planung, deren Honorierung vergaberechtlich noch nicht geregelt ist.“

Jürgen Weber

Sachgebietsleitung Tiefbau, Stadt Münsingen

„Wann soll ich meinen Zaun flicken, wenn ich die ganze Zeit meine Hühner einfangen muss? Der Fachkräftemangel in der Baubranche zwingt uns zum effizienten Einsatz moderner Technologien, auch wenn uns scheinbar die Zeit hierfür fehlt.“

Dr. Stefan Engelhard

Bereichsleiter Innovation/Umwelt, IHK Reutlingen

„Gespräche mit der öffentlichen Auftraggeberseite, auf der Modellbaustelle und auch davor, zeigen mir, dass die Potenziale zunehmend erkannt werden, die BIM mit sich bringt. Bis BIM allerdings auch von der letzten Kommune tatsächlich in einer zielführenden Form umgesetzt werden wird, ist sicher noch ein langer Weg zu gehen.“

2.5 Zwischenresümee



Es ist höchste Zeit, virtuelle BIM-Denkgebäude auf ihre Umsetzbarkeit im Bestand zu prüfen und auch der Politik gegenüber aufzuzeigen, wo es noch klemmt.

So stellte sich beispielsweise heraus, dass die HOAI (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure) an BIM angepasst werden sollte, da hier aktuell noch keinerlei Honorierung des deutlich erhöhten Planungsaufwands von modellbasierten Bauen vorgesehen ist. Dabei entsteht der Aufwand nicht neu, sondern wird einfach in die Planung vorverlegt.

Auch müssen die zuständige Rechnungsprüfungstellen mit ins Boot genommen werden. Digital in 3D prüfen ist viel einfacher, jedoch fehlt es oftmals an den notwendigen technischen Voraussetzungen und das Personal ist nicht ausreichend geschult. Die Forderung derzeit lautet daher: Digital in 3D zu planen, zu bauen und abzurechnen und keinesfalls für die Abrechnung analog in nicht georeferenzierten Papierplänen und Aufmaßzetteln zu arbeiten. Denn das würden dem BIM-Grundgedanken widersprechen und einen völlig unnötigen Aufwand mit sich bringen.

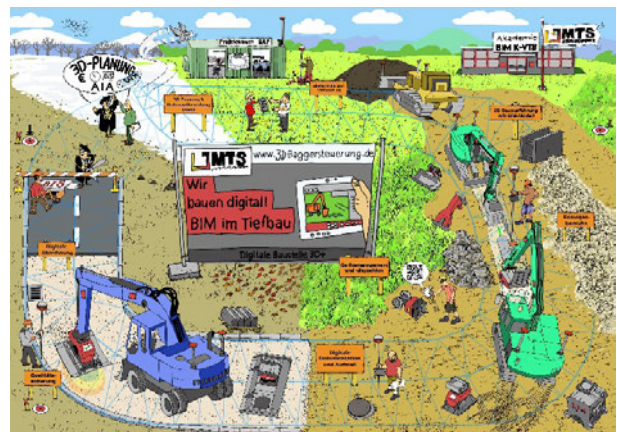
Im Prinzip geht es also eigentlich vor allem darum, alle am Bauprozess Beteiligten an einen gemeinsamen Tisch zu bekommen. Denn Zukunft lässt sich – auch im kommunalen Verkehrswege- und Tiefbau – nur gemeinsam gestalten.

3. Das Projekt “BIM-Parcours”



Um die auf der Modellbaustelle gewonnenen Erfahrungen umzusetzen und einem breiten Fachpublikum zugänglich zu machen, entschied MTS sich zur Installation einer Leistungsschau mit BIM-Parcours auf dem Demonstrationsgelände des Hauptstandorts im Schwäbischen Hayingen.

3.1 Die Idee



Wie jede Veränderung erfordert auch die Digitalisierung ein Umdenken, das auf Ängste, Vorbehalte und Widerstände stößt, die man nur auflösen kann, indem man jeden Einzelnen genau hier abholt. Digitalisierung fängt immer im Kopf an und der wichtigste Schlüssel für ihre erfolgreiche Umsetzung ist die persönliche Begeisterung aller am Bauprozess Beteiligten. Darum ist es so entscheidend, dass jeder aus dem Big Picture ein eigenes Bild macht.

Zentraler Leitgedanke der Idee zum BIM-Parcours war es darum, das auf der Modellbaustelle bereits erprobte ‚Big Picture‘ der BIM-Idee auf seine wichtigsten Puzzlesteine runterzubrechen, verständlich und praxisnah mit Leben zu füllen und für jeden Teilnehmer greifbar zu machen. Die in moderierte Kleingruppen unterteilten Fach- und Führungskräfte rotierten dafür im 20-Minuten-Takt über den BIM-Parcours und erhielten an den insgesamt

13 Stationen ausführlich Gelegenheit, sich ihr eigenes Bild zu machen.

3.2 Der Parcours im Überblick



Angefangen wurde bei der Planung und den Auftraggeber-Informationen-Anforderungen (AIA), im Rahmen derer Auftraggeber, Bauunternehmer und Planer gemeinsam definieren, was sie für die Planung, den Bau und die Unterhaltung des Bauwerks konkret benötigen und in welcher Tiefe die Informationen für die jeweiligen Anwendungsfälle abzubilden sind. Eine Art gemeinsam erstelltes Lastenheft also.

Der Parcours führte weiter vorbei am gemeinsamen Projekttraum und dem Bauabwicklungsplan (BAP). Dieser legt fest, wie genau was genau wann genau auf welcher Grundlage umzusetzen und zu dokumentieren ist. Denn beim modellbasierten Bauen gelte es, eine im Laufe des Projektgeschehens immer größer werdende Menge an Informationen zu sammeln, zu verwalten und allen Prozessbeteiligten in zielführender Weise zugänglich zu machen. Bei der Umsetzung und der Unterhaltung wird dabei zwischen dem BIM-Autor und dem BIM-User unterschieden. So beispielsweise beim Geräteführer, der beim Aufnehmen von Homogenbereichen oder Infrastrukturleitungen mit seinem Löffel zum BIM-Autor wird.

Beim profilgerechten Einbau entlang der Oberflächenkonturen des virtuellen Bauwerkmodells wird er dann jedoch wieder zum BIM-Nutzer. Ebenso wie der Auftragnehmer, der am Ende der Prozesskette das fertige Bauwerk nicht mehr komplett neu aufmessen muss, sondern das Ausführungsmodell als Grundlage für seine Abrechnung nutzen kann und wenn dann nur noch einzelne Lagen und Höhen prüfen muss (As-Built).

Die Beispiele lassen sich beliebig fortsetzen: So kann der Geräteführer auch bei der Qualitätssicherung zum BIM-Autor werden, wenn er über das sauber aufeinander abgestimmte Zusammenspiel aus 3D-Baggersteuerung und Anbauverdichter während des Verdichtungsprozesses automatisch Verdichtungsgrad und Tragfähigkeit misst und dokumentiert.

Der letzte BIM-Nutzer in diesem Zirkel ist der Auftraggeber, der im Ergebnis nicht mehr nur wie bisher ein Stück Straße oder Infrastruktur erhält, sondern auch ein Bauwerksmodell mit sämtlichen Informationen, also echtes „Datengold“ für den folgenden Zirkel der Bewirtschaftung und Unterhaltung (Asset-Phase) des Bauwerks.

Um allen Prozessbeteiligten den mit dem Leistungsschau-Parcours veranschaulichten Weg zu ebnen, entwickelte MTS eine bislang einmalige und in ihrem Grundmodul ‚BIM Basic‘ durch buildingSMART/VDI zertifizierte Weiterbildung zum ‚BIM-Baustellen-Manager für kommunalen Verkehrswege- und Tiefbau‘, die an der letzten Station vorgestellt wurde.

Die darauf aufbauende nebenberufliche Qualifizierungsmaßnahme ‚BIM Professional‘ vermittelt ihren Teilnehmern im Rahmen von 10 Monaten das nötige Expertenwissen, um BIM-Prozesse zu verstehen und im eigenen Unternehmen erfolgreich anleiten und umsetzen zu können.

3.3 Die Stationen im Detail

3.3.1 Digitale Planung & Datenaufbereitung



Herzstück der ersten Station war eine von Buchautor Markus Becker lebendig moderierte Podiumsdiskussion, an der Vertreter aller Prozessbeteiligten teilnahmen. Sein Leitgedanke war das Miteinander im Bau: „Ein Team ist keine Gruppe, die zusammenarbeitet, sondern eine Gruppe, die einander vertraut. Wenn wir über bestehende Vorurteile nicht hinwegkommen, brauchen wir über BIM nicht zu reden macht dann keinen Sinn.“

Zu Gast waren der Hayingener Bürgermeister Kevin Dorner, der MTS-Software-Entwickler Dr. Alexander Beetz, Marco Herberger vom Ingenieurbüro Eisele sowie CAD-Spezialist Andreas Ragg, die gemeinsam die zweite Modellbaustelle für kommunalen Verkehrswege- und Tiefbau ins Leben gerufen hatten und über Ihre Erfahrungen in der neuen Form von Zusammenarbeit berichteten.

3.3.2 Projektraum und BAP



Der Projektraum entspricht dem klassischen Besprechungsraum auf der Baustelle und dient als **Schnittstelle** für den Austausch aller am Bauprozess Beteiligten. Ein gemeinsam erarbeiteter **BIM-Abwicklungs-Plan (BAP)** dient als strukturierende Vorlage für alle das Bauvorhaben betreffenden Kommunikationsprozesse.

Ein Beispiel dafür ist die gemeinsame Festlegung des Datenworkflows: Dabei wird die konventionelle Datenablage in eigenen lokalen Ordnersystemen durch eine gemeinsame Ablagestruktur in einer Cloud-Lösung abgelöst. Hier können dann beispielsweise Planer ihre Digitalen Geländemodelle ablegen, Geräteführer die Daten für ihre Maschinensteuerung abholen, Poliere ihre Aufmaße hochladen. **Sämtliche Daten stehen jederzeit aktuell und mit allen relevanten Informationen zur Einsicht wie zur weiteren Bearbeitung zur Verfügung.** Die meisten Teilnehmer waren überrascht, wie flüssig der so definierte Datenworkflow schon heute funktionieren kann und welche Möglichkeiten er beinhaltet: Beispielsweise beim Verschneiden von DGMs oder bei der Weiterverarbeitung von Aufmaßen.

3.3.3 Modellbasierter Grabenaushub, Homogenbereiche, Dokumentation

Diese Station erklärte die digitale Bauausführung am Beispiel des Themas Rohrverlegung und Homogenbereiche im BIM-Kontext. Gestartet wurde mit einem modellbasiertem Grabenaushub, bei dem das Modell vom Graben im Bagger-Display als 3D-Linie für den Kanal hinterlegt ist. Die Besonderheit von BIM im Tiefbau ist, dass man dabei nicht einfach planabgeleitet, sondern aktiv mit dem Modell arbeitet. Der Geräteführer ist also nicht mehr nur ‚BIM-User‘, sondern auch ‚BIM-AUTOR‘, wenn er beispielsweise unvorhergesehene Dinge wie eine querende Leitung mit seiner Löffelspitze einmisst und aufnimmt. Sprich: Er nutzt nicht nur Daten, sondern erzeugt selber welche und ergänzt sie im Modell.



Sehr anschaulich wird das beispielsweise bei der Aufnahme von Homogenbereichen: Homogenbereiche können im ersten Schritt immer nur eine Annahme darstellen, denn der Baugrundachter hat nur einzelne Bohrpunkte oder Schurfgruben und muss daraus seine Annahmen interpolieren. Die vollständige Baugrundmodellierung lässt sich also erst dann fertigstellen, wenn die Baumaßnahme abgeschlossen ist und der Baggerfahrer die tatsächlichen Homogenbereiche baubegleitend aufgenommen und dokumentiert hat. Seine Dokumentation wird dann die Grundlage für die Abrechnung, die der Bauunternehmer stellen möchte, aber vor allem auch für die spätere Dokumentation, den weiteren Baufortschritt und spätere Bauvorhaben des Auftraggebers. Sprich: Alle am Bauprozess Beteiligten profitieren davon.



Nachdem der Graben ausgehoben und die Homogenbereiche dokumentiert wurden, kann der Geräteführer seine Rohre verlegen. Auf dem BIM-Parcours demonstriert MTS wie diese Arbeit teilautomatisiert erfolgen kann: Ein Rohrschiebeadapter schiebt die Rohre mit begrenzter und einstellbarer Kraft zusammen. Nachdem dem händischen Verdichten des Rohrzwickels erledigt der Geräteführer mittels Universalverdichter die abschließende Verdichtung der Leitungszone.

Viele Teilnehmer interessierte, wie der Geräteführer damit zurechtkommt, plötzlich für so viele Dinge Verantwortung zu tragen. Dieser bewertete den Einsatz der neuen Technologien als deutliche Arbeitserleichterung, da

er auf seinem Display immer sämtliche Informationen im Blick hat, nicht mehr auf einen Mann im Graben achten muss und auch flüssig durcharbeiten kann, weil er nicht mehr warten müsse, bis der Vermesser kommt.

Letztlich unterliegt die jeweilige Antwort auf diese Frage aber sicher einem Generationsfrage: Wobei anzumerken ist, dass die Affinität zu digitalen Technologien immer höher wird und aus Sicht des Nachwuchses den Arbeitsplatz in der Regel maßgeblich aufwertet.

3.3.4 Profilgerechter Bodeneinbau und Bodenbehandlung



Verschwendung beginnt dort, wo gutes Bodenmaterial abtransportiert und ersetzt, statt an Ort und Stelle aufbereitet wird – das gilt insbesondere für Kanal- und Rohrleitungsbaustellen. Entsprechend rentabel sind **moderne Bodenaufbereitungsverfahren**, die mit den geltenden Richtlinien für den Erd- und Straßenbau (ZTVE-StB) im Einklang stehen – zumal der Austausch von Böden ohnehin dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz widerspricht.

Da der Wiedereinbau anstehender Böden in der Regel jedoch an mangelnder Verdichtbarkeit, nicht ausreichender Tragfähigkeit oder zu großen Steineinlagerungen scheitert, gilt es, diese Eigenschaften über bodenaufbereitende Maßnahmen zu optimieren. Im Vordergrund stehen dabei die Reduktion des Wassergehalts und die Strukturverbesserung des Bodens. Das zu diesem Zweck entwickelte effiziente wie kosten- und ressourcenschonende e.p.m-Verfahren wurde an dieser Station vorgestellt.

Es arbeitet in erster Linie mit einem bodenspezifischen Bindemittel, das direkt auf der Baustelle in Großsilos oder Big Bags bevorratet, über einen Bindemittelstreuer dosiert auf den Aushub ausgebracht, mittels Boden-Recycler mit dem anstehenden Boden homogenisiert wird, dann zerkleinert oder ausgesiebt und im gleichen Arbeitsgang wieder in den Graben eingebaut wird. Den sekundenschnellen Wechsel der Anbaugeräte direkt vom Bagger aus erlaubt ein vollhydraulisches Schnellwechselsystem.

Im Zusammenspiel mit der 3D-Baggersteuerung ergeben sich zusätzliche Möglichkeiten, Effizienz und Wirtschaftlichkeit zu steigern: Zum **einen lässt sich der Einbau der korrekten Schüttlagen mittels Schüttlagenassistent über das Display kontrollieren und zum späteren Nachweis digital dokumentieren.**

Zum anderen erlaubt das Ausführungsmodell dem Geräteführer seinen Baggerlöffel via Satellit und Neigungssensoren entlang des digitalen Geländemodells zu navigieren und den **Boden auf Antrieb profilgerecht einzubauen.** Beim Abgleich der jeweils aktuellen Soll- und Ist-Position des Baggerlöffels liefert das Gerät präzise Führungsvorgaben und spart so baubegleitende Vermessungsarbeiten sowie zeit- und kosten intensive Nachprofilierungen.

3.3.5 Digitale Dokumentation und 3D-Aufmaß



Wie schnell und unkompliziert sich ohne weitere Vorkenntnisse ein einfaches Digitales Geländemodell (DGM) erstellen lässt, wurde am Beispiel der Dokumentation eines Erdplanums unter Beweis gestellt. Dafür nahm der Polier Lage- und Höhe-Punkte mittels Rover auf und erstellte mittels Mausklick eigenhändig das DGM für das zu dokumentierende Bauwerk.

Hierbei ist wichtig zu verstehen, dass nach Plan gebaut und gemäß dem BIM-Abwicklungsplan (BAP) die Qualität in 3D geprüft wird. Aufgemessen wird dann in 3D nur noch, was sich tatsächlich ändert oder was bei der Planung nicht feststellbar war.

3.3.6 Bodenverdichtung und Qualitätssicherung (Flächendeckende Verdichtungskontrolle, FDVK)

Bei dieser Station wurden bestehende und künftige Möglichkeiten der **Qualitätssicherung am Beispiel der Verdichtungstechnologie** aufgezeigt, die sich im Zuge der Implementierung hochkomplexer Sensortechnologie und Künstlicher Intelligenz ergeben.

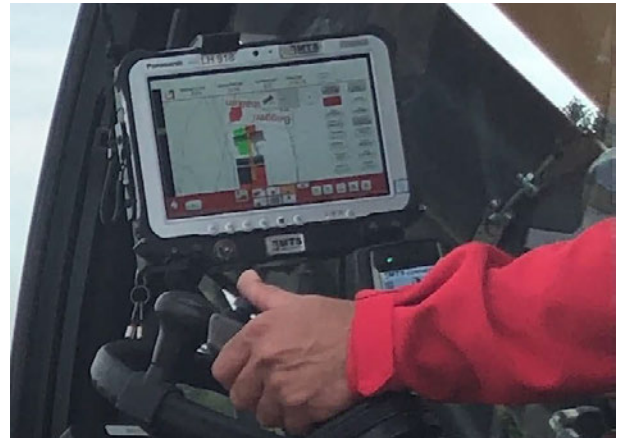


Bereits umgesetzt sind diverse **Assistenzsysteme** für den Geräteführer. Angefangen bei der **Frequenzkontrolle**, die dem Geräteführer die aktuelle Drehzahl anzeigt und ihn bei der Auswahl der richtigen Baggersteinstellungen unterstützt. Beim Andrücken des Anbauverdichters symbolisieren Pfeile im nächsten Schritt die **Auflastempfehlung** für den aktuellen Verdichtungs Vorgang. Lässt sich der Boden schließlich nicht weiter verdichten, meldet die **Verdichtungsendeanzeige** das Ende der Verdichtbarkeit und hilft, Verdichtungs Vorgänge nicht zu früh abzubrechen, aber auch nicht länger als notwendig auszudehnen.



Entsprechend der gewählten Voreinstellung (Verdichtermodell und Plattenbreite) berechnet der **Schüttlagenassistent** schließlich eine Schüttlagenempfehlung und visualisiert die Führungsvorgaben durch Pfeile. Sobald dann die optimale Schüttlage erreicht ist, kann der Geräteführer die Protokollierung des weiteren Verdichtungs Vorgangs auslösen:

Mit einem Klick auf den „Protokoll-Button“ startet der Geräteführer die Protokollierung der für **die flächendeckende Verdichtungskontrolle (FDVK)** vorgeschriebenen Parameter. Die von ihm im Zuge der Protokollierung erzeugten Ergebnisse erscheinen in Echtzeit auf seinem Display und geben ihm Aufschluss über die Qualität seiner Arbeit.



Ein weiterer Vorteil: Die von ihm erzeugten Protokoll-daten können dem Auftraggeber später als BIM-gerechter **Nachweis sorgfältigen Arbeitens** vorgelegt werden. Auch für die ferne Zukunft ist die innovative Verdichtungstechnologie bereits gerüstet: Denn schon heute angedacht, Methoden der Künstlichen Intelligenz zu implementieren, um mittels einer **Raumfüllende Verdichtungskontrolle (RFVK)** nicht mehr nur die Bodensteifigkeit, sondern auch den jeweiligen Verdichtungsgrad ermitteln zu können.

3.3.7 Gerätemanagement und -disposition



Thema dieser Station war eine herstellerunabhängige Lösung für die Verwaltung von Geräte- und Maschinenparks. Intelligentes Gerätemanagement nutzt die Vorteile moderner Smartphone- und Servertechnik zur schnellen Datenübertragung und Aktualisierung aller beteiligten Systeme.

Der Vorteil: Der Informationsfluss wird sinnvoll gelenkt, da alle Vorgänge zentral dokumentiert und von allen Beteiligten abgerufen werden können.

Dokumente zu einzelnen Geräten (Benutzerhandbücher) lassen sich bei Bedarf hinterlegen und vor Ort einsehen. Zudem erleichtert innovatives Gerätemanagement auch die Abrechnung von Baustellen sowie die Durchführung von Inventuren,

3.3.8 Ausbildung zum BIM-Baustellen-Manager (BIM-K-VTB)

Um kleine und mittlere Bauunternehmen auf die mit BIM einhergehenden Herausforderungen vorzubereiten, startete die MTS-Akademie eine neue Ausbildung zum „BIM-Baustellen-Manager für kommunalen Verkehrswege- und Tiefbau“. Das zehnmonatige Weiterbildungsangebot war Thema der letzten Station und vermittelt ausgewählten Schlüsselpersonen das für die Umsetzung und Anleitung von BIM-Prozessen nötige Knowhow im Rahmen einer berufsbegleitenden Qualifizierung. Diese richtet sich sowohl an Bauleiter und Poliere als auch an Auftraggeber und Planer.

Leitgedanke ist dabei das Neudenken des Bau-prozesses, bei dem die eingesetzte Software nur eine untergeordnete und herstellerunabhängige Rolle spielt. Entsprechend ist das Ausbildungsangebot an keinerlei Systemvoraussetzungen gebunden und setzt neben PC-Grundkenntnissen lediglich Berufserfahrungen im Tief- und Straßenbau sowie Veränderungsbereitschaft voraus

3.4 Fazit



Wer am Ende des Leistungsschau-Parcours angekommen war, verstand in der Regel zwei Dinge:

Zum einen, dass der kommunale Verkehrswege- und Tiefbau (BIM K-VTB) bereits heute „BIM-ready“ ist und zum anderen, dass BIM wenig bis gar nichts mit irgendeiner Software-Lösung zu tun hat, sondern in erster Linie eine völlig neue Form der Baukultur darstellt, bei der das Herzstück das Miteinander, die Kommunikation, der Austausch und die Transparenz zwischen allen Prozessbeteiligten ist.

Zentrale Botschaft dieses Beitrags ist demzufolge der Aufruf an jeden Einzelnen, schon heute neue Wege zu wagen. Denn der BIM-Stufenplan rückt näher und wird jeden einholen, der sich damit nicht rechtzeitig auseinandersetzt. Das gilt für alle am Bauprozess Beteiligten. Und zwar ganz abgesehen von den vielen wirtschaftlichen Vorteilen im Hinblick auf Terminalsicherheit und Effizienz wie auf die gesteigerte Attraktivität von Arbeitsplätzen.



Literaturhinweise

- [1] **BIM-Handbuch** – Empfehlungen für den digitalen Bauablauf im Tief- & Straßenbau ISBN 978-3-9820814-0-3
- [2] **Die Wahrheit liegt vor der Baggerschaufel** – Wie Infrastrukturprojekte wirklich gelingen Markus Becker & Guido Quelle ISBN: 9783752861594

Dokumentation einer Straßenbaustelle – es muss ja nicht immer BIM sein!

Stefan S. Grubinger, Matthias J. Rebhan, Simon Jimenez
recordIT GmbH, Graz, Österreich

Reinhard Hinrichs, Michael Rappold
Amt der Steiermärkischen Landesregierung, A16 Straßeninfrastruktur - Sonderprojekte, Graz, Österreich

Zusammenfassung

Um eine Entlastung der Anrainer und Autofahrer zu ermöglichen, wurden durch das Land Steiermark in den letzten Jahren eine Vielzahl an Großprojekten zur Verkehrsberuhigung gestartet und umgesetzt. Eines dieser Projekte ist die Ortsumfahrung Preding – Weiz. Diese wird in drei Teilen hergestellt wird die aktuell oberirdisch durch das Ortsgebiet von Weiz verlaufende B64 durch Nieder- und Unterflurtrassen sowie einige Tunnelabschnitte ersetzen.

Der Teil 2 besteht aus drei Niederflurtrassen und zwei Unterflurtrassen, welche in offener Bauweise errichtet werden. Neben den geotechnischen und bautechnischen Anforderungen dieses Bauabschnittes wurde ein Fokus des Landes Steiermark A16 Straßeninfrastruktur Sonderprojekte auch auf die Dokumentation des Baufortschrittes und der Bauleistung gelegt. Gemeinsam mit dem Softwareunternehmen recordIT wurde im Zuge dieses Projektes eine Pilotstudie zur Erfassung von Daten, Informationen und Bildern durchgeführt. Ziel hierbei war es, ab Baubeginn sämtliche Informationen, welche vor Ort aufgenommen und erfasst werden in einer zentralen Datenbank abzulegen und nachhaltig zu verwalten. Diese dient anschließend als Datenablage und kann zu späteren Zeitpunkten, beispielsweise bei Schadensfällen oder im Zuge einer Sanierung und Instandhaltung, erneut als Datengrundlage herangezogen werden. Neben den Möglichkeiten der Datenerfassung wie die Aufnahme von Bildern oder das Einspielen von PDF-Dokumenten wurde im Zuge dieses Pilotprojektes auch eine neue Form der Datensortierung untersucht. Diese beruht dabei auf der Vergabe von Schlagworten, welche den Bildern bzw. Daten bei der Aufnahme zugeordnet werden, woraus eine übersichtliche Sortierung bzw. eine einfachere Wiederauffindung resultiert. Diese Funktion wird zusätzlich zu einer lagerichtigen Verortung des Standortes in Bezug auf die Straßenachse ergänzt. Daraus folgend können hocheffizient und nachvollziehbar Informationen und Daten zu Bauprozessen bzw. Bauabschnitten aufgenommen werden. Weiterführend ist auch die Ausgabe in Form von Berichten möglich oder der Bauwerkserhalter nützt die Informationen in digitaler Form. Ebenso wurde durch diesen Dokumentationsprozess, neben einer Standardisierung für alle Beteiligten, ein Zeitersparnis bei der Berichtserstellung und der Aufbereitung der Baustellendokumentation generiert.

1. Projekt Ortsumfahrung Preding - Weiz

Die B64 Rechberg Straße liegt im Herzen der Steiermark nördlich der Landeshauptstadt Graz und stellt neben den beiden Autobahnen A9 und A2 sowie der S35 eine der wichtigsten Verkehrsachsen im Raum Graz Umgebung dar. Sie führt auf einer Länge von 50,5 km von Gleisdorf an der Südautobahn (A2) entlang der Raab und dem Weizbach im Grazer Bergland nach Frohnleiten im Murtal an der Brucker Schnellstraße (S35). Sie verbindet die Bezirkshauptstadt Weiz mit der restlichen Steiermark und hat somit einen erheblichen wirtschaftlichen Beitrag für die Region. Zudem liegt im Einzugsgebiet der B64 noch der Bereich der Weizklamm sowie Teichalm, wel-

che zwei der wichtigsten Naherholungs- und Ausflugsgebiete der Steiermark darstellen.

Mit einem durchschnittlichen täglichen Verkehr DTV von mehr als 11.000 Kfz/24h handelt es um eine der meistbefahrenen Landesstraßen im Netz des Landes Steiermark. Aktuell führt die Trasse der B64 direkt durch das Stadtgebiet von Weiz, wo es einerseits zu einer Verkehrsbeeinflussung durch Engstellen kommt und zum anderen auch eine unnötige Einschränkung der Lebensqualität für die Einwohner*Innen der Stadt Weiz hervorruft. Aus diesem Grund wurde im Jahr 2011 mit der Errichtung einer Ortsumfahrung (vgl. Abb. 1), welche die innerstädtische Verkehrsbelastung reduzieren wird, begonnen. (*Amtsblatt Stadt Weiz*)



Abb. 1: Gesamtübersicht des Projektes Ortsumfahrung Preding – Weiz (www.ortsdurchfahrt.at)

Das gesamte Projekt Ortsumfahrung Weiz besteht dabei aus 3 Teilen, welche in Abb. 1 zu erkennen sind. Der 1. Teil beginnt im Bereich Preding im Südosten von Weiz, wo die Trasse der B64 als Zulaufstrecke für die geplante neue Trassenlage vorbereitet wurde. Dieser Teil wird in Form einer Wanne ausgeführt und schließt im Kreuzungsbereich der B64 mit der B72 an den Teil 2 an. Dieser weist eine Gesamtlänge von ca. 1.200 m auf und besteht aus zwei Hauptbauwerken in Form von Unterflurtrassen mit einer Länge von 425 bzw. 274 m. Diese Bauwerke (vgl. Abb. 2) werden in offener Bauweise hergestellt, wobei neben den Anforderungen an die Herstellung der Baugruben auch eine entsprechende Wasserhaltung erforderlich war.



Abb. 2: Übersichtskarte des Teils 2 (www.ortsdurchfahrt.at)

Die Fertigstellung des Gesamtprojektes ist für das Frühjahr 2022 geplant. Ab diesem Zeitpunkt soll der gesamte Durchzugs- und Pendlerverkehr nicht mehr wie aktuell durch das Ortsgebiet von Weiz geführt werden, sondern über die neue Trassenlage der B64. Damit sollen neben einer Verkehrsberuhigung des Innenstadtbereiches und der damit einhergehenden Aufwertung und Erhöhung der Lebensqualität auch die Verkehrsbehinderungen auf ein Minimum reduziert werden.

2. Aufgabenstellung an eine Dokumentationssoftware auf der Baustelle

Eine der Hauptaufgaben am Bau – neben der technisch und sachlich richtigen Umsetzung des Bauprojektes – ist es auch, das Werk entsprechend zu dokumentieren. Neben der Einhaltung normativer Vorgaben und Vertragsbedingungen, dient die Dokumentation auch der Aufzeichnung des Baufortschrittes bzw. der Erfassung von Mängeln, Schäden und anderen Ereignissen. Aufgrund dieser Anforderungen ist in Bezug auf eine Dokumentationssoftware eine einfache Handhabung sowie eine anpassbare Funktionsweise erforderlich.

Die einfache Handhabung kann bei Softwarelösungen durch eine intuitive und auf die Anwender abgestimmte Oberfläche erreicht werden. Auf diese Themenstellung wird in Kapitel 4.1 dieses Beitrages vertieft eingegangen. Um eine möglichst große Bandbreite der Funktionalität sicherzustellen ist es vorteilhaft, die Anwender sowie deren Anforderungen zu kennen, und darauf aufbauend die Erfordernisse an eine Software definieren zu können. Vor allem im Bereich des Berichtswesens und des Exportes von Dokumenten (vgl. Kapitel 4.3) können hier erhebliche Nutzungseinschränkungen bestehen, welche bei der Anwendung einer Dokumentationssoftware behindern bzw. die Nutzerzufriedenheit beeinflussen.

2.1 Besondere Anforderungen einer Linienbaustelle

Hochbaubaustellen wie die Errichtung einer Wohnanlage oder der Bau einer Industriehalle sind generell durch eine vertikale Bauweise gekennzeichnet. Wie Abb. 3 oben zeigt, wird im Regelfall mit der Herstellung der Gründung bzw. in diesem Fall der unterirdischen Geschosse begonnen, ehe darauffolgend nach oben gebaut wird. Damit verbunden ist eine dreidimensionale, nach oben zunehmende Ausrichtung der Bauprozesse. Beispiel hierfür ist die Position der vertikalen Tragwerksbauteile zur Lastableitung, welche im Fall eines Hochbaues im Allgemeinen in jedem Geschoss ähnlich ist. Daraus resultiert, dass diese Tatsache bei einer Dokumentation berücksichtigt werden muss. Im Regelfall wird hierzu die Anzahl der Geschosse als Abgrenzung verwendet, und Bilder werden nicht nur der Lage im Grundriss sondern auch dem entsprechenden Geschoss zugeordnet.



Abb. 3: Oben: Übersichtsbild einer Baugrube (Hochbau); Unten: Übersicht einer Linienbaustelle

Im Gegensatz hierzu zeichnen sich Linienbaustellen, wie in Abb. 3 unten zu erkennen, durch eine einer Linie oder Trasse folgenden Ausdehnung aus. Daraus resultiert, dass die obigen Einschränkungen einer Hochbaustelle durch das Errichten von unten nach oben auf eine Ebene projiziert werden müssen. Im Falle der in Abb. 3 unten gezeigten Errichtung einer Straßentrasse ist es somit möglich, in Bereichen der Baustelle Belagsarbeiten durchzuführen, während in anderen Bereichen der Baustelle noch an der Herstellung des Einschnittes und der Böschungssicherungen gearbeitet wird.

Während bei Hochbaubaustellen das Geschoss als Hauptebene der Bildsortierung verwendet werden kann ist es bei Linienbaustellen sinnvoll die Trassierung als zusätzliche Bildinformation zu speichern und diese auch für Sortierungs-, Ablage- oder Dokumentationsinhalte zu verwenden.

Aus den obigen Ausführungen wird ersichtlich, dass große Unterschiede zwischen einer klassischen Hochbaubaustelle und einer Linienbaustelle vorhanden sind. Diese sind nicht nur bei der Bauherstellung – speziell der Bauzeitplanung und der Koordinierung – zu beachten, sondern auch bei der Verwendung von Softwarelösungen für die Dokumentation und das Berichtswesen.

2.2 Anforderungen seitens des Landes Steiermark

Seitens des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung, welche das Projekt der Ortsumfahrung Weiz als Bauherr und späterer Betreiber umsetzt, wurden im Zuge der Projektplanung die Anforderungen an eine zentral verwaltete Fotodokumentation definiert. Diese sollte dabei über die gesamte Bauzeit von rund 3,5 Jahren verwendbar sein und dadurch den gesamten Bauprozess vom ersten Spatenstich bis zur Fertigstellung abdecken. Ein Hauptaugenmerk neben der technischen Umsetzung dieses Projektes war dabei eine einfache und intuitive Handhabung, um von den Anwendern vor Ort eine größtmögliche Akzeptanz zu erhalten und damit eine lückenlose und umfassende Anwendung der Dokumentationssoftware sicherzustellen. Eine weitere Anforderung an eine Dokumentationssoftware war ein einfaches Auffinden der dokumentierten Inhalte. Aus anderen, durch das Amt der Steiermärkischen Landesregierung bereits erfolgreich umgesetzten Bauprojekten, wurde von ca. 35.000 Bildern über die gesamte Projektlaufzeit ausgegangen.

3. Verwendung der Software recordIT

Um die in Kapitel 2.2 angeführte Anzahl an Bildern verwalten zu können aber auch schnell auffinden zu können wurde auf die Softwarelösung recordIT (www.recordIT.at) zurückgegriffen. Nachfolgend wird kurz erklärt, wie diese aufgebaut ist, bzw. wie der Einsatz bei diesem Projekt stattfand.

recordIT ist als universell verwendbares Tool für eine zeitsparende Berichterstellung konzipiert. Baustellen und Berichte können je nach firmenspezifischem Bedarf aufgelistet werden und sind durch eine individuelle Sortierung (z.B. nach Entfernung zum Anwender) schnell auffindbar.

Die Hauptverwendung bei diesem Projekt war die direkte und einfache Ablage von Bildern mit Verschlagwortung und automatischer Vermarkung auf dem auf der Basemap[®] lagerichtig verlinkten Objektplan. Diese Bilder konnten in weiterer Folge durch Filterung nach Aufnahmezeitraum, Schlagwort oder den GPS-Koor-

datierten gesucht und sortiert werden. Beispielsweise ist es somit möglich, alle Bilder auszugeben, die zwischen März und April 2018 aufgenommen wurden. Zusätzlich kann die Suchfunktion verfeinert werden, indem nur jene Bilder ausgegeben werden, welche 100 m von einem spezifischen Punkt (auf der Karte bzw. dem Objektplan) aufgenommen wurden und das Schlagwort „Entwässerung“ beinhalten.

Die zweite Verwendung ist die Erstellung von Berichten. Bei der Verwendung dieses Modules werden Vorlagen (vergleichbar mit analogen Leerformularen) mit den gewünschten Bildern und Informationen befüllt und die Berichterstellung ist abgeschlossen. Die Bearbeitung des Berichts im Büro ist möglich, kann aber auch bereits vor Ort durchgeführt werden. Der Workflow von recordIT ist in nachfolgender Abb. 4 dargestellt.



Abb. 4: Workflow der Softwarelösung recordIT

Aus der obigen Beschreibung des Workflows lässt sich erkennen, dass diese für die Erstellung von Fotodokumentation und der daraus folgenden Ableitungen von Berichten maßgeschneidert ist. In den nachfolgenden Kapiteln werden noch einige Besonderheiten, welche auch mit dem in Kapitel 1 angeführten Projekt in Zusammenhang stehen, beschrieben. Diese beziehen sich auf die Bereiche der Fotodokumentation und des Berichtswesens sowie ein spezielles Modul, welches die Anforderung einer Linienbaustelle abdeckt.

3.1 Fotodokumentation

Wie die Ausführung zum Workflow von recordIT zeigt, ist es unter Anwendung von Softwarelösungen möglich, schnell und schematisiert Bilder, Informationen und Daten vor Ort zu erfassen und diese Inhalte ohne Informationsverlust in einen Bericht einzufügen. Vor der Anwendung von Softwarelösungen gestaltete sich die Erstellung von Berichten und vor allem von Fotodokumentationen als sehr zeitaufwändig und auch fehleranfällig. Maßgeblich sind hierfür zwei Punkte verantwortlich. Einerseits ist, auf Grund der Aufnahme vor Ort und der Berichterstellung ein zeitlicher Unterschied gegeben. Daraus resultierend wird mit der Erstellung der Bericht erst nach Erfassung sämtlicher Informationen begonnen. Daraus folgend lässt sich erkennen, dass ein gewisser Informationsverlust unweigerlich stattfindet. Bei Fotodokumentationen ist dies oftmals die Zuordnung

der Inhalt und Bilder zu ihrer Lage am Objekt. Bei der lagerichtigen Zuordnung der Bilder wird es im Regelfall ab einer gewissen Anzahl an Bildern schwierig, den Überblick zu behalten und diese Informationen in Plänen oder anderen Unterlagen festzuhalten. Dies verstärkt sich durch die Tatsache, dass oftmals ähnliche Bauteile (z.B. Stützenreihe) auftreten. Daraus folgend können Bilder im Nachhinein lediglich falsch oder nicht mehr eindeutig zugeordnet werden, worunter nicht nur die technische Richtigkeit der Fotodokumentation leidet, sondern auch eine gewisse Unsicherheit für das Personal gegeben ist. Andererseits findet bei einer analogen Vorgehensweise mit Plan, Skizzenblock und Kamera die Vermarkung der Bilder und auch die Erfassung von Informationen an unterschiedlichen Orten statt. Maße oder Längen werden im Regelfall auf den Planunterlagen erfasst, wohingegen textlichen oder inhaltliche Informationen zu den Bildinhalten auf einem Skizzenblock erfasst werden. Daraus folgend resultiert, dass im Zuge der Berichterstellung die Inhalte mehrerer Quellen zu einem Gesamtdokument zusammengefasst werden müssen, woraus ebenfalls ein gewisses Fehlerpotential und eine Fehleranfälligkeit resultiert.

Die beiden oben angeführten Schwachstellen bei einer klassischen, analogen Dokumentation können durch die Anwendung einer entsprechenden Softwarelösung abgemindert und in manchen Bereichen auch beseitigt werden. Beispielsweise kann mit der in diesem Beitrag angeführten Softwarelösung eine eindeutige Zuteilung und Vermarkung (vgl. Kapitel 3.2) der Bilder und der Bildinhalte vorgenommen werden. So können für Linienbaustellen etwa spezielle Bezüge zum Lage- und Objektplan aber auch zur Kilometrierung (Straße) oder Hektometrierung (Schiene) vorgenommen werden, um eine eindeutige Lagekennzeichnung zu ermöglichen. Weiters wird den Anwendern auch die Möglichkeit gegeben, Informationen und Abfragen direkt im Zuge der Bilderfassung - zu einem aufgenommenen Bild - anzuführen. Dies stellt sicher, dass diese Informationen zum Zeitpunkt der Erfassung bereits in den Bericht eingepflegt werden. Der zuvor angeführte Punkt eines möglichen Informationsverlustes kann somit weitgehend ausgeschlossen werden.

3.2 recordIT via

recordIT via stellt eine Erweiterung des oben angeführten Workflows zur Erstellung von Berichten und Fotodokumentation bei Linienbaustellen dar. Die Vorteile hierbei sind, dass beispielsweise die in Kapitel 3.1 angeführte Vermarkung von Bildern automatisiert durchgeführt wird, bzw. im Bedarfsfall entsprechend angepasst werden kann. Wie Abb. 5 zeigt, kann sowohl eine Karte – als Auszug aus einem GIS-basierten System wie Basemap® - aber auch der Objekt- oder Lageplan des Projektes verwendet werden. Damit ist es möglich, Bilder parallel durch zwei unterschiedliche Vorgehensweisen zuzuordnen. Zum einen kann dies durch die Verwendung des

GPS-Sensors des Eingabegerätes (Tablet oder Mobiltelefon) geschehen. Ist die Verortung des Gerätes aktiv, so werden die Längen- und Breitengrade des Gerätestandortes bei der Aufnahme eines Bildes als Metadaten abgelegt und in das System eingepflegt. Zum anderen kann auch eine Vermarkung des Bildes auf dem Objekt- oder Lageplan durch den Anwender oder die Anwenderin vorgenommen werden. Dies geschieht durch einfaches Setzen eines Punktes (Marker) am gewünschten Ort. Durch die Möglichkeit, den Objektplan lagerichtig zu verorten ist somit sichergestellt, dass durch ein einmaliges Referenzieren das Bilder gleichermaßen am Objekt- und Lageplan und auf einer GIS-basierten Karte verortet wurde und somit auch in beiden zur Ansicht oder Auswertung und Weiterbearbeitung verwendet werden kann.



Abb. 5: Beispiel der Vermarkung eines Bildes

Durch beide Verfahren – sowohl die Vermarkung per GPS als auch das händische Setzen eines Markers – führt dazu, dass das Bild lagerichtig in beiden Dokumenten dargestellt wird. So kann sowohl der Objekt- und Lageplan als auch die Karte als Referenz für den Standort verwendet werden. Dies vereinfacht die Handhabung vor Ort, da durch die GPS-Koordinaten ein eindeutiger Lagebezug gegeben ist und zudem können durch eine händische Erfassung auch Lagefehler (Genauigkeit GPS ca. 1 m) behoben werden oder es kann eine detailliertere Erfassung des Standortes vorgenommen werden.

Neben der lagegenauen Erfassung des Bildstandortes wurde in recordIT via auch eine Tag-Funktion zur Verschlagwortung eingebaut. Diese basiert auf einer Datenbank, welche durch den Kunden mit Begriffen bestückt wird. Im Zuge der Aufnahme eines Bildes kann so durch einfache Auswahl des oder der jeweiligen Schlagworte ein Bildinhalt definiert und spezifiziert werden. Darüber hinaus ist dieses System selbstlernend aufgebaut und nimmt zusätzliche, durch die Anwender definierte Bildinhalte, mit in die Datenbank auf und stellt diese bei weiteren Aufnahmen wieder zur Auswahl. Dies ermöglicht einen aktuellen und vollständigen Inhalt der Schlagwörter auf Basis eines selbstlernenden Systems.

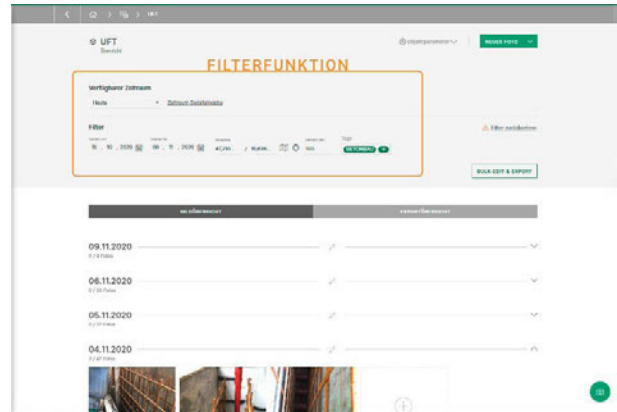


Abb. 6: Filter- und Suchfunktion basierend auf der Beschlagwortung eines Bildes

Neben der einfachen Eingabe und Erfassung von Bildinhalten dienen diese Tags auch der Strukturierung und Sortierung der Dokumentationsinhalte. Mit Ergänzung durch den Bildstandort ist es so beispielsweise möglich, wie in Abb. 6 gezeigt, sämtliche Bilder und Vermarkungen mit dem Tag „Schacht“ in einem Umkreis von 50 m vom aktuellen Standort anzuzeigen. Daraus resultiert für die Anwender, dass diese sich andere, bereits dokumentierte Inhalte zum gleichen Themenbereich anzeigen lassen können, aber auch, dass eine gezielte Suche nach Dokumentationsinhalten entlang der gesamten Baustellentrasse möglich ist.

3.3 Mangelmanagement

Neben den oben angeführten Inhalten und Programmfeatures, um eine lückenlose und schlüssige Dokumentation eines Bauprojektes sicherzustellen bietet recordIT auch Lösungen an, um das Mangelmanagement innerhalb der Software zu verwalten.

Mit diesem Modul können im Zuge der Fotodokumentation – im gleichen Arbeitsschritt – Aufgaben für unterschiedliche Personenkreise definiert werden. So wird sichergestellt, dass kein Informationsverlust vorliegt und dass Mängel, welche bereits erfasst wurden, auch gleich einer Bearbeitung zugeführt werden. Als Personenkreise können hier sowohl einzelne „physische“ Personen aber auch Firmen oder Auftragnehmer definiert werden. Die Abarbeitung der Mängel findet ebenfalls auf der Oberfläche von recordIT statt. Die im Zuge einer Mängelerfassung angeführten Personen werden verständigt und über das Vorliegen eines Mangels informiert. Nach Behebung des Mangels kann ein Bild oder Kommentar hochgeladen werden, sofern dies vom Verfasser des Mangels geplant ist. Zudem kann abschließend eine Übersicht zu Mängeln erstellt werden. Damit ist eine rasche Übersicht gegeben und diese kann beispielsweise im Zuge der Ab- und Übernahme aber auch der Abrechnung verwendet werden. Vor allem Letzteres stellt dabei einen durchgehenden Informationsfluss dar und verhindert das Mängel im Übernahm-

meprozess übersehen werden, oder diese beispielsweise nicht in der Abrechnung Berücksichtigung finden.

4. Generelle Anforderungen an den Digitalisierungsprozess zur Dokumentation von Baustellen

In den beiden vorherigen Kapiteln wurde aufgezeigt, dass große Unterschiede zwischen einer Hochbaubaustelle und einer Linienbaustelle wie beispielsweise der hier vorliegenden Umfahrung, aber auch Tunneln oder anderen Straßenbaustellen, bestehen. Diese Baustellenarten bringen einige besondere Anforderungen mit sich, welche in den Softwarelösungen zur Erfassung der Baustelle berücksichtigt werden müssen. Nachfolgend soll kurz auf generelle Anforderungen aus dem Dokumentationswesen und vor allem die in diesem Bereich stattfindenden Digitalisierungsprozesse eingegangen werden.

4.1 Datenerfassung vor Ort

Eine einfache und intuitive Erfassung von Informationen auf der Baustelle bildet die Grundlage für eine Dokumentation da hier der Verlust von Informationen am geringsten ist. Aus diesem Grund gilt es dieser Phase und Tätigkeit die größte Aufmerksamkeit zu schenken. Neben dem zur Verfügung stellen sämtlicher Tools und Funktionen die hierfür benötigt werden, muss auch sichergestellt werden, dass die Handhabung für die Anwender ohne großen Aufwand möglich ist. Nur so kann die Dokumentation in der Qualität durchgeführt werden, wie diese benötigt wird auch im Nachgang Aussagekraft zu besitzen. Darüber hinaus ist festzustellen, dass eine personenübergreifende und somit vollständige Dokumentation eines Bauprojektes nur selten in der Praxis umgesetzt werden kann. Wobei hier eine Zunahme auf Grund der steigenden Verwendung von digitalen Lösungen zu erkennen ist.

Durch das zur Verfügung stellen von Plattformen für eine personenübergreifende Dokumentation kommt man zu Lösungen welches sich im Baualltag als praktikabel erweisen und auch Verwendung finden. Gestützt auf den zuvor angeführten Punkten kann davon ausgegangen werden, dass eine nicht ausreichende Dokumentation im Feld nur schwer oder gar nicht in nachfolgenden Phasen egalisiert bzw. beseitigt werden kann.

4.2 Berichterstellung und Export

Wie die Ausführung zu den Anforderungen des Digitalisierungsprozesses und auch die in den vorherigen Kapiteln angeführten Inhalte zur Dokumentation von Linienbaustellen zeigen, ist die Verwendung einer Softwarelösung für die Berichterstellung mit einer Vielzahl an Vorteilen verbunden. Hierzu ist es jedoch in manchen Bereichen erforderlich, bekannte und bisher etablierte Denkweisen und Muster abzulegen bzw. diese in eine

digitale Herangehensweise zu transformieren. Einer der Hauptschwächen einer schematisierten und zeitsparenden Dokumentation sind die verwendeten Berichtsvorlagen.

Für diese gibt es in den meisten Unternehmen bereits Vorlagen, welche jahrelang in Verwendung waren und damit entsprechend erprobt und auch ausgereift sind. Diese sind im Regelfall jedoch auf eine analoge Erstellung der Berichte – nach der Erfassung der Inhalte vor Ort – ausgelegt. Daher sind oftmals kleinere Anpassungen bzw. Adaptierungen erforderlich, welche die Inhalte der Berichte nicht verändern, sondern in Bezug auf ihre digitale Bearbeitung in einer „vor-Ort-Software“ hin optimieren. Beispielsweise erlaubt die digitale Erfassung, nur die relevanten Checklisteninträge im finalen Bericht erscheinen zu lassen, anstatt alle möglichen Varianten zu zeigen. Dieser Punkt wird vor allem bei der Nutzung von Vorlagen, welche in Normen oder Regelwerken gegeben sind, ersichtlich. Diese sind auf eine technisch richtige und schlüssige Erfassung und Aufbereitung der Inhalte ausgelegt, jedoch im Regelfall nur bedingt mit den Anforderungen an eine digitale Erfassung kompatibel. Daher empfiehlt es sich, derartige Vorlagen geringfügig umzuarbeiten um damit eine softwaretechnische Nutzung zu vereinfachen.

Neben dem strukturellen und optischen Aufbau von Vorlagen sollten auch die Inhalte dieser definierbar und durch die Anwender anpassbar sein. Dies ermöglicht zum einen eine schnelle Reaktion auf Änderungen wie beispielsweise die Einarbeitung neuer Erkenntnisse oder der Änderungen einer technischen Vorgabe. Um hierbei eine größtmögliche Nutzerfreundlichkeit sicherzustellen, empfiehlt es sich, eine Reihe an unterschiedlichen Eingabemöglichkeiten vorzugeben. Neben Textfeldern und Auswahlmenüs sollte es auch möglich sein, Tabellen oder Skizzen in einen Bericht einfügen zu können. Tabellen werden dabei oftmals zur Erfassung gleichbleibender Inhalte (z.B. Anwesenheit) verwendet und können somit sehr zur Vereinfachung der Dokumentation beitragen. Skizzen – als eines der Hauptwerkzeuge des Technikers und der Technikerin – sind dabei ein täglicher Begleiter und unerlässlicher Bestandteil, um eine umfassende Dokumentation sicherzustellen.

Abschließend sind auch entsprechende Exportfunktionen erforderlich, um eine Dokumentationssoftware anwenderpraktikabel und nutzbar zu gestalten. Neben dem Export von Bildern und abgeschlossenen Berichten sollte auch die Nachbearbeitbarkeit und die Verwendung der Berichte und Dokumentationen angedacht werden. Als Format wird dabei in den meisten Firmen Microsoft Word (*.doc oder *.docx) verwendet. Die Softwarelösung recordIT benutzt dieses Format sowohl als Grundlage für ihre Vorlagen als auch zur Ausgabe der fertiggestellten Berichte. Damit kann auch im Nachgang eine einfache und schnelle Bearbeitung durch die Anwender vorgenommen werden.

4.3 Datenverwaltung und Datenmanagement

Eine digitale Erfassung ermöglicht auch beim Thema Zugangsrechte neue Gestaltungsmöglichkeiten. So ist es möglich, für gewisse Gruppen nur das Hinzufügen von Bildern zu erlauben, jedoch nicht das Durchsuchen dieser nach Inhalten. Mit einer durchdachten Dokumentationssoftware kann so beispielsweise eine vertraglich vereinbarte Zugriffsregelung oder auch die Einbindung von Subunternehmern in die Dokumentation sichergestellt werden.

Bei aktuellen Dokumentationslösungen, wie auch anderen digitalen Produkten zur Nutzung am Bau, wird aktuell von cloud-basierten Lösungen gesprochen. Prinzipiell versteht man darunter, dass sich der Anwender nicht selbst um den Betrieb der Software kümmern muss, sondern der Anbieter sorgt dafür, dass die Software erreichbar, die Daten und die Datenbanken regelmäßig gesichert werden und Updates der Software problemlos verlaufen. Anfangs lagen hier auf Anwenderseite oftmals Bedenken vor, dass dadurch der Zugriff durch Dritte auf die Daten ermöglicht wird, inzwischen wurde jedoch mehrfach bewiesen, dass dies nicht möglich ist.

Abschließend stellt sich in Bezug auf das Datenmanagement vor allem bei cloud-basierten Lösungen die Frage, ob am Ende der Nutzung nicht ein sogenanntes „Vendor-Lock-In“ vorliegt, und die Daten nach Nutzung verloren sind. Gerade bei Lösungen, welche auf einer jährlichen Abrechnung basieren, wäre es unangenehm sämtliche Daten in dem Moment zu verlieren, indem die Nutzungsperiode abläuft. Die verwendete Software recordIT bietet hier zum einen die Möglichkeit, die Daten zu exportie-

ren. Zudem ist es weiters möglich, die gesamten Projektdaten bereits während der Aufnahme auf einem externen Server abzulegen. Somit kann zumindest in Bezug auf die Datensicherheit und die Nutzung eine erforderliche Redundanz sichergestellt werden.

5. Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurde die Anwendung einer Dokumentationssoftware speziell für Linienbaustellen vorgestellt und kurz auf die bei der Planung und Umsetzung einer derartigen Lösung zu berücksichtigenden Rahmenbedingungen eingegangen. Vor allem durch die Anforderungen einer Linienbaustelle und den daraus folgenden Dokumentationsprozessen weisen diese einen erheblichen Unterschied im Vergleich zu bekannten Softwarelösungen für die Dokumentation von Hochbaubaustellen auf. Die Umsetzung derartiger Projekte, sowohl die softwaretechnische Entwicklung als auch die Anwendung unter praktischen Randbedingungen ist im Regelfall nur auf Grund des Einsatzes und der Bereitschaft zur technischen und digitalen Weiterentwicklung aller Projektbeteiligten möglich.

Quellen

- [1] *Amtsblatt der Stadt Weiz*; Sonderausgabe Baustart der Ortsdurchfahrt Weiz; Ausgabe Mai 2016
- [2] *www.ortsdurchfahrt.at*; Ortsdurchfahrt Weiz; Zugriff im Oktober 2020
- [3] *www.recordIT.at*; Homepage der recordIT GmbH; Zugriff im Oktober 2020

Modellbasiertes Aufmaß und Abrechnung mit vernetzter Maschinensteuerung

Andreas Velten, M.B.A.

MOBA Mobile Automation, Limburg an der Lahn, Deutschland

Zusammenfassung

Die papierlose Straßenbaustelle soll kommen. Alle relevanten Daten, Informationen sowie Unterlagen werden nur noch digital und damit viel schneller ausgetauscht werden. Die Grundlage bildet ein einheitliches und von allen Beteiligten benutztes 3D-Modell. Dieser Arbeitsansatz kann auch auf die Ausführungsphase übertragen werden. Dadurch vereinfacht und beschleunigt sich die Baufortschrittskontrolle, die Zwischen- sowie Endabrechnung und die Datenbereitstellung für den digitalen Zwilling. Grundsätzlich ist dies auch mit konventioneller Vermessungstechnik, Laserscannern und/oder Vermessungsdrohnen möglich. Hier wird die modellbasierte Arbeitsweise für Aufmaß, Abrechnung und Dokumentation auf Basis von vernetzter Maschinensteuerung betrachtet. Mit diesem technologischen Ansatz ist eine Echtzeitdatenübertragung unmittelbar nach Arbeitsfortschritt möglich. Damit ist immer eine zeitnahe Eigenüberwachung durch das Bauunternehmen als auch die abrechnungsrelevante Überwachung und Freigabe durch den Auftraggeber möglich. Gleichzeitig reduziert sich der Aufwand für Vermessungsarbeiten auf der Baustelle und damit die Kosten erheblich. Bedeutend ist hierbei für Bauunternehmen, dass sie diese Vermessungsarbeiten in der Regel nicht als eigene Leistungsposition vergütet bekommen.

1. Digitalisierung im Straßenbau

Sowohl in der gesamten Bauindustrie als auch im Straßenbau im Speziellen besteht bei der Digitalisierung - im Vergleich zu anderen Branchen wie dem Einzelhandel oder der Automobilindustrie - noch erheblicher Nachholbedarf (vgl. u.a. Top500 Digitaler Index Deutschland, Accenture 2016). Markant verdeutlicht dieses der Arbeitsproduktivitätsindex des Zentralverbandes Deutsches Baugewerbe. Danach stagnierte die Arbeitsproduktivität binnen rund 30 Jahren im Baugewerbe, während diese im produzierenden Gewerbe um über 70 % anstieg.



Abb. 1: Arbeitsproduktivität Deutsches Baugewerbe

Ein Grund könnte sein, dass wir in der Baubranche als konservativer gelten als andere Industrien. Sehr viel wahrscheinlicher liegt das jedoch in der ortsgebundenen Baustellenfertigung im Sinne einer wandernden Fabrik [10] begründet. In stationären Fabriken und Gewerben waren die Voraussetzungen für eine digitale Arbeitsweise deutlich früher gegeben. Hohe Bandbreiten zur Datenübertragung waren zunächst nur stationär verfügbar.

1.1 Aktueller Stand

Trotz einiger Pilotprojekte für digitale Arbeitsweisen nach der BIM-Methode ist heute die lageorientierte Trassenplanung mit Längs- und Querprofil im Sinne eines 2D-Planes als Status quo im Straßenbau zu sehen [23], [18]. Dabei entstehen die bekannten, oft ausgedruckten und z. T. sehr großen 2D-Pläne mit Höhenangaben, ergänzt um die erforderlichen Profile.

Auf dieser noch üblichen Grundlage erfolgt Ausschreibung, Vergabe und Ausführung einer Infrastrukturmaßnahme.

Die schon seit sehr langer Zeit angewandte statische Absteckung und damit manuelle Übertragung der Planvorgaben in die Örtlichkeit wird immer mehr von einer kinematischen Absteckung mittels Baumaschinensteuerung verdrängt [28], [26]. Dabei wird in der Baustellenpraxis die Baumaschinensteuerung noch nicht für alle Arbeiten der Erdbaumaschinen eingesetzt, so dass die statische

Absteckung noch auf den meisten Baustellen weiterhin zum Einsatz kommt.

Beim Deckeneinbau ist der Einsatz von Baumaschinensteuerungen besonders auf dem Asphaltfertiger allenfalls für die Ebenheits- oder Höhensteuerung üblich. Die Lage wird überwiegend noch manuell markiert.

Sowohl im Erdbau bzw. Unterbau als auch bei Deckeneinbau erfolgt das lagenweise Aufmaß für Abrechnungs- und Dokumentationszwecke mit konventioneller Vermessungstechnik.

1.2 Baumaschinensteuerungen im Erdbau

Im Straßenbau sind Baumaschinensteuerungen heute besonders im Erdbau sowie Unterbau auf größeren Maßnahmen fester Bestandteil der Bauausführung [21]. Es gibt unterschiedliche Varianten für die verschiedenen Baumaschinenarten.

Zum einen wird nach Führungssystemen, semi- und voll-automatischen Systemen unterschieden [29]. Bei Führungssystemen erhält der Bediener visuelle Informationen zum manuellen Betrieb des Werkzeuges (Bagger-schaufel, Schild, Schar usw.). Bei semi-automatischen übernimmt das System bereits die Steuerung des Werkzeuges, die Bewegung der Maschine wird noch manuell vorgenommen. Voll-automatische Systeme sind noch die Ausnahme, hier wird die Steuerung von Werkzeug und Maschine vom System übernommen [29].

Zusätzlich wird nach Systemen für Positionsbestimmung nur von der Höhe (1D), von Höhe und Neigung (2D) sowie von Höhe, Neigung und Lage (3D) des Werkzeuges bzw. der Maschine unterschieden.

Für die modellbasierte Arbeitsweise kommen nur 3D-Systeme, d. h. die auch die exakte Lage der Maschine bzw. des Werkzeuges bestimmen, in Frage. Verbreitet sind dabei semi-automatische Raupen- bzw. Gradersteuerungen und Führungssysteme für Bagger. Die Verbreitung von semi-automatischen Baggersystemen steckt noch in den Anfängen.

Für den Einsatz von 3D-Baumaschinensteuerungen wird die Bauausführungsplanung in Form von drei-dimensionalen Planungsdaten benötigt [24]. Damit übernimmt das System die kinematische Absteckung und Fertigung in einem Schritt [26]. Die drei-dimensionale Planung wird dafür in Punkten, sprich Koordinaten, beschrieben, die als digitale Geländemodelle (DGM) mit geradlinigen Verbindungen vermascht werden. Mit den dabei entstehenden Dreiecksnetzen wird die Geländeoberfläche beschrieben [15], [17]. Bei dieser Erstellung der Bauausführungsplanung als DGM ist darauf zu achten, dass Bruch- und Böschungskanten, Zwangslinien oder Ähnliches festgehalten werden [15].

1.3 Reduzierung von Nebenleistungen

Die Bauausführung ist ohne Vermessungsarbeiten für die Absteckung des Bausolls, das Kontrollieren während der

Herstellung und das Aufmaß für die Abrechnung bzw. Dokumentation nicht möglich. Diese Vermessungsarbeiten gelten gemäß VOB als Nebenleistungen. Das bedeutet, sie sind für die Leistungserstellung auf der Baustelle zu erbringen, stellen in der Regel jedoch keine eigene Leistungsposition dar. Der Auftragnehmer erhält für diese Arbeiten keine gesonderte Vergütung [2].

Es liegt auf der Hand, dass eine Reduzierung von Nebenleistungen bei der Bauausführung zu einem Kosten- und Zeitvorteil führt.

Bereits im Einsatz von 3D-Baumaschinensteuerungen zur Reduzierung von statischen Absteckungen sowie Vermeidung von kontinuierlichen Höhenkontrollen während der Ausführung sieht Stempfhuber [28] eine Optimierung der Absteck- und Vermessungsarbeiten von rund 50 %. Dieses ist nicht nur für die Reduzierung von Nebenleistungen von Bedeutung, sondern in Zeiten des Fachkräftemangels eine wichtige Aufwandsreduzierung für die „knappen“ Geodäten.

1.4 BIM im Rahmen der Digitalisierung im Straßenbau

„Erst digital, dann real bauen“ ist der Grundsatz bei der Einführung der Methodik Building Information Modeling (BIM) im Bundesverkehrswegebau [5]. Abgeleitet ist dieser von der in der Industrie schon länger üblichen Vorgehensweise, herzustellende Maschinen, Fahrzeuge oder Ähnliches zunächst digital zu konstruieren und zu simulieren, bevor der erste Prototyp entsteht.

Als Definition wird hier in Anlehnung an Bormann [7] sowie Blankenbach und Lehmkuhler [4] die *Erschaffung und Verwaltung eines bauteilorientierten, digitalen Bauwerksmodells sowie dessen Nutzung über den gesamten Lebenszyklus in einer kollaborativen Arbeitsweise mittels Softwareeinsatz*

zu Grunde gelegt. Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) formuliert dabei

- die Erhöhung von Planungsgenauigkeit und Kostensicherheit
- die Optimierung der Kosten im Lebenszyklus und
- die Umsetzung der Kernempfehlungen der Reformkommission

als die wesentlichen Themen bei der Einführung von BIM [5].

Ein entscheidender Fortschritt durch die Einführung von BIM ist der Wandel von den heute noch üblichen zwei-dimensionalen Methoden bei der Planung von Bundesverkehrswegen hin zur ausschließlichen Planung in bauteilorientierten 3D-Modellen. Diese enthalten dann alle geometrischen sowie semantischen Informationen eines Bauteils, einer Schicht bzw. eines Erdkörpers [27], [3].

Die herrschende Meinung sowohl in der Literatur als auch in der Praxis ist, dass die Digitalisierung der Bauausführung als auch die Einführung von BIM, zunächst für den Bundesverkehrswegebau, nur mit offenen Schnittstellen

und herstellerunabhängigen, standardisierten Formaten gelingen kann. So wird ein verlustfreier Datenaustausch ohne Informationsbrüche sichergestellt und gleichzeitig die heute noch häufigen Neuerstellungen von Plänen, manuellen Neueingaben und besonders dabei mögliche Fehler vermieden [1].

Die internationale Organisation buildingSMART hat mit den Industry Foundation Classes (IFC) ein solches standardisiertes Datenmodell geschaffen. Im Hochbau wird der IFC-Standard bereits regelmäßig eingesetzt, in der Regel bei Projekten, bei denen die BIM-Methode gefordert ist. Im Straßenbau wird dieses Datenmodell mit dem IFC Release 5 eingeführt [1]. Bisher scheinen damit weiter erst einmal nur die erprobten zweidimensionalen Methoden auf Basis eines Lage- und Höhenplans für den Entwurf einer Straße zur Verfügung zu stehen. Auf deren Grundlage werden die dreidimensionalen digitalen Geländemodelle mit Dreiecksnetzen als eine Geländeoberfläche für die Baumaschinensteuerung erstellt.

2. Modellbasiertes Arbeiten

Der naheliegenden Frage, ob eine mit Plandaten ausgestattete 3D-Baumaschinensteuerung nicht auch die Ist-

Geometrien für die Baufortschrittskontrolle, die Abrechnung und die Dokumentation liefern kann, wurde bereits nachgegangen.

2.1 Methodische Ansätze zur Ermittlung der Ist-Geometrie mittels Baumaschinensteuerung

Kivimäki und Heikkilä stellen eine Methode zur Echtzeit-Qualitäts- und Baufortschrittsüberwachung vor. Basis ist die Aufnahme der Ist-Geometrie durch vernetzte Baumaschinensteuerungen. Damit eine automatische Zuordnung der mit dem Arbeitswerkzeug erfassten Messpunkte möglich ist, werden die einzelnen Oberflächen bereits im Planmodell mit einem Code klassifiziert. Die Baumaschinensteuerung liefert die Messpunkte mit dem gleichen Klassifizierungscode und ermöglicht dann in einer Cloud-Plattform eine automatisierte Echtzeitüberwachung [20]. Dieser Ansatz der Messpunktzuordnung entspricht dem erprobten Prinzip des codierten Aufmaßes. Geodäten klassifizieren die mittels herkömmlicher Vermessungstechnik aufgenommenen Messpunkte ebenfalls mit Codes [6], [14], [31].

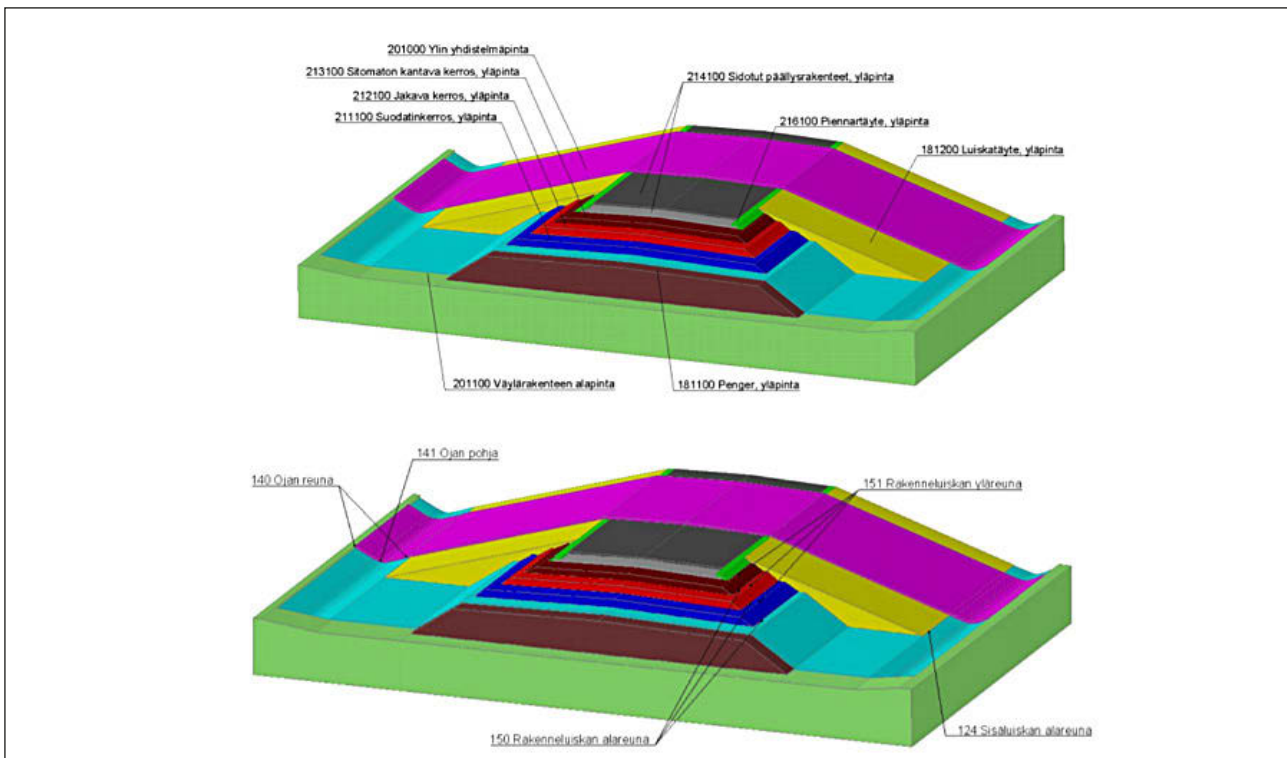


Abb. 2: Klassifizierte Schichten, Erdkörper und Bauteile (Quelle: buildingSMART Finland)

Ferger entwickelt in seiner Dissertation ein Verfahren zur Mengenermittlung im Erdbau unter Einsatz von Baumaschinensteuerungen. Dabei werden die von den Baumaschinensteuerungen gelieferten Ist-Geometrien für Prozess- und Abrechnungsmengenermittlungen herangezogen [16]. Vergleichbar zu Kivimäki und Heikkilä stellt auch Ferger die Notwendigkeit einer Zuordnung der Ist-Geometrien von der Baumaschinensteuerung zu den Geometriedaten aus der Planung und den Leistungsverzeichnispositionen dar. Diese Verknüpfung geschieht in der sogenannten 5D-Software in der Regel per „Drag & Drop“.

Der Vorteil einer automatisierten Zuordnung anhand von codierten 3D-Modellen liegt auf der Hand. Dabei können eigene unternehmens- bzw. baustellenspezifische Codierungssysteme verwendet oder später nach IFC Release 5 entsprechend erstellt werden. Solange letzteres noch nicht bereitsteht, bietet sich auch das finnische InfraBIM Classificationsystem YIV 2019 an, das mit über 600 Codes und Bezeichnungen als umfassend angesehen werden kann.

Der Auszug aus dem sogenannten finnischen InfraBIM-Modell (Abb. 3) gibt einen Einblick und entspricht zwei der im Abschnitt 3.1 dargestellten Schichten eines in Deutschland durchgeführten Piloten.

Unabhängig vom Einsatz der BIM-Methodik für eine Infrastrukturmaßnahme kann der hier beschriebene Arbeitsansatz auf der Baustelle angewendet werden. Dafür werden alle Elemente wie der Schichtenaufbau, die Erdkörper und weitere Bauteile von der Planung über die Ausführungsdaten für die Baumaschinensteuerung bis hin zur hergestellten Ist-Geometrie codiert und Messpunkte entsprechend automatisch zugeordnet.

Ferger belegt im Rahmen einer Simulation der IT-gestützten Ermittlung von Abrechnungsmengen im Erdbau mittels Baumaschinensteuerungen eine Gesamtkostenersparnis bei einer Baumaßnahme von 17 %. Nach Abzug der eigentlichen Ausführungszeit, die in der konventionellen und der IT- sowie baumaschinensteuerungs-gestützten Methode gleich ist, beträgt die Zeitersparnis bei den übrigen Baustellenarbeiten sogar 46 % [16].

1	RO nimikkeistön mukainen koodi	InfraBIM	Nimike	Designation (enGB)
2	Tunnus	Tunnus	Otsikko	
178	1800	180000	Penkereet, maapadot ja täytöt	Embankments, earth dams and fills
206				
207	2000	200000	Päällyys- ja pintarakenteet	Pavement and surface constructions
208	-	201000	Ylin yhdistelmäpinta	Highest combination of surface
209	-	201100	Väylärakenteen alapinta	Bottom surface of road structure
210	-	201200	Allin yhdistelmäpinta	Lowest combination of surface
211				
212	2100	210000	Päällysrakenteen osat ja radan alusrakennekerrokset	Pavement components and railway substructure
213	-	210000	Alusrakenteen ylin yhdistelmäpinta	Highest combination of surface in subgrade
214	2110	211000	Suodatinrakenteet	Filter structures, insulation structures
218	2120	212000	Jakavat kerrokset, eristyskerrokset ja välikerrokset	Subbase courses, filter courses, and subgrades
219	2121	212100	Jakavat kerrokset	Subbase courses
220	2122	212200	Eristyskerrokset ratarakenteissa	Subgrade in railway structures
221	2123	212300	Välikerrokset ratarakenteissa	Sub-ballast in railway structures
222	2129	212900	Muut jakavat tai eristävät kerrokset	Other subbase courses and subgrades
223	2130	213000	Kantavat kerrokset	Base courses
227	2140	214000	Päällysteet ja pintarakenteet	Asphalt pavements and other surface structures
234	2150	215000	Siirtymärakenteet	Transition structures
237	2160	216000	Eritysrakenteet	Special structures
238	2161	216100	Piennartäyte	Shoulder fill
239	2162	216200	Päällysrakenteen lujitteet	Pavement reinforcement
240	2169	216900	Muut eritysrakenteet	Other special structures
241				
242	2200	220000	Reunatuet, kourut, askelmat ja eroosiosuojaukset	Kerbs, gutters, steps and protections against erosion
256				
257	2300	230000	Kasvillisuusrakenteet	Planting constructions
276				
277	2400	240000	Ratojen päällysrakenteet	Railway superstructure
300				
301				
302	3000	300000	Järjestelmät	Systems
303				
304	3100	310000	Vesihuollon järjestelmät	Water supply and sewerage systems
345				
346	3200	320000	Turvallisuusrakenteet ja opastusjärjestelmät	Safety and signalling systems
380				

Abb. 3: Auszug InfraBIM Classificationsystem

Diese Kostenreduzierung deckt sich grundsätzlich mit Praxiserfahrungen auf Basis der Methode von Kivimäki-Heikkilä (vgl. Abschnitt 3.1).

2.2 Qualität der Messpunkte von Baumaschinensteuerungen

Die meisten eingesetzten Baumaschinensteuerungen arbeiten mit einer GNSS-Positionsbestimmung. Auf Motorgradern ist die Verwendung von zielverfolgenden Tachymetern üblich, wobei auch hier immer mehr GNSS-Empfänger zum Einsatz kommen. Zielverfolgende Tachymeter weisen grundsätzlich eine höhere Genauigkeit von unter 1 cm auf, sind dafür aber komplexer und zeitaufwendiger in der Anwendung für Baumaschinensteuerungen. Eine Positionsbestimmung mittels GNSS ist hier deutlich einfacher in der Handhabung, erreicht aber nicht die gleiche Genauigkeit. Moderne GNSS-Empfänger, besonderes bei der Verwendung von allen vier verfügbaren Satellitensystemen (GPS, GLONASS, Beidou, Galileo), erreichen nach der herrschenden Meinung eine Genauigkeit im unteren Zentimeterbereich. Wiesner et al., Morte et al. und Ferger gehen sogar von einer möglichen Genauigkeit von besser als 1 cm aus [32], [22], [16].

Unstrittig reichen die Genauigkeiten von GNSS-Positionierungssystemen wie Vermessungsrover oder Baumaschinensteuerungen für die Genauigkeitsanforderungen im Erd- sowie Unterbau aus. Der Einsatz von erforderlichen Korrekturdaten zur Erzielung der geforderten Genauigkeit via Korrekturdatendienst oder Basisstation ist in der Baustellenpraxis Standard, wobei in der Regel eine akkurat eingemessene Basisstation die besseren Ergebnisse liefern wird.

Neben der eingesetzten Technik hat deren Anwendung Einfluss auf die Qualität der Messpunkte. Um hier Abweichungen oder Messungen außerhalb der gegebenen Toleranzen zu vermeiden, ist eine Schulung der Fahrer sowie die regelmäßige Genauigkeitskontrolle der Baumaschinensteuerung erforderlich. Die Praxis hat gezeigt, dass letzteres wenigstens täglich durch den Fahrer erfolgen sollte und zusätzlich in größeren zeitlichen Abständen, z. B. wöchentlich, durch den Vermesser [30].

2.3 Gemeinsame Feststellung

Bei dem in Deutschland üblichen Regelwerk VOB/B für Bauleistungen im Straßenbau wird im § 14 die gemeinsame Feststellung der erbrachten Bauleistung vorgegeben. In Österreich und der Schweiz sind die Normen zwar andere, doch das Prinzip grundsätzlich gleich.

Die VOB/B und die regelmäßige Rechtsprechung schreiben das gemeinsame Aufmaß jedoch nicht zwingend vor. Auch das einseitige Aufmaß durch den Auftragnehmer ist üblich und oft unumgänglich, wenn z. B. vor Über-

bauung eine Leistung festgestellt werden muss und die Zeit für eine gemeinsame Feststellung mit dem Auftraggeber fehlt.

Durch eine gemeinsame Feststellung werden spätere Unstimmigkeiten vermieden. Ein gemeinsames Aufmaß ist bei Einigkeit für Auftraggeber und -nehmer bindend. Gleichzeitig tritt eine Beweislastumkehr ein, so dass der Auftraggeber bei einem späteren Einwand beweisen muss, dass die Abrechnungsmengen nicht berechtigt sind [16].

Im Allgemeinen gehen wir davon aus, dass diese gemeinsame Feststellung persönlich vor Ort stattfinden soll. Die DEGES, als einer der größten Auftraggeber von Bundesverkehrswegeprojekten und zukünftiger Bestandteil der Autobahn GmbH, sowie die Deutsche Bahn haben in ihren BIM-Regelwerken bereits die Leistungserfassung mit vernetzter Baumaschinensteuerung auf der Baustelle mit einer direkten Übernahme in die 3D-Modelle zugelassen. Dabei soll diese Form der Leistungserfassung als Grundlage der Abrechnung dienen [12], [13]. Die DEGES hält dazu ergänzend fest, dass der „Auftraggeber die erfassten Daten, Protokolle und Prüfberichte über eine gemeinsame Projektplattform mit dem Auftragnehmer“ einsehen können muss.

In diesem Sinne definieren Borrmann et al. im Auftrag des BMVI die „Plausibilisierung der in Rechnung gestellten Bauleistung anhand des“ im 3D-Modell „hinterlegten Baufortschritts“ [8].

Selbst wenn noch keine rechtliche Regelung für eine digitale gemeinsame Feststellung existiert, wird hiermit der grundsätzliche Rahmen dafür geschaffen. Darüber hinaus herrscht Vertragsfreiheit, das bedeutet die Vertragspartner können sich auf eine solche digitale gemeinsame Feststellung verständigen.

In einer Übergangsphase, oder wenn gewünscht, können die im Abschnitt 3.2 beschriebenen Qualitätsmessungen gemeinsam von Auftraggeber und Auftragnehmer durchgeführt werden.

2.4 Abrechnung auf Grundlage von Ausführungsplänen

Das Regelwerk der VOB ermöglicht auch eine Abrechnung auf Grundlage der Ausführungspläne, soweit auch wie geplant gebaut wurde [9]. Die im vorherigen Abschnitt beschriebene Vorgehensweise der Plausibilisierung des Baufortschritts und der tatsächlichen Leistungserbringung auf dem digitalen Weg erscheint bei dieser Abrechnungsvariante einfacher und schneller umsetzbar. Hierbei kann mit der Baumaschinensteuerung die plangemäße Leistungserfassung festgehalten werden. Alle anderen Leistungen, die vom Ausführungsplan abweichen, könnten vom Vorarbeiter oder Vermesser, ggf. gemeinsam mit dem Auftraggeber, aufgenommen werden.

3. Praxis

Die hier beschriebene sukzessive, kontinuierliche Mengenermittlung während der Bauausführung wird bereits in der Praxis angewendet. In Skandinavien, insbesondere in Finnland, wird auch die gemeinsame Plausibilisierung im Sinne einer volumenorientierten Baufortschrittkontrolle und -freigabe mittels einer gemeinsamen Plattform erfolgreich praktiziert. Dafür werden Aufmaß-Daten aus vernetzter Baumaschinensteuerung mit sogenannten Qualitätsmessungen des Vermessers verbunden und in einer gemeinsamen Plattform modellorientiert bereitgestellt. Dort erfolgt zunächst ein automatisierter Soll-Ist-Vergleich, der bei Überschreitung der vereinbarten Toleranzen die Bauausführenden informiert. Fällt dieser Vergleich positiv aus, prüft der Auftraggeber den Baufortschritt und gibt diesen für die Abrechnung frei.

3.1 Beispiele für Pilot- und Praxisprojekte

In Deutschland wurde dieses Jahr ein Pilotprojekt zur Erprobung dieser Arbeitsweise durchgeführt. Dabei wurde die in Abschnitt 2.1 beschriebene Codierung des Modells angewendet und die eingesetzten Baumaschinensteuerungen mit einer Cloud-Plattform vernetzt.

Zentrale Erkenntnisse aus diesem Piloten waren, dass noch nicht alle verfügbaren Baumaschinensteuerungsanbieter diese Methode gleich gut bzw. gleich einfach unterstützen. Darüber hinaus wurde deutlich, dass genügend Augenmerk auf die Einweisung der Fahrer gelegt werden sollte. Je einfacher das System für den Maschinenführer anzuwenden ist, desto größer sind die Aussichten auf eine erfolgreiche Umsetzung. Am besten erscheint eine Einweisung des Fahrers auf die Erstellung von Messpunkten zur regelmäßige Eigenkontrolle. Eine Einweisung auf das Aufnehmen von Messpunkten als Ersatz für den Vermesser kann zu kontraproduktiver Verunsicherung führen.

In Finnland wurden die ersten Piloten mit dem Vorgehen im Jahr 2014 umgesetzt. Heute ist dort das modellbasierte Aufmaß und Abrechnung mit vernetzter Baumaschinensteuerung Standard auf allen größeren Infrastrukturmaßnahmen.

So konnten bei einer rund 1,2 km langen Landstraße unter Einsatz dieser Methode rund 410 Stunden an Vermessungsaufwand und 7.600 km Fahrstrecke gegenüber der traditionellen Vorgehensweise eingespart werden.

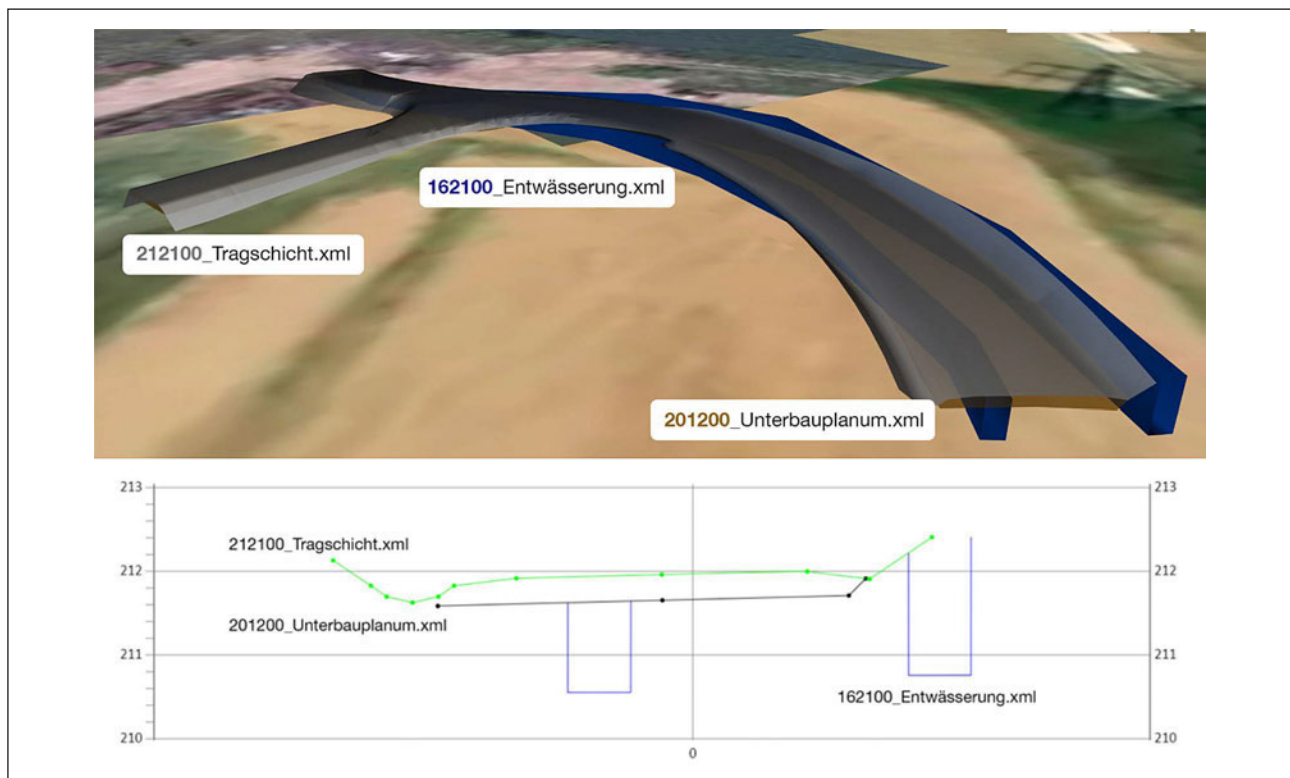


Abb. 4 + 5: Modell einer kleinen Pilotbaustelle

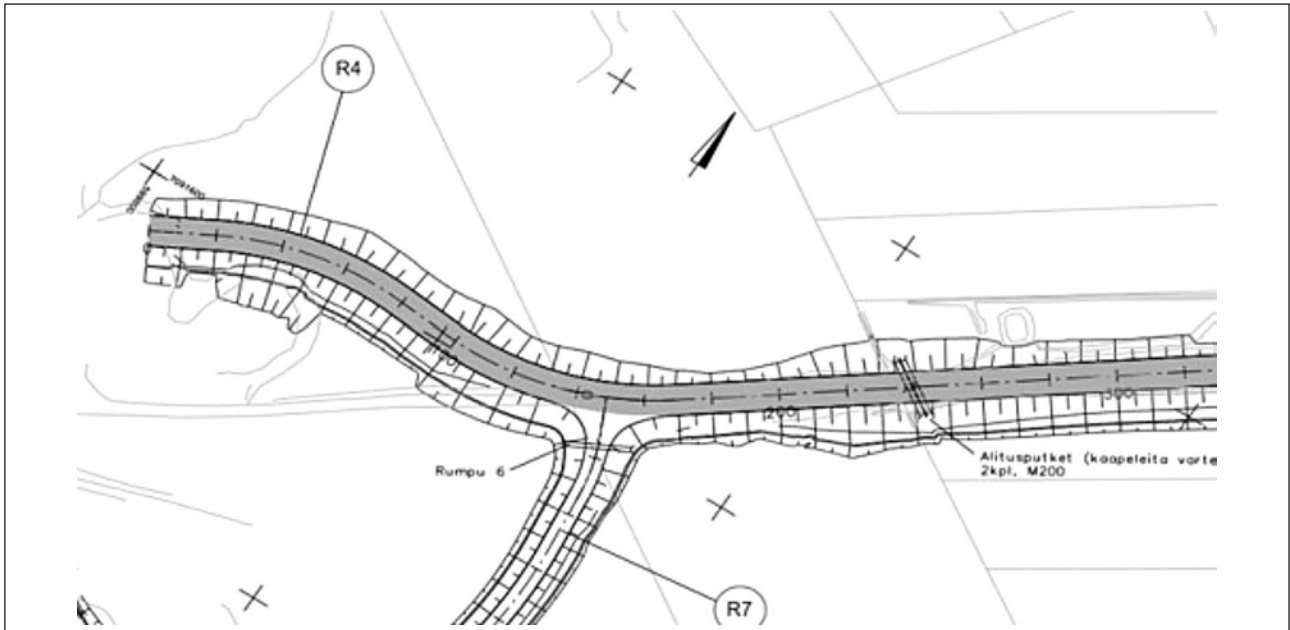


Abb. 6: Praxisbeispiel 1,2 km Landstraße

Bei einem 4,5 km langen Teilabschnitt einer insgesamt 9 km langen Umgehungsstraße der finnischen Stadt Lahti konnte der Vermessungsaufwand mit Einsatz dieses modellbasierten Arbeitens rund halbiert werden.

Bei dem 74 km langen Ausbau der Bahnstrecke Helsinki-Riihimäki wurden bisher 20 % der veranschlagten Baukosten eingespart.

Wie die Abbildung 7 verdeutlicht, wurde bei diesem Projekt eine vollständige Modellierung nach der BIM-Methode vorgenommen. Das während der Bauphase sukzessive entstehende digitale Wie-gebaut-Modell wird später in der Betriebs- und Wartungsphase des Bauwerks weiterverwendet werden.

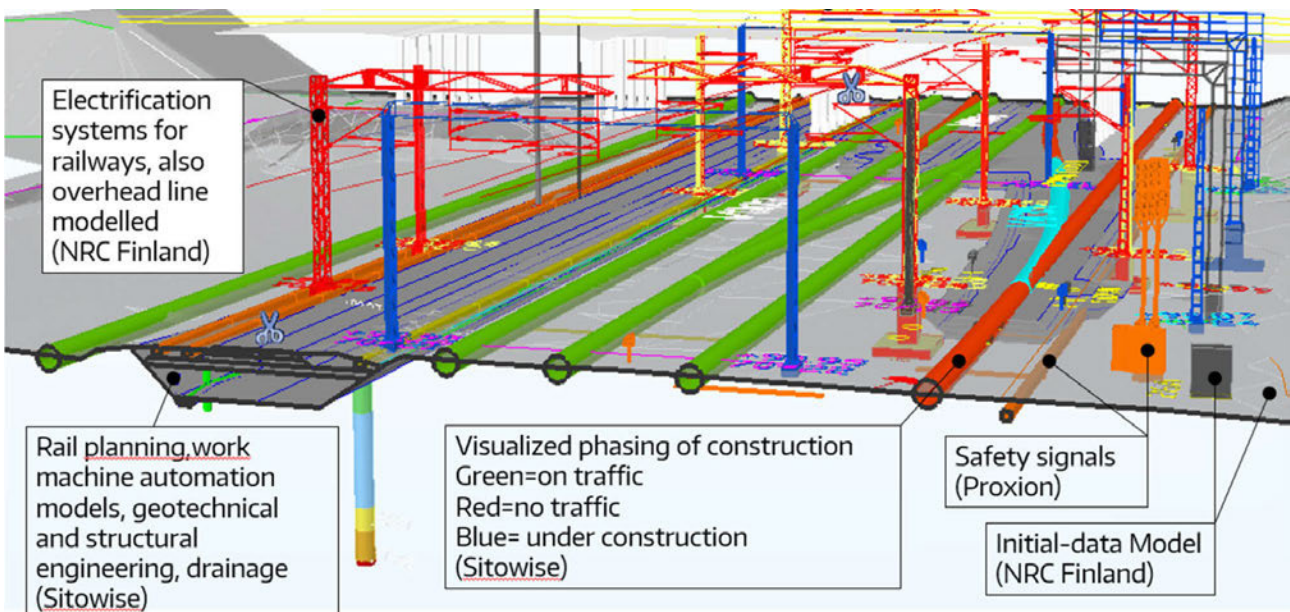


Abb. 7: BIM-Modell Ausbau Bahnstrecke

3.2 Konzept der Qualitätsmessungen

Während der ersten Pilotprojekte im Jahre 2014 und in der folgenden regelmäßigen Anwendung der Arbeitsweise hat sich ein Konzept von Qualitätsmessungen bewährt. Der Baumaschinenfahrer liefert im Rahmen seiner Eigenkontrolle automatisch die erforderlichen Messpunkte als Ist-Geometrie. Dafür prüft er die Querprofile in der Regel in 20 m-Abschnitten, insbesondere die Bruchkanten. Zur Sicherstellung der erforderlichen Messgenauigkeit prüft der Fahrer diese einmal am Tag an dafür vom Vermesser bereitgestellten Kontrollpunkten. Die Messgenauigkeit seines Arbeitswerkzeuges wird mittels der Vernetzung mit der Cloud-Plattform für alle Beteiligten einsehbar dokumentiert. Ergänzend führt der Baustellenvermesser einmal pro Woche eine eigene Kontrolle der Genauigkeit der Maschinen sowie der Basisstationen durch. Damit bleibt die wichtige Sicherstellung der Genauigkeit in seiner Hand.

Nach Herstellung der Planumshöhen und ihrer anschließenden Verdichtung führt der Vermesser ggf. auch gemeinsam mit dem Auftraggeber alle 100 m oder 200 m Qualitätsmessungen durch. Auch diese werden in der Cloud-Plattform abgelegt. Nur wenn die Ist-Geometrie mehr als die zulässige Toleranz von der Soll-Geometrie abweicht, werden Kontrollmessungen zur Ursachenfeststellung durchgeführt. Dieses Vorgehen ist mit dem Konzept der Bohrkerne beim Deckeneinbau vergleichbar.

Die Freigabe der Messpunkte und Ist-Geometrie kann mehrstufig erfolgen. Nach einer Eigenplausibilisierung durch z. B. den Vermesser oder Bauabrechner kann die Leistungserfassung zur Freigabe an den Bauüberwacher weitergeleitet werden.

4. Fazit

Bauen, erfassen, prüfen, abrechnen und dokumentieren ist ohne Papier schon jetzt rein digital möglich und wird in Skandinavien bereits erfolgreich eingesetzt. Die Vorteile für Auftragnehmer und -geber liegen auf der Hand. Eine schnelle Informationsverfügbarkeit in der Baufortschrittskontrolle wird ermöglicht – in Echtzeit.

Dadurch lassen sich während der Bauausführung schneller Fehler erkennen und vermeiden. Nacharbeiten reduzieren sich.

Durch die teilautomatisierte Leistungserfassung mittels Baumaschinensteuerung reduzieren sich Vermessungsaufwand und -kosten deutlich.

Das Qualitätskonzept stellt sicher, dass der Vermesser weiter die Genauigkeit sicherstellt und überwacht, ohne dabei seine Zeit für einfache Routineaufgaben zu verbrauchen.

Durch die Zeiteinsparung beim Vermesser als auch bei der Bauausführung durch weniger Nacharbeiten wird dem Fachkräftemangel begegnet.

Im deutschsprachigen Raum steckt diese Arbeitsweise noch in den Anfängen. Eine weitere Erprobung und

schrittweise Umsetzung stehen bevor, das Interesse besonders bei Bauunternehmen ist vorhanden. Parallel hat der Auftraggeber mit seinen BIM-Regelwerken die Voraussetzungen bis hin zur Plausibilisierung der Leistungserfassung und Prüfung der Abrechnungen geschaffen.

Literaturangaben

- [1] Amann, J., Borrmann, A., 2015. Open BIM for Infrastructure – mit OKSTRA und IFC Alignment zur internationalen Standardisierung des Datenaustausches, Internetabruf von publications.cms.bgu.tum.de am 26.11.2020, TU München
- [2] Berner, F. et al., 2020. Grundlagen der Baubetriebslehre 1, 3. Auflage, Leitfaden des Baubetriebs und der Bauwirtschaft, Springer
- [3] Blankenbach, J., Becker, R., 2020. BIM und die Digitalisierung im Bauwesen, Handbuch Industrie 4.0: Recht, Technik, Gesellschaft, S. 777-797, Springer
- [4] Blankenbach, J., Lehmkuhler, H., 2017. Building Information Modeling – Einführung und Grundlagen, 161. DVW-Seminar, Hamburg
- [5] BMVI. Stufenplan Digitales Planen und Bauen. Internetabruf www.bmvi.de 22.11.2020
- [6] Bornemann, G., Codiertes Aufmaß, eine Alternative zur klassischen Aufnahme mit Feldbuch, VDVmagazin 2/07
- [7] Borrmann, A. et al., 2015. Building Information Modeling – Technologische Grundlagen und industrielle Praxis, Springer
- [8] Borrmann, A. et al., 2019. Steckbriefe der wichtigsten BIM-Anwendungsfälle – Handreichungen und Leitfäden Teil 6, BMVI Berlin
- [9] Brandt, T., 2017. Aufmaß und Abrechnung in Würfele, F. et al.. Bauobjektüberwachung, Springer
- [10] BWI-Bau, 2013. Besonderheiten der Bauproduktion in Ökonomie des Baumarktes, Springer
- [11] Common InfraBIM Requirements YIV 2019, Internetabruf buildingsmart.fi 19.11.2020
- [12] DEGES, 2020. BIM-Anwendungsfälle – Version 2.3, Internetabruf auf www.deges.de 24.11.2020
- [13] Deutsche Bahn, 2020. Anwendungsfälle Ausführen, BIM Lebenszyklus, Internetabruf www.deutschebahn.com/db-netz-bim/ 11.08.2020
- [14] DIN 18710, 2010, Beuth Berlin
- [15] Ferger, M., 2013. Implementierung von digitalen Geländemodellen und Baumaschinendaten in die modellorientierte Projektorganisation im Infrastrukturbau, 24. Assistententreffen der Bereiche Bauwirtschaft, Bautechnik und Bauverfahren S. 31-38, Weimar
- [16] Ferger, M., 2014. Verfahren zur IT-gestützten Ermittlung von Prozess- und Abrechnungsmengen des Erdbaus unter Einsatz von Baumaschinensteuerungen, Dissertation Universität Siegen, Cuvillier

- [17] Funke, F. et al., 2006. Elektronische Bauabrechnung unter Verwendung digitaler Geländemodelle, Geschäftsbericht Bayerischer Kommunalen Prüfungsverband, München
- [18] Günther, W., Bormann, A., 2011. Digitale Baustelle – innovativer Planen, effizienter Ausführen in Werkzeuge und Methoden für das Bauen im 21. Jahrhundert, Springer
- [19] InfraBIM Classification, Internetabruf buildingsmart.fi 19.11.2020
- [20] Kivimäki, T., Heikkilä, R., 2015. Infra BIM based Real-time Quality Control of Infrastructure Construction Projects, University of Oulu, Internetabruf www.researchgate.net 22.11.2020
- [21] Meyer, H.J., 2003. Anwendung von geodätischen Positionsmesssystemen in Straßenbaumaschinen. Fachtagung Baumaschinentechnik 2003, Dresden
- [22] Morte, R. et al., 2019. Geotechnische Messverfahren in Handbuch Geotechnik, Springer
- [23] Obergießer, M., 2017. Konventioneller und modellgestützter Planungsansatz im Infrastrukturbau in Digitale Werkzeuge zur integrierten Infrastrukturbauwerksplanung, Springer
- [24] Petschek, P., 2014. Geländemodellierung, 2. Auflage, Birkhäuser
- [25] Roullier, G., 2013. Baumaschinensteuerung – Einsatz von intelligenten Vermessungssystemen bei Tief- und Straßenbauarbeiten. Geomatik Schweiz Geoinformation und Landmanagement 111, 3, S. 96-98
- [26] Schweiger, V., Beetz, A.: Baumaschinensteuerung – der ingenieurgeodätische Beitrag, Ingenieurgeodäsie S. 283-318, 2017
- [27] Stange, M., 2020. Theoretische Grundlagen in Building Information Modelling im Planungs- und Bauprozess, Springer
- [28] Stempfhuber, W., 2010. Echtzeitdokumentation bei 3D-Baggeranwendungen in Wunderlich, T.. Ingenieurvermessung 2010, Herbert Wichmann
- [29] Stempfhuber, W., Ingensand, H., 2008. Baumaschinenführung und -steuerung – Von der statischen zur kinematischen Absteckung, Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, 133(1), S. 36-44
- [30] Taina, H., 2019. Gespräch mit Harri Taina Vermessungsingenieur Destia Oy über die Anwendung der Methode, Lahti Finnland
- [31] Tiemann, I., 2019. Prozessorientierung im Außendienst mit dem grafischen Feldbuch, 20. Internationale Geodätische Woche Obergurgl 2019, Internetabruf IUBH School of Business and Management, 27.11.2020
- [32] Wiesner, A. et al., 2017. Ingenieurgeodäsie – eine Einführung in Ingenieurgeodäsie, Springer



**Asphalt-
bauweisen**

Asphaltoptimierung nach Performancekriterien

Dipl.-Ing. Erik Kamratowsky
TU Dresden, Deutschland

Prof. Dr.-Ing. habil. Frohmut Wellner
TU Dresden, Deutschland

Zusammenfassung

Um die vorhandenen Ressourcen effizienter nutzen und ein weitgehend sicheres und dauerhaftes Verkehrsnetz bieten zu können, ist es von großer Bedeutung die einzelnen Konstruktionsschichten von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt ihrer Beanspruchung entsprechend zu konzipieren. Das Ziel des Forschungsvorhabens „Entwicklung von Asphalten für zukünftige schwerste Verkehrsbelastungen“ ist, über die Bestimmung des Einflusses der Zusammensetzung von Asphaltdeckschichtgemischen auf deren Gebrauchseigenschaften eine Herangehensweise für die Asphaltkonzeption unter Verwendung von gebrauchsverhaltenorientierten Prüfverfahren zu entwickeln. Die Ergebnisse der Versuchsergebnisse und der Prognoserechnungen zeigten ebenfalls, dass es bei allen untersuchten Asphaltgemischen jeweils ein Bereich des Bindemittelgehaltes bestimmt wurde, in denen sich das Griffigkeits-, das Ermüdungs- und das Verformungsverhalten nur geringfügig ändern.

1. Einleitung

In Deutschland werden Verkehrsflächenbefestigungen größtenteils auf der Grundlage empirisch gewonnener Erkenntnisse dimensioniert und ausgeführt. Die Festlegung der Dicken der gebundenen und ungebundenen Schichten von Straßenbefestigungen erfolgt unter Anwendung der Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen [3]. Des Weiteren wird das Gebrauchsverhalten der Baustoffgemische dieser Schichten indirekt über ihre Zusammensetzungen und einige wenige leistungsbezogene Prüfverfahren beschrieben.

Um die noch vorhandenen Ressourcen effizienter nutzen und ein weitgehend sicheres und dauerhaftes Verkehrsnetz bieten zu können, ist es von großer Bedeutung die einzelnen Konstruktionsschichten von Verkehrsflächenbefestigung aus Asphalt ihrer Beanspruchung entsprechend zu konzipieren. Geeignete Werkzeuge für die Prognose der strukturellen Substanz auf der Grundlage materialtechnischer und stochastisch abgesicherter Kennwerte stellen die Verfahren der Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschichten [2] zur Prognose der Nutzungsdauer einer Asphaltbefestigung und das in [8] beschriebene Verfahren zur Prognose der Spurrinnenentwicklung dar.

Das Forschungsvorhaben „Entwicklung von Asphalten für zukünftige schwerste Verkehrsbelastungen“ des Deutschen Asphaltinstitutes (DAI) wurde an der Techni-

schen Universität Dresden bearbeitet und aus den Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsgemeinschaften (AiF) gefördert. Das Ziel des Forschungsvorhabens ist, über die Bestimmung des Einflusses der Zusammensetzung von Asphaltdeck- und Asphaltbindergemische auf deren Gebrauchseigenschaften eine Herangehensweise für die Asphaltkonzeption von diesen Materialien für zukünftige schwerste Verkehrsbelastung unter Verwendung von gebrauchsverhaltenorientierte Asphaltprüfverfahren zu entwickeln. In diesem Artikel werden die Ergebnisse der Laboruntersuchungen und der Prognoseberechnungen der Asphaltdeckschichtgemische vorgestellt.

2. Untersuchte Materialien

In die Untersuchungen werden als Asphaltdeckschichtmaterialien ein Splittmastixasphalt mit einem Größtkorn von 11 mm unter zweifacher Variation der Korngrößenverteilung sowie als Asphaltbindergemische ein stetig gestufter Asphaltbeton und ein Splittmastixasphalt mit jeweils einem Größtkorn von 16 mm einbezogen. Die Asphaltbindergemische werden nach Hinweise für die Planung und Ausführung von alternativen Asphaltbinderschichten [1] hergestellt. Als Bindemittel kommen polymermodifizierte Bitumen zum Einsatz.

Damit der Einfluss der Korngrößenverteilung (KGV) des Asphaltes auf die Materialeigenschaften bestimmt werden kann, müssen die Sieblinien der einzelnen Deck-

bzw. Binderschichten möglichst weit auseinander liegen. Somit wird für die Variation der Korngrößenverteilung des SMA 11 S die obere (feine KGV) und die untere Grenze (grobe KGV) des Toleranzbereiches der TL Asphalt-StB 07 [4] verwendet. Die Korngrößenverteilung der Binderschichtgemische wird nach dem gleichen Prinzip variiert. Somit wird für den AC 16 B S SG die obere Grenze und für den SMA 16 B S die untere Grenze nach H Al Abi als Sieblinie verwendet.

Der Bindemittelgehalt wurde für jede Korngrößenverteilung ebenfalls variiert. Dafür wurde mithilfe der Untersuchungen des Gesteins und der Bitumen der Bindemittelbedarf der Asphaltgemische nach dem Verfahren von Radenberg et al. [10] ermittelt. Die Methode wurde zur Ermittlung des Bindemittelbedarfes für Dünne Schichten im Kalteinbau entwickelt. Bei diesem Verfahren wird der notwendige Bindemittelbedarf unter Betrachtung der spezifischen Oberfläche, der Bitumenfilmdicke, dem tatsächlichen Massenanteil der Gesteinsfraktion und der Kornformkennzahl ermittelt. In Tabelle 1 sind die Ergebnisse für die Asphaltgemische zusammengefasst.

Tabelle 1: Bindemittelbedarf der Asphaltgemische

Asphaltgemisch	Bindemittelbedarf
SMA 11 S: feine KGV	7,0 M-%
SMA 11 S: grobe KGV	5,8 M-%
AC 16 B S SG	7,0 M-%
SMA 16 B S	5,4 M-%

Für die Asphaltdeckschichtgemische und dem SMA 16 B S wird mithilfe des Verfahren jeweils ein realistischer Bindemittelbedarf ermittelt. Das Verfahren zeigt jedoch Grenzen bei der Ermittlung des Bindemittelbedarfes für den stetig gestuften Asphaltbeton (AC 16 B S SG), aufgrund des deutlich zu hohen Bindemittelgehaltes des Asphaltbindergemisches. Zur Festlegung der endgültigen Spanne für die Variation des Bindemittelgehaltes wurden zusätzlich Erstprüfungen an den Asphaltgemischen durchgeführt. In Tabelle 2 sind alle untersuchten Materialien zusammengefasst.

Tabelle 2: Übersicht der Asphaltgemische

Asphaltgemisch	Bitumen-sorte	Bindemittelgehalt [M-%]
SMA 11 S fKGV	25/55-55A	6,03/6,50/6,79/7,52/8,02
SMA 11 S gKGV	25/55-55A	5,61/6,42/6,71/7,76
SMA 11 S fKGV	10/40-65A	7,01
AC 16 B S SG	10/40-65A	4,75/5,00/5,68/5,98/6,55
SMA 16 B S	10/40-65A	5,17/5,47/6,03/6,50
AC 16 B S SG	25/55-55A	5,28

3. Versuchsergebnisse

In diesem Artikel werden lediglich die Versuchsergebnisse der Asphaltdeckschichtgemische dargestellt. Die vollständigen Untersuchungsergebnisse sind im Abschlussbericht [9] enthalten und über die Homepage des DAI abrufbar.

3.1 Einfluss der Asphaltzusammensetzung auf das Steifigkeitsverhalten

Die Bestimmung der Hauptkurve zur Beurteilung des Steifigkeitsverhaltens erfolgt anhand von einaxialen Druck-Schwellversuche am schlanken Probekörper. Somit kann die Hauptkurve auch bei Temperaturen über 20°C versuchstechnisch ermittelt werden. Die Versuche werden als Multistage-Versuche über mehrere Temperaturen und Frequenzen durchgeführt. Für die Versuche bei einer Temperatur von 35°C wurde ein neuer Probekörper verwendet, damit Teilschädigungen, die das Ergebnis beeinflussen können, ausgeschlossen sind. Die Versuchsparameter sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Tabelle 3: Versuchsparameter zur Bestimmung der Hauptkurve

T [°C]	F [Hz]	$\epsilon_{ele.anf}$ [‰]	σ_u [N/mm ²]	σ_o [N/mm ²]
-10; 5; 20; 35	0,1; 0,3; 1; 3; 5; 10	ca. 0,065	0,035	T und f abhängig

Zur Minimierung der Querdehnungsbehinderung wird zwischen dem Probekörper und dem Laststempel bzw. der Lastplatte eine Teflonfolie angeordnet. Die Messung der vertikalen Dehnungen erfolgt über die Extensometer, die mithilfe von Magneten am Probekörper befestigt sind.

In Abbildung 1 sind die Steifigkeitsmodul-Temperatur-Funktionen der untersuchten Asphaltdeckschichtvarian-

ten (SMA 11 S feine KGV) und in Abbildung 2 die Steifigkeitsmodul-Temperatur-Funktionen der untersuchten Asphaltdeckschichtvarianten (SMA 11 S grobe KGV) unter Variation des Bindemittelgehaltes dargestellt. Der Einfluss der Sieblinie ist deutlich erkennbar. Die Steifigkeiten erhöhen sich durch die Verwendung einer feineren Korngrößenverteilung.

Die Steifigkeiten der untersuchten Materialien mit einer feinen Korngrößenverteilung reduzieren sich mit zunehmenden Bindemittelgehalt. Eine Ausnahme stellt die Variante mit einem Bindemittelgehalt von 6,79 M-% dar. Diese Variante besitzt höhere Steifigkeiten bei tiefen Temperaturen als die Variante mit einem geringeren Bindemittelgehalt. Bei der groben Korngrößenverteilung bewirkt die Erhöhung des Bindemittelgehaltes eine Zunahme der Steifigkeiten bei tiefen Temperaturen. Allerdings besitzt die Variante mit dem geringsten Bindemittelgehalt die höchsten Steifigkeiten bei Temperaturen über -10°C. Des Weiteren verlaufen die Steifigkeitsmodul-Temperatur-Funktion bei den anderen Varianten nahezu identisch über einer Temperatur von 0°C.

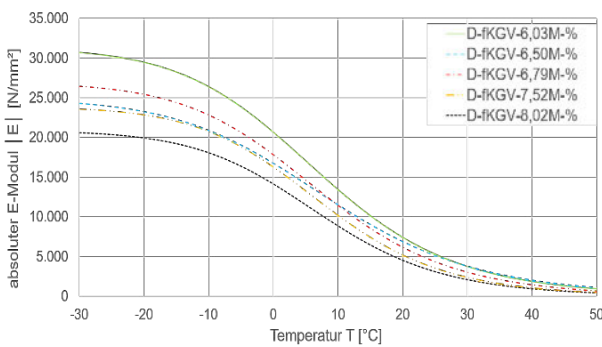


Abb. 1: Steifigkeitsmodul-Temperatur-Funktion SMA 11 S feine KGV

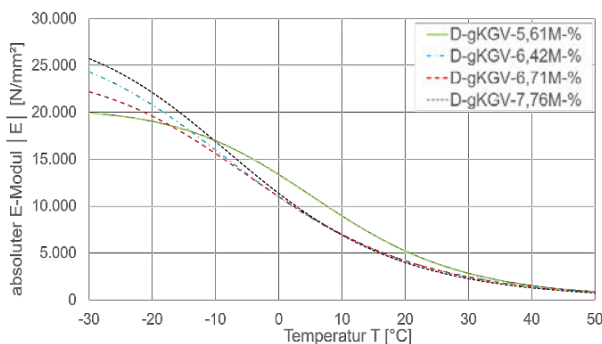


Abb. 2: Steifigkeitsmodul-Temperatur-Funktion SMA 11 S grobe KGV

3.2 Einfluss der Asphaltzusammensetzung auf das Ermüdungsverhalten

Die Bestimmung der Ermüdungsfunktionen der Asphaltvarianten erfolgte gemäß der TP Asphalt-StB Teil 24 Entwurf 2017 [5] mithilfe des Spaltzug-Schwellversuches. In Abbildung 3 und 4 sind die Ermüdungsfunktionen

der Asphaltdeckschichtvarianten dargestellt. Bei beiden Korngrößenverteilungen der Deckschichtvarianten nehmen die ertragbaren Lastwechselzahlen mit zunehmendem Bindemittelgehalt bei gleichen elastischen Anfangsdehnungen zu. Bei der feinen Korngrößenverteilung verschlechtert sich die Ermüdungsfunktion erst ab der Variante mit einem Bindemittelgehalt von 8,02 M-%. Dabei verschieben sich die Ermüdungsfunktionen mit Zunahme des Bindemittelgehaltes bei beiden Sieblinien annähernd parallel zueinander. Bei elastischen Anfangsdehnungen von $\epsilon_{el,anf} \leq 0,12 \%$ weisen die Varianten der feinen Korngrößenverteilung bei gleichem Bindemittelgehalt eine bessere Ermüdungsfunktion auf, als die Varianten mit der groben Sieblinie bis zu einem Bindemittelgehalt von 6,50 M-%. Die grobe Korngrößenverteilung bei einem Bindemittelgehalt von circa 6,7 M-% besitzt eine bessere Ermüdungsfunktion ab einer elastischen Anfangsdehnungen von $\epsilon_{el,anf} \leq 0,085 \%$ als die feine Korngrößenverteilung. Bei dem Bindemittelgehalt von 7,76 M-% besitzt die grobe Sieblinie ein besseres Ermüdungsverhalten im gesamten untersuchten Bereich als die der feineren. Zusätzlich besitzen die Deckschichtgemische mit der feinen Korngrößenverteilung größere Steifigkeiten, sodass bei gleicher Lasteintragung geringere Dehnungen im Asphalt entstehen. Somit ist ein besseres Ermüdungsverhalten zu erwarten.

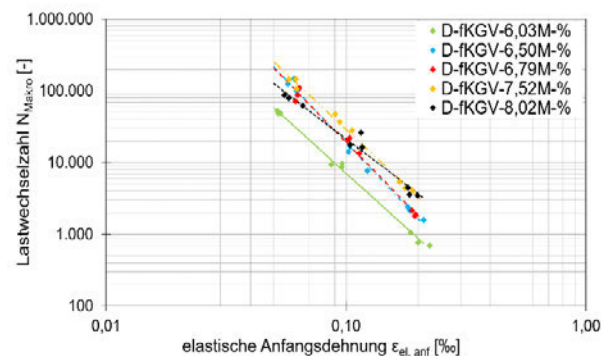


Abb. 3: Ermüdungsfunktion SMA 11 S feine KGV

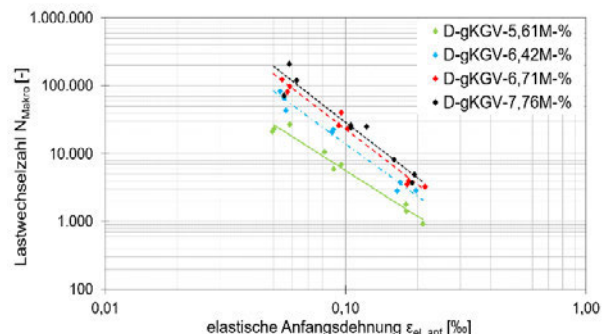


Abb. 4: Ermüdungsfunktion SMA 11 S grobe KGV

3.3 Einfluss der Asphaltzusammensetzung auf das Verformungsverhalten

Der Einfluss der Asphaltzusammensetzungen auf das Verformungsverhalten wird mit dem einaxialen Druck-Schwellversuch und an ausgewählten Asphaltvarianten mit dem Triaxialversuch mit Druckbeanspruchung überprüft. Die Untersuchung der Verformungsbeständigkeit erfolgt in Teilschritten:

- Einaxiale Druck-Schwellversuche am schlanken Probekörpern als Multistage-Versuche
- Einaxiale Druck-Schwellversuche am gedrunenen Probekörpern als Multistage-Versuche
- Einaxiale Druck-Schwellversuche nach TP Asphalt-StB 25 B 1
- Triaxialversuche mit Druckbeanspruchung an den optimierten Asphaltvarianten.

Die verschiedenen Versuchsdurchführungen kommen zur Anwendung, um in Auswertung der Versuche und der geplanten Prognoserechnungen der Spurrinnenentwicklung beurteilen zu können, ob zum einen der einaxiale Druck-Schwellversuch nach TP Asphalt-StB 25 B 1 den Widerstand der Asphalte gegenüber bleibenden Verformungen korrekt beurteilen kann. Zum anderen soll die Frage beantwortet werden, ob es möglich ist, ausschließlich anhand der Ergebnisse der einaxialen Druck-Schwellversuche Spurrinnenprognoserechnungen durchführen und auf die Verwendung von Triaxialversuchen verzichten zu können.

Nachfolgend wird die Versuchsdurchführung des einaxialen Druck-Schwellversuches erläutert und dessen Ergebnisse an den Asphaltdeckschichtgemischen dargestellt.

Bei dem einaxialen Druck-Schwellversuch am schlanken Probekörper werden Probekörper mit einem Durchmesser von 100 mm und einer Höhe von 200 mm geprüft. Der Probekörper wurde mindestens 6 Stunden vor Versuchsbeginn auf die jeweilige Prüftemperatur temperiert und anschließend zentrisch unter den Laststempel in die Prüfeinrichtung eingebaut. Zur Minimierung der Querdehnungsbehinderung wird zwischen dem Probekörper und dem Laststempel bzw. der Lastplatte eine Teflonfolie angeordnet. Die Versuche werden als Multistage-Versuche über mehrere Temperaturen bei einer Frequenz von 10 Hz durchgeführt. Die Belastung der Probekörper erfolgt in Form einer kraftgeregelten, harmonischen Sinusschwellbelastung ohne Lastpausen. Die Unterspannung dient der Lagesicherung des Probekörpers während des Versuches und beträgt 0,020 MPa für alle Versuche. Während eines Versuches wird der Probekörper mit 3 unterschiedlichen Oberspannungen mit jeweils 30.000 Lastwechsel belastet. Die Messung der vertikalen Verformungen während des Versuches erfolgten über drei Extensiomter, die in Probekörpermitte jeweils um 120° versetzt angeordnet sind. Die Extensiomter wurden mit

Hilfe von Gummiringen direkt am Probekörper angebracht, da die Klebeverbindung mit dem Magneten über die Versuchsdauer von 3 Stunden unter den Belastungen versagte. Zusätzlich sind noch 3 induktive Wegaufnehmer auf dem Laststempel positioniert.

In Abbildung 5 sind die plastischen Dehnungen der Deckschichtvarianten in Abhängigkeit des Bindemittelgehaltes dargestellt. Für beide Korngrößenverteilungen ist zu erkennen, dass sich die plastischen Dehnungen mit zunehmendem Bindemittelgehalt zunächst reduzieren. Bei dem Bindemittelgehalt von 6,7 M-% bewirkt eine weitere Zugabe an Bitumen eine Verschlechterung der Verformungsbeständigkeit. Des Weiteren weisen die Varianten mit der feinen Korngrößenverteilung gegenüber denen mit der gröbereren eine schlechtere Verformungsbeständigkeit mit gleichem Bindemittelgehalt und eine deutlichere Zunahme der plastischen Dehnungen ab einem Bindemittelgehalt von 6,70 M-% auf. Der Bindemittelgehalt von 6,71 M-% stellt aber nicht zwangsläufig den optimalen Bindemittelgehalt in Bezug auf die Verformungsbeständigkeit der groben Korngrößenverteilung dar. Es besteht die Möglichkeit, dass die Variante mit einem Bindemittelgehalt von 7,50 M-% eine bessere Verformungsbeständigkeit aufweisen könnte. Die Versuche belegen lediglich, dass sich das Verformungsverhalten bei einem Bindemittelgehalt von 7,76 M-% sich wieder verschlechtert.

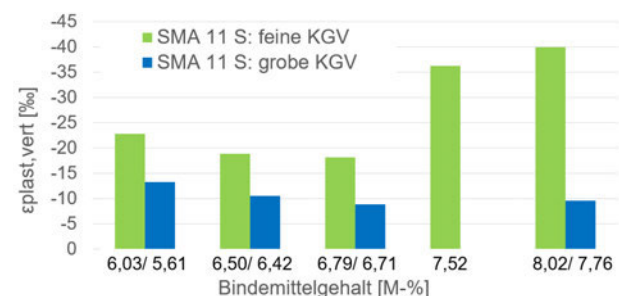


Abb. 5: Ergebnisse des einaxialen Druck-Schwellversuchs der Deckschichtvarianten bei $T=40^{\circ}\text{C}$; $\sigma_0=0,15 \text{ N/mm}^2$

3.4 Einfluss der Asphaltzusammensetzung auf das Griffigkeitsverhalten

Im Anschluss an das Forschungsprojekt wurde der Einfluss der Asphaltzusammensetzung auf das Griffigkeitsverhalten mithilfe des Prüfverfahrens nach Wehner/Schulze in der Diplomarbeit [11] untersucht. Das Prüfverfahren Wehner/Schulze simuliert zeitraffend die Verkehrsbeanspruchung durch drei umlaufende, konische Gummirollen, die die Oberfläche der Asphaltplatte auf einer Kreisbahn befahren. Während der Überrollung der Gummirollen wird ständig ein Wasser-Quarz-Gemisch auf die Oberfläche des Probekörpers gespült um zum einen die Rollen zu kühlen und zum anderen um die Polierwirkung zu verstärken. Nach 90.000 Überrollungen der Asphaltplatte wurde die Oberfläche mit

Korundsand abgestrahlt. Die Sandstrahlung simuliert die Beanspruchung der Asphaltfahrbahn durch Witterungseinflüsse und dem Winterdienst. Danach erfolgten 2 Durchgänge mit jeweils 90.000 Überrollungen. Der Reibungskoeffizienten wurde jeweils nach 90.000 Überrollungen und dem Sandstrahlen des Probekörpers mithilfe der Prüfanlage Wehner/Schulze automatisiert unter definierten Prüfbedingungen ermittelt. Die Endgriffigkeit der Asphaltplatte wurde somit nach 270.000 Überrollungen bestimmt.

Die Ergebnisse der Endgriffigkeit der Asphaltdeckschichtgemische sind für die feine KGV in Abbildung 6 und für die grobe KGV in Abbildung 7 dargestellt. Die feine Korngrößenverteilung besitzt im gesamten untersuchten Bindemittelbereich deutlich schlechtere Endgriffigkeitswerte als die grobe Korngrößenverteilung. Bei beiden Sieblinien der Deckschichtgemische konnte ein Bindemittelbereich festgestellt werden, indem die Variation des Bindemittelgehaltes geringe Auswirkungen auf das Griffigkeitsverhalten besitzt. Dieser Bereich liegt bei beiden Korngrößenverteilungen bei einem Bindemittelgehalt zwischen 6,0 M-% und 7,0 M-%. Bei einer weiteren Erhöhung des Bindemittelgehaltes nimmt die Endgriffigkeit insbesondere bei der feinen Korngrößenverteilung ab [11].

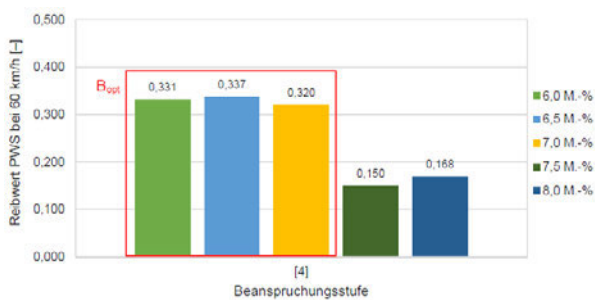


Abb. 6: Reibwert PWS in Abhängigkeit des Bindemittelgehaltes SMA 11 S feine KGV [11]

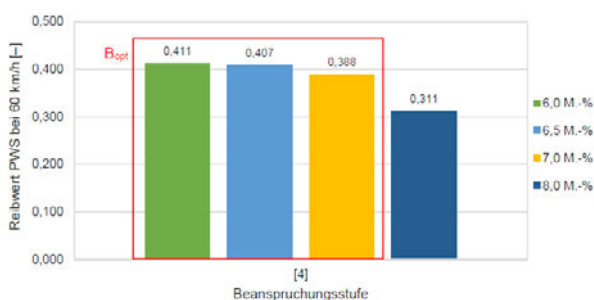


Abb. 7: Reibwert PWS in Abhängigkeit des Bindemittelgehaltes SMA 11 S grobe KGV [11]

4. Ergebnisse der Prognoseberechnungen

Mit den Versuchsergebnissen werden Prognoserechnungen durchgeführt, welche die Auswirkungen der Asphaltzusammensetzung auf Erhaltungs-/Erneuerungsinter-

valle verdeutlichen können. Die Prognoserechnungen sollen sich hauptsächlich auf die Spurrinnenbildung und Ermüdungsrissbildung innerhalb der Asphaltdeckschicht konzentrieren. Anhand der Versuchsergebnisse und dieser Prognoserechnungen sollen sowohl eine verbesserte Methode zur Bestimmung der Asphaltkonzeption als auch Konzeptionen für Asphaltgemische entwickelt werden, welche hinsichtlich ihrer Eigenschaften und Anforderungen optimiert sind.

Die Prognoserechnungen wurden unter Annahme der folgenden Parameter durchgeführt. Die Mindestdicke des frostsicheren Oberbaus wurde bei einer BK 100 mit 70 cm ermittelt. Als Häufigkeitsverteilung des Achslastkollektivs wurde BAB Fernverkehr und der Oberflächentemperaturen die Zone 3 ausgewählt. Der Konstruktionsaufbau wurde nach RSTO 12 Tabelle/Zeile 1 ausgewählt:

- 4cm Asphaltdeckschicht
- 8 cm Asphaltbinderschicht
- 22 cm Asphalttragschicht
- 36 cm Frostschuttschicht.

Die Ergebnisse der Prognoserechnungen wurden wegen noch nicht erfolgter Kalibrierung der Verfahren (Ermüdung Nachweispunkt Deckschicht und Prognose der Spurrinnenbildung) als Relativwerte angegeben. Es erfolgte die Festlegung des Ergebnisses des nachfolgenden Befestigungsaufbaus als Referenzwert (100%):

- SMA 11 S, feine Korngrößenverteilung, 6,79 M-% Bindemittelgehalt
- AC 16 B S SG, 5,00 M-% Bindemittelgehalt
- AC 22 T S, 4,39 M-% Bindemittelgehalt (50/70).

Bei den unterschiedlichen Berechnungen wird nur die Asphaltdeckschicht variiert.

4.1 Ermüdungsrissbildung innerhalb der Asphaltdeckschicht

Die Nachweisführung für die Deckschicht erfolgte in Analogie zu dem Verfahren der RDO Asphalt 2009 [2] für die Tragschicht. Nach RDO Asphalt 2009 sind die Beanspruchungen des Asphaltes soweit zu begrenzen, dass Risse in den Asphaltsschichten während des Nutzungszeitraumes auszuschließen sind. Dabei wird angenommen, dass bis zu einer bestimmten Anzahl an ertragenen Lastwechselzahlen bei einer bestimmten Biegezugdehnung die Rissbildung verhindert werden kann. Erst bei einer Überschreitung der sogenannten Grenzlasterwechselzahl entstehen Risse in der jeweiligen Asphaltsschicht. Die Grenzlasterwechselzahl ist dabei von dem jeweiligen vorherrschenden Beanspruchungszustand abhängig. Die verschiedenen Beanspruchungszustände setzen sich aus den verschiedenen Achslasten und den unterschiedlichen Temperaturzustände zusammen. Für die Berechnungen wird vorausgesetzt, dass die Teilschädigungen infolge der ertragenen Lastwechsel anhand der Hypothese von Miner zur Gesamtschädigung akkumuliert werden können.

In Abbildung 8 ist der Verlauf der vertikalen Dehnungen im Straßenquerschnitt dargestellt. Der maßgebende Nachweispunkt für die Asphaltdeckschicht ist die Oberseite der Deckschicht unter Betrachtung der vertikalen Zugdehnungen. Die größten Zugdehnungen treten dabei 165 mm neben der Lastachse an der Oberseite der Asphaltdeckschicht auf. Die kryogenen Zugspannungen werden bei diesem Nachweis nicht mit betrachtet, da diese in horizontaler Richtung entstehen und der Einfluss auf die vertikalen Zugdehnungen nicht ausreichend bekannt ist.

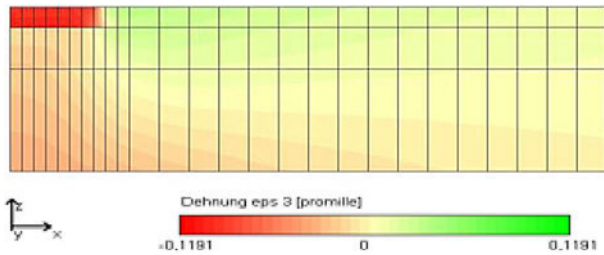


Abb. 8: Verlauf der vertikalen Dehnungen im Straßenquerschnitt

Aus den Ergebnissen der Prognoserechnungen (Abbildung 9) ist ersichtlich, dass die feine Korngrößenverteilung bei gleichem Bindemittelgehalt (mit Ausnahme von 8,0 M-%) des SMA 11 S einen deutlich geringeren Ermüdungsstatus aufweist als die grobe Sieblinie. Die feine Korngrößenverteilung besitzt den geringsten Ermüdungsstatus bei einem Bindemittelgehalt von 6,50 M-%. Bei weiterer Erhöhung des Bindemittelgehaltes verschlechtert sich das Ermüdungsverhalten der Deckschicht allmählich. Dagegen bewirkt die Zunahme des Bindemittelgehaltes über den gesamten untersuchten Bereich eine Verringerung (also Verbesserung) des Ermüdungsstatus bei den Deckschichtvarianten mit der groben Korngrößenverteilung.

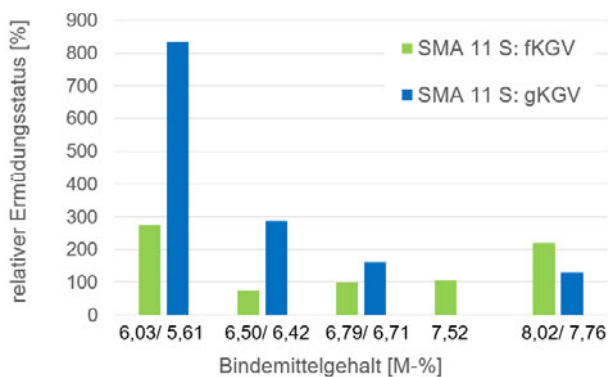


Abb. 9: relativer Ermüdungsstatus der Asphaltdeckschichtgemische

4.2 Prognose der Spurrinnenbildung

Bei diesem Verfahren wird für die Spurrinnenprognose die Akkumulation der bleibenden Dehnungen durch zufallsbedingte Beanspruchungszustände vorgenommen. Dabei wird der Beanspruchungszustand anhand der berechneten elastischen Dehnung definiert. Somit kann durch die Impulskriechkurve, die mit Hilfe der elastischen Dehnung aufgestellt wird, der Zusammenhang zwischen dem Beanspruchungszustand und den plastischen Dehnungen geschaffen werden. Jeder Beanspruchungszustand ist weiterhin durch eine bestimmte Kombination aus den Belastungsgrößen Temperatur und Verkehrslast bestimmt. Anhand der Eintrittswahrscheinlichkeit der Belastungsgrößen kann somit jedem Belastungszustand eine beliebige Lastwechselzahl zugeordnet werden. Dabei werden die Kombination der Belastungsgrößen (Temperatur, Verkehrslast), sowie die Reihenfolge in der die Belastungszustände auftreten, zufällig generiert. Damit saisonale Veränderungen der Temperaturverläufe berücksichtigt werden können, werden Ordnungskriterien bei der zufälligen Kombination der Belastungsgrößen und der Reihenfolge der Belastungszustände eingeführt. Infolge der Beanspruchungszustände können in jedem Punkt des Fahrhahnoberbaus Zug- bzw. Druckdehnungen entstehen, die in den Berechnungen ebenfalls mit berücksichtigt werden. Das Verfahren bietet die Möglichkeit die Zug- und Druckdehnungen unabhängig voneinander zu betrachten und somit auch unabhängige Materialparameter für beide Zustände zu ermitteln. Nach der Berechnung aller Beanspruchungszustände ermitteln sich die gesamten bleibenden Verformungen der Straßenkonstruktion durch Multiplikation der berechneten Verformung je Schicht mit der jeweiligen Schichtdicken und summiert diese über alle Schichten auf. Das Verfahren der Spurrinnenprognose wurde bisher weder validiert noch kalibriert, sodass nur vergleichende Untersuchungen an fiktiven Asphaltbefestigungen möglich sind. Des Weiteren wurde in diesem Forschungsprojekt das Zugverhalten der Asphaltgemische nicht versuchstechnisch ermittelt. Damit werden die Materialparameter, die mit Hilfe der Druck-Schwellversuche bestimmt wurden, für die Zug- und Druckphasen gleichermaßen verwendet. Die Ergebnisse der Spurrinnenprognose (Abbildung 10) belegen, dass die grobe Korngrößenverteilung im untersuchten Bindemittelbereich ein besseres Verformungsverhalten (Ausnahme bei einem Bindemittelgehalt von 5,61 M-%) aufweisen als die feine Korngrößenverteilung. Mit zunehmenden Bindemittelgehalt verbessert sich die Verformungsbeständigkeit der groben Korngrößenverteilung. Dagegen bewirkt die Zunahme des Bindemittelgehaltes bei der feinen Korngrößenverteilung eine Verschlechterung des Verformungsverhaltens. Zunächst steigt die Spurrinntiefe zwischen den Varianten des SMA 11 S nur allmählich an. Ab dem Bindemittelgehalt von 7,52 M-% kommt es zu einer deutlichen Verschlechterung der Verformungsbeständigkeit. Aufgrund der ge-

ringen Anzahl an auszuwertenden Versuchsergebnissen und der damit verbundenen hohen Unsicherheit bei der Bestimmung der Materialparameter für die Variante des SMA 11 S, der feinen Korngrößenverteilung, mit einem Bindemittelgehalt von 8,02 M-% wird auf eine Darstellung des Ergebnis der Prognoserechnung verzichtet.

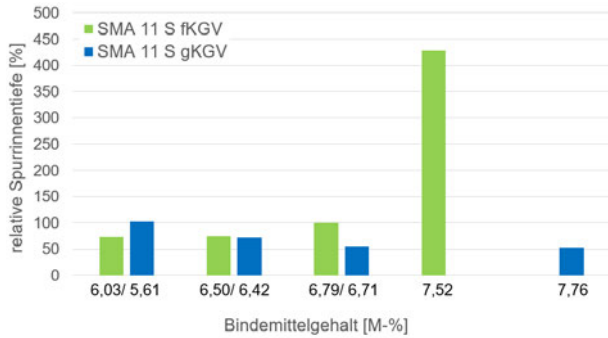


Abb. 10: relative Spurrinnentiefe der Fahrbahnkonstruktion unter Variation der Asphaltdeckschichtgemische anhand des Druck-Schwellversuches am schlanken Probekörper

5. Optimierung der Asphaltdeckschichtgemische

Bei der Optimierung des Bindemittelgehaltes sollten alle Kriterien (Ermüdung-, Verformungsbeständigkeit, Griffigkeit) bewertet werden. Dadurch können Bereiche des Bindemittelgehaltes ermittelt werden, in denen die Schwankung des Bindemittelgehaltes keine negativen Auswirkungen besitzen. Somit ist der optimale Bindemittelgehalt so zu wählen, dass aufgrund der zugelassen Differenz des Bindemittelgehaltes nach ZTV Asphalt 07/13 [7] weder zu Rissen oder Spurrinnen führen kann und eine ausreichende Griffigkeit während der Nutzungsdauer gewährleistet wird. Die feine Korngrößenverteilung besitzt im Bereich des Bindemittelgehaltes von 6,5 M-% bis 7,5 M-% geringe Unterschiede des Ermüdungsstatus. Außerhalb dieser Spanne erhöht sich das Risiko der Rissbildung während des Nutzungszeitraums deutlich. Der Bereich des Bindemittelgehaltes von 6,0 M-% bis 7,0 M-% weist ein sehr ähnliches Verformungsverhalten als auch Griffigkeitsverhalten auf. Dies bedeutet, dass in dem Bereich des Bindemittelgehaltes von 6,5 M-% bis 7,0 M-% der SMA 11 S mit der feinen Korngrößenverteilung nur geringe Unterschiede im Ermüdungs-, Verformungs- und Griffigkeitsverhalten aufweist. Der optimale Bindemittelgehalt sollte so gewählt werden, dass mit der zulässigen Differenz der ZTV Asphalt dieser Bereich eingehalten wird. Somit ist der optimale Bindemittelgehalt des untersuchten SMA 11 S (feine KGV) $B_{opt} = 6,6$ M-% (Abbildung 11).

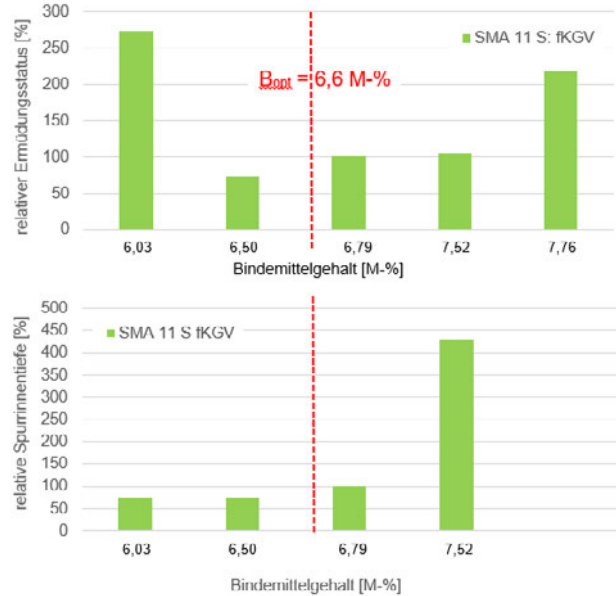


Abb. 11: Optimierung des Bindemittelgehaltes SMA 11 S feine KGV

In dem Bereich des Bindemittelgehaltes von 6,7 M-% bis 8,0 M-% weist der SMA 11 S mit der groben Korngrößenverteilung nur geringe Unterschiede im Ermüdungs- und Verformungsverhalten auf. Allerdings ändert sich das Griffigkeitsverhalten im Bereich des Bindemittelgehaltes von 6,0 bis 7,0 M-% nur geringfügig. Hinsichtlich der Verkehrssicherheit und der Verkehrssicherungspflicht besitzt die Griffigkeit eine maßgebende Rolle. Daher ist der optimale Bindemittelgehalt des SMA 11 S (grobe KGV) $B_{opt} = 6,8$ M-%.

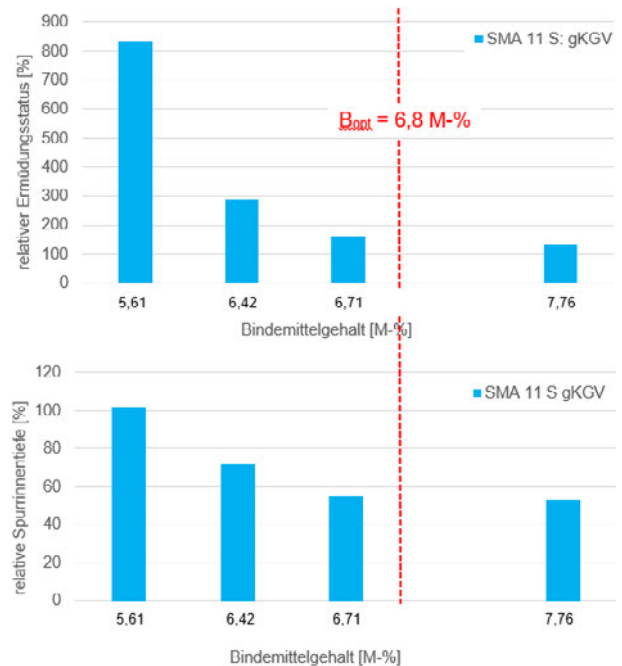


Abb. 12: Optimierung des Bindemittelgehaltes SMA 11 S grobe KGV

6. Zusammenfassung und Ausblick

Hauptziel des Forschungsvorhabens ist es, über die die Bestimmung des Einflusses der Zusammensetzungen von Asphaltdeck- und Asphaltbinderschichtgemischen auf deren Gebrauchseigenschaften eine Herangehensweise für die Asphaltkonzeption von diesen Gemischen für zukünftige schwerste Verkehrsbelastung unter Verwendung von gebrauchsvorhaltensorientierten Asphaltprüfverfahren zu entwickeln. Somit sollen Asphaltgemische entworfen werden, die hinsichtlich ihrer Eigenschaften und Anforderungen optimiert sind. Die Ergebnisse der Versuchsergebnisse und der Prognoserechnungen zeigten ebenfalls, dass es bei allen untersuchten Asphaltgemischen jeweils ein Bereich des Bindemittelgehaltes ermittelt wurde, in denen sich das Griffigkeits-, das Ermüdungs- und das Verformungsverhalten nur geringfügig ändern. Anhand der Laboruntersuchungen und der Prognoserechnung konnte eine Herangehensweise zur Optimierung von Asphaltgemischen für zukünftige schwerste Verkehrsbelastung aufgestellt werden.

Aufgrund einer fehlenden Kalibrierung der Prognoserechnung der Ermüdungsrissbildung für die Deckschicht, sowie die fehlende Validierung der Verfahrensweise der Spurrinnenbildung konnten die Ergebnisse nur als Relativwerte angegeben werden. Zur Ermittlung der Auswirkung der Asphaltgemische auf ihre Nutzungsdauer bzw. auf Erhaltungs-/Erneuerungsintervalle ist es wünschenswert, dass die Verfahren in Zukunft kalibriert bzw. validiert würden. In dieser Arbeit wurde die Optimierung der Asphaltzusammensetzung in Bezug auf die Korngrößenverteilung und des Bindemittelgehaltes für einen SMA 11 S durchgeführt. Eine Ausweitung der Optimierung der Asphaltzusammensetzung auf modifizierte und viskositätsveränderte Bindemittel sollte in weiteren Forschungen mit berücksichtigt werden.

Quellenverzeichnis

- [1] H Al Abi 2015; Hinweise für die Planung und Ausführung von Alternativen Asphaltbinderschichten
Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV Verlag GmbH; Köln; 2015
- [2] RDO-Asphalt 09; Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächenbefestigung mit Asphaltdeckschichten
Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV Verlag GmbH; Köln; 2009
- [3] RStO 2012; Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen
Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV Verlag GmbH; Köln; 2012
- [4] TL Asphalt-StB 2007; Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen
Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV Verlag GmbH; Köln; 2013
- [5] TP Asphalt-StB Teil 24 Entwurf 2017; Spaltzug-Schwellversuch – Beständigkeit gegen Ermüdung
Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, unveröffentlicht; Entwurf 2017
- [6] TP Asphalt-StB Teil 26 Entwurf 2017; Spaltzug-Schwellversuch – Bestimmung der Steifigkeit
Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, unveröffentlicht; Entwurf 2017
- [7] ZTV Asphalt-StB 2007; Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt
Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV Verlag GmbH; Köln; 2013
- [8] Dragon, I.; Reinhardt, U.
Weiterentwicklung der Ansätze für die Spurrinnenprognose von Asphaltbefestigungen, Straße und Autobahn; 66. Jahrgang; Heft 4, Kirchbaum-Verlag GmbH; 2015
- [9] Wellner, F.; Kamratowsky, E.
Entwicklung von Asphalten für zukünftige schwerste Verkehrsbelastung, Schlussbericht zum IGF-Vorhaben Nr. 18472 BR, Dresden, 2018
- [10] Radenberg, M.; Schmitz, J.
Theoretische Berechnung des Bindemittelbedarfes für Dünne Schichten im Kalteinbau (DSK) Bitumen; 58. Jahrgang; Heft 2; Seiten 50-53
Urban-Verlag Hamburg/Wien GmbH, Isernhagen; 1996
- [11] Roski, S.
Auswirkungen der Asphaltzusammensetzung auf das Griffigkeitsverhalten von Asphaltdeckschichtgemischen, Diplomarbeit, Dresden, 2019

Einsatz und messtechnische Überprüfung von emissionsreduziertem Asphalt im kommunalen Straßenbau – ein Beitrag zum Klima- und Arbeitsschutz

Thomas Schönauer B.Eng.

FH Münster - University of Applied Sciences (Forschungsgruppe Verkehrswesen), Münster, Deutschland

Maria Koordt, M.Sc.

Stadt Münster - Amt für Mobilität und Tiefbau, Münster, Deutschland

Dr. Alexander Buttgerit

Stadt Münster - Amt für Mobilität und Tiefbau, Münster, Deutschland

Dr. Daniel Gogolin

Ingenieurgesellschaft PTM, Dortmund, Deutschland

Dr. Knut Johannsen

EUROVIA Services GmbH - MPA, Bottrop, Deutschland

Prof. Dr.-Ing. Hans-Hermann Weßelborg

FH Münster - University of Applied Sciences (Forschungsgruppe Verkehrswesen), Münster, Deutschland



Zusammenfassung

Bereits seit vielen Jahren betreibt das Amt für Mobilität und Tiefbau (AMT) der Stadt Münster ein Umweltmanagement, wobei die Beteiligten aktiv nach umweltverträglichen Lösungen suchen und diese anwenden. Im Jahr 2018 wurde zudem durch die ständige Senatskommission zur Prüfung gesundheitlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) der MAK-Wert (maximale Arbeitsplatz-Konzentration) für Dämpfe und Aerosole von Bitumen (Destillationsbitumen, Air-Rectified-Bitumen und Gussasphalt) auf $1,5 \text{ mg/m}^3$ festgelegt und eine Einstufung der Kanzerogenität in die Kategorie 3B vorgenommen. Da für die Einhaltung des Grenzwertes sowohl technische Maßnahmen an der Einbautechnik als auch Veränderungen in der Materialtechnologie denkbar sind, wurden in einem Gemeinschaftsprojekt zwischen der EUROVIA Services GmbH und der Stadt Münster, vier ländlich gelegene Teststrecken zu einer Hälfte mit Warmmix-Asphalt (WMA) und als Referenz zu einer Hälfte mit konventionell heißgemischtem Asphalt hergestellt. Hierbei kam ein Radfertiger mit einer eingebauten Bohlenabsaugung zum Einsatz, mit welcher etwaige Aerosole und Dämpfe an der Übergabestelle zur Verteilerschnecke abgesaugt und vorne am Mischgutbehälter ausgeblasen werden können. Neben den mit der Eigenüberwachung einhergehenden Messungen (Mischguttemperatur, Verdichtungszustand - Isotopensonde, etc.), welche in Zusammenhang mit den Kontrollprüfungen erste positive Ergebnisse brachten, wurden zusätzliche Expositionsmessungen mit einem Photoionisationsdetektor (PID) durchgeführt. Diese PID-Messungen lieferten zwar ebenfalls plausible Ergebnisse, jedoch können keine Aussagen über die Kanzerogenität getroffen werden.

1. Einleitung

Der Schwerpunkt der Straßenbauarbeiten der Stadt Münster liegt schon seit Jahren in der Straßenerhaltung. Deshalb ist die Prozesskette der Straßenerhaltung nach einem Klimaschutz-Potential, insbesondere der CO₂-Reduktion, untersucht worden. Bei der Betrachtung der Prozesskette ist sehr schnell deutlich geworden, dass das größte Potential in der Einsparung von CO₂-Emission bei der Produktion des Asphaltes an der Mischanlage liegt (vgl. [1, S. 845ff]). Um dieses Potential zu nutzen, ist es aus Sicht des Amtes für Mobilität und Tiefbau (AMT) erforderlich, verantwortlich zu handeln, in dem künftig verstärkt temperaturabgesenkter Asphalt zur Ausführung kommt.

In Deutschland (also auch in Münster) besteht dabei die Problematik, dass es aktuell kaum Ansprechpartner*innen und Erfahrungen gibt, um die Technologie sofort als Standard umsetzen zu können, wodurch sich u.a. die folgenden Fragen ergeben.

- Ist ein „Warmmix-Asphalt“ mit den zur Verfügung stehenden Materialien überhaupt in gleicher Qualität herstellbar?
- Welche Anpassungen müssen ggf. in der Bautechnik, dem Bauprozess und dem Erhaltungsmanagement vorgenommen werden?
- Welche Auswirkungen hat das auf die städtischen Klimaziele?
- Welche Auswirkungen hat das auf den kurz-, mittel- und langfristigen Finanzbedarf?

Als ein begleitender Umstand kommt außerdem hinzu, dass aus Arbeitsschutzgründen nach Lösungen gesucht werden muss, um die Arbeitsplatzgrenzwerte für das Baustellenpersonal sicher einhalten zu können.

Die erstmalige Einführung eines Luftgrenzwertes für Dämpfe und Aerosole aus Bitumen bei der Heißverarbeitung erfolgte dabei in Deutschland im Herbst 1996. Hierbei wurde ein Grenzwert von 20 mg/m³ für Arbeiten in Innenräumen und 15 mg/m³ für alle übrigen Arbeiten festgelegt. Auf Basis koordinierter Arbeitsplatzmessungen durch den Gesprächskreis BITUMEN legte der Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) im Mai 2000 den Grenzwert auf 10 mg/m³ fest, welcher jedoch nicht für Gussasphaltarbeiten galt. Bei Fertigerfahrern*innen bzw. Kolonnenführern*innen wurde dabei außerdem ein tolerierbarer Grenzwert von 12 mg/m³ eingeräumt. Durch die Einführung einer neuen Gefahrstoffverordnung wurden alle technisch bedingten Grenzwerte und somit auch der Grenzwert für Dämpfe und Aerosole aus Bitumen bei der Heißverarbeitung ab dem 1. Januar 2005 ausgesetzt, wobei der Einbau von Gussasphalt seit 2008 nur noch bei abgesenkten Temperaturen von maximal 230 °C erfolgen darf. (vgl. [2, S. 7ff])

Infolgedessen wurde Bitumen bis 2017 in der MAK- und BAT-Werte-Liste der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) zwar in die Kategorie 2 der Krebszeu-

genden Arbeitsstoffe eingestuft, jedoch bestand kein Grenzwert für die bei der Heißverarbeitung entstehenden Dämpfe und Aerosole (vgl. [3, S. 171]). Neben der seit längerem bestehenden Anregung aus der Kommission, dass das krebserzeugende Potential von Bitumen überprüft werden soll, wurde in der MAK- und BAT-Werte-Liste von 2017 außerdem die Anregung zur Aufstellung eines MAK-Wertes festgehalten (vgl. [3, S. VIII]).

Mit der Mitteilung 54 der Ständigen Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der DFG erfolgte daraufhin eine Festlegung des MAK-Wertes für Dämpfe und Aerosole von im Straßenbau vorkommenden Destillationsbitumen, Air-Rectified-Bitumen und Gussasphalt bei der Heißverarbeitung auf 1,5 mg/m³. Zudem wurde hierfür eine Neueingruppierung der Kanzerogenität in die Kategorie 3B vorgenommen, wodurch deutlich wird, dass zwar Anhaltspunkte für eine krebserzeugende Wirkung bestehen, aber für eine endgültige Einstufung weitere Untersuchungen erforderlich sind. (vgl. [4, S. 38ff])

Dennoch wurde nach der Tagung des AGS am 19.11. und 20.11.2019 dieser Grenzwert, welcher nach dem Bitumenkondensat-Standard gemessen wird, in der TRGS 900 festgeschrieben. Die verbindliche Einführung erfolgte dabei durch das Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) im Gemeinsamen Ministerialblatt (GMBI), wobei der Grenzwert für Walz- und Gussasphalt bis zum 31.12.2024 ausgesetzt wurde, sodass eine fünfjährige Übergangsfrist für die Umsetzung geeigneter Maßnahmen zur Einhaltung des Grenzwertes besteht. (vgl. [5])

Zur Einhaltung des Grenzwertes sind dabei sowohl technische Maßnahmen an der Einbautechnik als auch Veränderungen in der Materialtechnologie denkbar. Insbesondere die Senkung der Misch- und Einbautemperatur wird in diesem Zusammenhang als zielführend und notwendig angesehen. Hierbei kommen u.a. viskositätsveränderte Bindemittel zur Anwendung (vgl. [6, S. 10]), deren Funktionalität bei diversen Baumaßnahmen und Teststrecken in den vergangenen Jahren erprobt und ausgewertet wurde (vgl. [7, S. 41]). Darüber hinaus sind weitere Verfahren, insbesondere im Ausland, seit vielen Jahren in der Anwendung. Dazu gehören u.a. die Verwendung von chemischen Zusätzen, Schaumbitumen oder Bitumenemulsionen. Allein im Jahr 2019 wurden in den Vereinigten Staaten von Amerika rund 160 Mio. Tonnen Asphaltmischgut unter Verwendung chemischer Additive und Schaumbitumen produziert, was ungefähr dem Vierfachen der deutschen Jahresproduktion entspricht (vgl. [8, S. 8], [9]). Allgemein wird hierbei zwischen „Hot Mixes“, „Warm Mixes“ und „Cold Mixes“ unterschieden, wobei die Eingruppierung anhand der Misch- und Einbautemperatur erfolgt. (vgl. [10, S. 41]) Aber auch der Einsatz von z.B. Absauganlagen bei Asphaltfertigern wird als maschinenbautechnische Lösung zur Reduzierung der Immission von Dämpfen und Aerosolen, insbesondere bei den Fertigerfahrern*innen, angesehen (vgl. [11]).

Aufgrund der neuen Vorgaben für die Arbeitsbelastung durch den modifizierten Arbeitsplatzgrenzwert gilt es aktuell, verschiedene Maßnahmen zur Temperaturreduzierung sowohl maschinentechnisch als auch materialspezifisch zu untersuchen. Dabei stehen die Umsetzbarkeit, Einsatzgebiete und tatsächlichen Potenziale in Bezug auf die Temperaturabsenkung bei mindestens gleichbleibender Qualität im Vergleich zur konventionellen Bauweise im Vordergrund.

Das im Folgenden beschriebene Projekt umfasst vier ländlich gelegene Teststrecken (Hunnebeckweg, Derßenbrockstiege / Schmitthausweg, Wellingweg und Vogelsang) welche jeweils zu einem Teil mit Warmmix-Asphalt (WMA) und als Referenz zu einem Teil mit konventionell heißgemischtem Asphalt ausgeführt wurden. Die Ausführung aller Teststrecken erfolgte dabei mit einer Asphalttragschicht (AC 22 T N) und einer darüberliegenden Asphaltdeckschicht (AC 5 D L).

Neben den im Rahmen der Eigenüberwachung durchgeführten Messungen wurden zudem Expositionsmessungen mit einem Photoionisationsdetektor (PID) durchgeführt. Das hier verwendete PPID (Portable PID) wurde dabei von der Honold GmbH & Co. KG aus Nümbrecht zur Verfügung gestellt.

2. Grundlagen

Zum besseren Verständnis der durchgeführten Messungen und der daraus hervorgehenden Messergebnisse, werden im Folgenden die entsprechenden Begriffe und Messverfahren näher beschrieben und erläutert.

2.1 Emissionsreduzierte Asphalte Warmmix-Asphalt (WMA)

Mit dem Einsatz von temperaturabgesenkten Asphalten wird die Reduzierung der Herstell- und Verarbeitungstemperatur von Asphaltmischgütern gegenüber ihrer im Heißeinbau angewendeten Asphaltmischgutarten und sorten verfolgt (vgl. [6, S. 6]). Durch die Absenkung der Verarbeitungstemperatur um ca. 20 °C können u.a. durch den geringeren Energiebedarf für das Erhitzen der Gesteinskörnung und des Bindemittels die dabei auftretenden CO₂ Emissionen abgemindert werden. Neben der Einsparung von Energie bewirkt die Temperaturabsenkung außerdem eine Reduzierung des Verschleißes an den Asphaltmischanlagen sowie eine geringere Alterung des Bitumens. Vor allem jedoch nimmt die Verringerung von Expositionen, welchen die Beschäftigten bei der Heißverarbeitung von Asphalt ausgesetzt sind, in Bezug auf den Arbeitsschutz einen wichtigen Stellenwert ein. (vgl. [2, S. 14])

Da mit der Temperaturabsenkung eine Steigerung der Bindemittelviskosität einhergeht, werden dessen rheologische Eigenschaften durch viskositätsverändernde organische oder mineralische Zusätze verändert. Gleichermaßen können gebrauchsfertige viskositätsveränderte

Bindemittel eingesetzt werden, welche bereits durch die Zugabe geeigneter Zusätze eine Veränderung ihrer rheologischen Eigenschaften erfahren haben. (vgl. [6, S. 6f]) Zu den viskositätsverändernden organischen Zusätzen gehören hierbei diverse Wachse bzw. Paraffine, wie z.B. Fettsäureamid mit einem Schmelzbereich von 140 bis 145 °C, Fischer-Tropsch-Wachs mit einem Schmelzbereich von 70 bis 115 °C sowie Montan-Wachs mit einem Schmelzbereich von 80 bis 125 °C, welcher bei einer Mischung aus Montan-Wachs und Wachs-Derivaten bis auf ca. 140 °C ausgeweitet werden kann. (vgl. [6, S. 6f])

Anders als bei den organischen Zusätzen, werden die viskositätsverändernden mineralischen Zusätze, i.d.R. natürliche und synthetisch hergestellte Zeolithe, während des Herstellungsprozesses als Gesteinskomponente mit dem Füller hinzugegeben (vgl. [4, S. 7], [10, S. 13]). Beim Erhitzen geben die Zeolithe sodann ihr kristallin gebundenes Wasser in Form von mikrofeinen Dampfblasen an das Bitumen ab, wodurch dessen Verarbeitungsviskosität stark abgesenkt wird. Während dies eine Verarbeitung des Asphaltmischgutes auch bei geringeren Temperaturen begünstigt, kondensiert das gasförmige Wasser wiederum beim Abkühlprozess, sodass das Bindemittel wieder seine Ursprungsviskosität erreicht und die Eigenschaften eines konventionellen Asphaltmischgutes wiedererlangt werden können. (vgl. [10, S. 13])

Neben den im Merkblatt für Temperaturabsenkung von Asphalt (M TA) beschriebenen Additiven kommen im Ausland weit überwiegend Chemische Additive sowie Schaumbitumen für die Herstellung von WMA zum Einsatz (vgl. [12]).

Beim Schaumbitumen wird in das heiße Bitumen eine kleine Menge Wasser unter Druck injiziert, welches dadurch unmittelbar verdampft. Der entstehende Dampf schäumt das Bitumen auf, wodurch sich das Volumen deutlich erhöht. Durch diesen Effekt wird für eine bestimmte Zeit die scheinbare Viskosität des Bitumens herabgesetzt, was eine Umhüllung der Gesteinskörnung auch bei niedrigeren Temperaturen begünstigt. Die überbleibende Restfeuchte, die im Laufe des Verdichtungsprozesses entweicht, ermöglicht dabei eine Verdichtung des Asphalts auch bei niedrigeren Temperaturen. (vgl. [12])

Die chemischen Additive, zu welchen das in dem Projekt verwendete EVOTHERM[®] MA3 der Produktgruppe Tempera[®] von INGEVITY gehört, bewirken hingegen keine messbare Veränderung der Bitumenviskosität. Sie dienen stattdessen als Tenside, wobei sie die Oberflächenspannung des Bitumens herabsetzen. Dies hat wiederum eine Reduzierung der Reibungskräfte an der Grenzfläche zwischen Bitumen und Gesteinskörnung zufolge, wodurch sich der Asphalt auch bei niedrigeren Temperaturen mischen und verarbeiten lässt. (vgl. [12])

2.2 Aerosole

Als Aerosole treten an Arbeitsplätzen i.d.R. Stäube, Rauche oder Nebel auf, die insbesondere aus in der

Luft dispers verteilten partikelförmigen Feststoffen oder Flüssigkeiten bestehen. Während Stäube primär aus mechanischen Prozessen oder durch Aufwirbelung entstehen, werden Rauche durch thermische oder chemische Prozesse mit feineren Feststoffen erzeugt. Nebel tritt hingegen als disperse Verteilung von partikelförmigen flüssigen Stoffen (Tröpfchen) in Gasen bzw. in der Luft auf. Ein Nebel kann somit beim Zerstäuben von Flüssigkeiten, beim Kondensieren aus der Dampfphase oder durch chemische Prozesse, wie z.B. beim Ölnebel, entstehen. (vgl. [13, S. 173])

Als gesundheitlich relevante Aerosolfractionen werden dabei die mit Grenzwerten belegten alveolengängigen (A)-Fraktionen und die einatembaren (E)-Fraktionen unterschieden (vgl. [13, S. 174]).

2.3 IFA-, NIOSCH- und Heritage-Methode

Zur Messung von Dämpfen und Aerosolen aus Bitumen kommen i.d.R. die IFA- (Institut für Arbeitsschutz), NIOSH- (National Institute for Occupational Safety and Health) und die Heritage-Methode zum Einsatz (vgl. [14, S. 1272f]).

Bei der **IFA-Standardmethode** wird mit einer Pumpe die Luft am Arbeitsplatz angesaugt und durch einen 37-mm-Glasfaserfilter sowie einen nachgeschalteten XAD-2-Adsorber geführt. Bei einem kontinuierlichen Luftstrom von 3,5 l/min werden dabei die Aerosole auf dem Glasfaserfilter und die Dämpfe auf dem Adsorber zurückgehalten. Durch eine quantitative, infrarotspektroskopische Auswertung des mit Tetrachlorethen extrahierten Filters und Adsorbens werden anschließend alle organischen Verbindungen, welche die aliphatischen C-H-Gruppen aufweisen, erfasst. Seit 2007 erfolgt hierbei die Ermittlung des Messwertes auf Basis des Kalibrierstandards „Bitumenkondensat“, während dies vorher über den Kalibrierstandard „Mineralöl für die Spektroskopie“ erfolgte. Der Vergleich zweier, auf dem jeweils anderen Kalibrierstandard beruhenden, Messwerte kann dabei mit dem Faktor 1,4689 (gerundet 1,5) erfolgen, wobei dieser mit dem Messwert nach Mineralölstandard multipliziert werden muss. (vgl. [14, S. 1272])

Mit der **NIOSH-Methode** können im Gegensatz zur IFA-Methode nur Aerosole und Stäube, aber keine Dämpfe erfasst werden. Bei einem von einer Pumpe erzeugten Volumenstrom von 2 l/min wird hierbei die Luft am Arbeitsplatz durch eine Filterkassette mit einem 37-mm-Polytetrafluorethylen-Filter (PTFE) gesaugt. Auf diesem Filter werden die Stäube und Aerosole aus der Luft abgeschieden und durch deren gravimetrische Analyse vorerst die Gesamtpartikelmasse „Total Particulate Matter“ (TPM) ermittelt. Nach dem Extrahieren der benzollöslichen Bestandteile und dem anschließenden Abdampfen des Lösungsmittels (Benzol), werden die verbleibenden Bestandteile gravimetrisch bestimmt und als benzollösli-

che Fraktion „Benzene Soluble Fraction“ (BSF) bezeichnet. (vgl. [14, S. 1272f])

Eine Erweiterung der NIOSH-Methode stellt im Weiteren die **Heritage-Methode** dar. Hierbei wird dem Polytetrafluorethylen-Filter (PTFE) ein XAD-2-Adsorber nachgeschaltet. Dadurch werden auch die flüchtigen Bestandteile der Bitumen-Emissionen erfasst und nachfolgend das Adsorbens mit Dichlormethan extrahiert. Zusammen mit der benzollöslichen Fraktion kann somit mittels Flammen-Ionisations-Detektor der Gesamtgehalt an organischer Substanz „Total Organic Matter“ (TOM) ermittelt werden, wobei dieser anhand eines Kerosinstandard gemessen wird. (vgl. [14, S. 1272f])

2.4 Photoionisationsdetektor (PID)

Während die zuvor erwähnten gängigen Methoden zur Messung von Dämpfen und Aerosolen aus Bitumen i.d.R. eine mehrstündige Probenahme und eine nachträgliche Analyse im Labor erfordern und somit erst mit größerem zeitlichen Abstand zur Exposition vorliegen, können mit einem PID bereits vor Ort bestimmte Stoffe (z.B. Benzol, Toluol, etc.) gemessen werden. Hierbei wird wie bei den bereits genannten Methoden die Umgebungsluft mit einer integrierten Pumpe angesaugt, wobei diese Luft direkt an einer Entladungsröhre, im Allgemeinen eine UV-Lampe mit einem Ionisierungspotential von 10,6 eV, vorbeigeführt wird. Liegt die Energie des eingestrahlt Lichts über dem Ionisierungspotential der zu bestimmenden Stoffe, so werden diese ionisiert, woraus der PID schließlich ein Summensignal erzeugt. (vgl. [15, S. 7f])

Neben einer mit Krypton gefüllten 10,6 eV-Lampe kommen u.a. Lampen mit 11,7 eV, welche mit Argon gefüllt sind, zum Einsatz. Mit diesen können gleichzeitig mehrere Gefahrstoffe, wie z.B. Benzol, Toluol, Ethanol, Aceton und Methanol gemessen werden, während bei einer 10,6 eV-Lampe Methanol keine Auswirkung auf das Summensignal hat. Bei einer 9,5 eV-Lampe mit Xenon Füllung wird im Weiteren nur noch ein Summensignal für Benzol und Toluol erfasst. (vgl. [15, S. 7f])

Speziell bei diesem Projekt kam ein Portable PID (PPID) der Firma Analytical Control Instruments GmbH zum Einsatz, welches ebenfalls auf der Grundlage des molekularen Photoeffekts basiert und eine Hohlkathodenlampe mit einer Ionisationsenergie von 10,6 eV besitzt (vgl. [16, S. 11]).

3. Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet umfasst im vorliegenden Anwendungsfall insgesamt vier, im Umkreis der Stadt Münster gelegene, ländliche Wege. Im Folgenden werden die einzelnen Teststrecken in ihrer Lage und Art beschrieben sowie auf deren Schichtenaufbau und die eingesetzten Einbau- und Verdichtungsgeräte eingegangen.

3.1 Teststrecken

Bei den vier in Münster gelegenen Teststrecken handelt es sich um den Wellingweg, die Derßenbrockstiege bzw. den Schmitthausweg sowie den Hunnebeckweg (Hülshoffstraße) und den Vogelsang. Jeder dieser ländlichen Wege umfasst dabei zwei Testfelder, welche entweder mit einer Oberflächenbefestigung aus WMA oder aus konventionell heißgemischtem Asphalt hergestellt wurden. Aufgrund des Herstellungsprozesses an der für alle Strecken genutzten Asphaltmischanlage „Münster 1“ der Asphaltmischwerke Westfalen (AMW), wurde der WMA grundsätzlich zuerst gemischt und eingebaut.

Nachfolgend wird auf etwaige Besonderheiten bei den Teststrecken eingegangen. Die jeweiligen Einbaulängen [m] sowie die Einbaumengen [t] können dabei der Tabelle 1 entnommen werden.

Der **Wellingweg** stellt in diesem Projekt die erste der vier Teststrecken dar, bei welcher der WMA eingesetzt wurde. Die Straße liegt im nordöstlichen Teil von Münster und ist ca. 950 m lang. Bei der Baumaßnahme wurden insgesamt etwa 540,40 m mit einer neuen Tragschicht (AC 22 T N) und Deckschicht (AC 5 D L) versehen. Die Unterlage für die Tragschicht bestand dabei aus einer Ausgleichsschicht mit einem darüberliegenden Geogitter (Abb. 1).



Abb. 1: Unterlage der Tragschicht -Wellingweg

Die ländlich gelegenen Wege **Derßenbrockstiege** bzw. **Schmitthausweg**, welche die zweite Teststrecke darstellen, liegen ebenfalls im nordöstlichen Teil von Münster und besitzen zusammen eine Gesamtlänge von etwa 2,4 km. Erneuert wurden hierbei wiederum etwa 560,00 m. Aufgrund der teilweise seitlich verlegten Rasengittersteine, bei welchen die Gefahr des Verdrückens durch die zurücksetzenden LKW bestand, musste der Einbau in zwei Bauabschnitten erfolgen. Für die Deckschicht war hingegen eine Aufteilung in zwei Bauabschnitte nicht nötig. Die Unterlage der Tragschicht setzte sich wiederum aus einer Ausgleichsschicht und einem darauf aufgetragenen Geogitter zusammen (Abb. 2).



Abb. 2: Unterlage und Rasengittersteine - Derßenbrockstiege / Schmitthausweg

Tabelle 1: Zusammenstellung der jeweiligen Einbaulängen und Einbaumengen der Teststrecken

Strecke	Schichtart	Einbaudatum	WMA		konventionell heißgemischter Asphalt	
			Einbaulänge [m]	Menge [t]	Einbaulänge [m]	Menge [t]
Wellingweg	AC 22 T N (50/70)	14.05.2020	300	238	230	188
	AC 5 D L (70/100)	15.05.2020	250	55	290	81
Derßenbrockstiege Schmitthausweg	AC 22 T N (50/70)	18.05.2020	310	270	230	213
	AC 5 D L (70/100)	19.05.2020	350	108	210	55
Hunnebeckweg (Hülshoffstraße)	AC 22 T N (50/70)	25.05.2020	430	350	260	188
		26.05.2020	-	-	460	350
	AC 5 D L (70/100)	27.05.2020	530	110	620	137
Vogelsang	AC 22 T N (50/70)	28.05.2020	350	187	320	218
	AC 5 D L (70/100)	29.05.2020	400	82	270	81

Die dritte Teststrecke für den Einsatz von WMA stellt ein westlich von Münster gelegener Seitenarm der Hülshoffstraße dar, welcher während der Projektbearbeitung unter dem Namen **Hunnebeckweg** geführt wurde. Bauanfang war hier die westlich der Hülshoffstraße gelegene Überquerung der Hunnebecke in nordwestlicher Richtung, wobei das Bauende an der Einmündung zum Hunnebeckweg lag.

Entgegen der beiden vorherigen Teststrecken bestand hier die Unterlage der Tragschicht zum Teil aus der bereits bestehenden Asphaltdeckschicht inkl. einer aufgetragenen Bitumenemulsion bzw. einem aufgetragenen Haftkleber und zum Teil aus einer Ausgleichsschicht mit darüberliegendem Geogitter. Der Wechsel der Unterlage erfolgte hierbei kurz vor dem Übergang der Tragschicht von WMA auf konventionell heißgemischtem Asphalt. (Abb. 3)



Abb. 3: Wechsel der Tragschichtunterlage - Hunnebeckweg (Hülshoffstraße)

Die letzte der vier Teststrecken ist in diesem Projekt die südwestlich von Münster gelegene Straße **Vogelsang**, welche eine Gesamtlänge von etwa 3,40 km besitzt. Das Testfeld lag hierbei zwischen dem Weg „Niederort“ und der Überführung über die Bundesautobahn (A 43), woraus sich eine Gesamteinbaulänge von etwa 671,50 m bzw. 789,50 m (Teilweiser zweibahniger Einbau) ergab. Der Bauanfang lag außerdem jeweils auf der Seite des Weges „Niederort“. Die Gründung der Tragschicht erfolgte über die gesamte Strecke auf der bestehenden Deckschicht, welche im Vorfeld mit einer Bitumenemulsion bzw. einem Haftkleber angespritzt wurde (Abb. 4).



Abb. 4: Unterlage der Tragschicht und zweibahniger Einbau - Vogelsang

Um den Haftverbund zwischen den beiden Deckschichtbahnen zu gewährleisten, wurde zudem die Längsnaht im „heiß an kalt“ Verfahren ausgebildet. Hierbei wird auf die leicht angeschrägte Nahtkante der ersten Bahn ein Bindemittel aufgetragen, bevor die zweite angrenzende Bahn asphaltiert wird. (vgl. [17, S. 24])



Abb. 5: Ausführung der Längsnaht zwischen den Deckschichtbahnen – Vogelsang

3.2 Geräteinsatz

Zur Herstellung der Asphaltsschichten auf den einzelnen Teststrecken kamen diverse Baugeräte zum Einsatz. Hierzu zählten i.d.R. ein Radfertiger, zwei Tandemwalzen sowie eine kleinere Kombiwalze.

Bei dem Asphaltfertiger handelt es sich um einen Radfertiger der Firma DYNAPAC (Baujahr 06/2016) mit der Typenbezeichnung „DYNAPAC SD2500WS“, welcher über eine Bohlenabsaugung verfügt. Dieses Emission Reduction Device (ERD) saugt während des Betriebes die an der Übergabestelle zwischen Tunnel und Verteilerschnecke anfallenden Dämpfe und Aerosole ab und leitet diese an der Vorderseite des Fertigers über den Mischgutbehälter (Mulde) ab (Abb. 6). Zusammen mit der Abluft der Motorkühlung und der Thermik, welche durch das heiße Material im Mischgutbehälter (Mulde) entsteht, sollen so die Aerosole und Dämpfe schnell nach oben steigen. (vgl. [18])



Abb. 6: Auslass der Absaugvorrichtung (ERD)

Zur Verdichtung der Asphalt-schichten kamen auf den Teststrecken vorwiegend zwei schwere (zul. Gesamtgewicht 12 t), schmelgelenkte Tandemwalzen (Typ: BW 174 AP-4 AM; Bj. 2011) der Firma BOMAG zum Einsatz. Neben diesen Tandemwalzen wurde zudem eine kleinere Kombiwalze (zul. Gesamtgewicht 3.320 kg), mit einer vorderseitigen Vibrationsbandage und einem hinten angebrachten Rädersatz genutzt. Diese mit Knicklenkung versehene Walze der Firma HAMM entspricht dabei dem Typ HD 12 VT der Serie H262 (Abb. 7).



Abb. 7: Eingesetzte Tandemwalze (links) & Kombiwalze (rechts)

4. Messungen und Messergebnisse

Im Rahmen der Eigenüberwachung wurde neben der Messung der Mischguttemperatur beim Einbau, der Verdichtungszustand mit einer Isotopensonde überwacht. Zudem wurde die Oberflächentemperatur der eingebauten Asphalt-schicht mit einer Infrarotkamera (Thermografie) gemessen sowie Expositionsmessungen mit einem PID durchgeführt.

4.1 Messung der Mischguttemperatur

Die Messung der Mischguttemperatur erfolgte unter Verwendung eines Einstechthermometers bei der Anlieferung des jeweiligen Mischgutes im Mischgutbehälter (Mulde) des Fertigers.

Während in den Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt (ZTV Asphalt-StB) für konventionelle Asphalte Obergrenzen für die Asphalttemperatur bei der Herstellung und untere Grenzwerte bei der Anlieferung auf der Baustelle festgelegt sind (Tabelle 2), gibt es für temperaturabgesenkte Asphalte nach dem Merkblatt für Temperaturabsenkung von Asphalt (M TA) bisher lediglich Richtwerte (Tabelle 3) (vgl. [17, S. 19], [6, S. 9]).

Für die konventionell heißgemischte Asphalttragschicht mit einem Straßenbaubitumen 50/70 sowie für die Asphaltdeckschicht mit einem Straßenbaubitumen 70/100 bedeutet dies, dass die Temperatur des Mischguts beim Einbau mindestens 140 °C betragen muss (Tabelle 2) (vgl. [17, S. 19]).

Tabelle 2: Niedrigste und höchste Temperatur des Asphaltmischgutes in °C [17, S.19]

Art und Sorte des Bindemittels im Asphaltmischgut	Asphaltbeton für Asphaltdeckschichten, Asphaltbinder, Asphalttragschichtmischgut, Asphalttragdeckschichtmischgut	Spittemastixasphalt	Gussasphalt	Offenporiger Asphalt
20/30	–	–	210 bis 230	–
30/45	155 bis 195	–	200 bis 230	–
50/70	140 bis 180	150 bis 190	–	–
70/100	140 bis 180	140 bis 180	–	–
40/100-65**)	–	–	–	140 bis 170
10/40-65	160 bis 190	–	210 bis 230	–
25/55-55	150 bis 190	150 bis 190	200 bis 230	–

*) Die unteren Grenzwerte gelten für das Asphaltmischgut bei Anlieferung auf der Baustelle; die oberen Grenzwerte gelten für das Asphaltmischgut bei der Herstellung und beim Verlassen des Asphaltmischers bzw. des Silos.

**) Zusätzlich sind die Angaben des Herstellers zu beachten.

Bei der Tragschicht und Deckschicht aus WMA mit derselben Grundbindemittelsorte wird hingegen ein Richtwert von mindestens 120 °C beim Einbau angegeben (Tabelle 3), (vgl. [6, S. 9]) welches einer Temperaturdifferenz an der Untergrenze zum konventionell heißgemischten Asphalt von 20 °C entspricht. Diese Temperaturdifferenz wurde in diesem Projekt gleichermaßen bei der Produktion angestrebt.

Tabelle 3: Richtwerte für Asphaltmischguttemperaturen bei temperaturabgesenkten Asphalten [6, S.9]

Asphaltart	Grundbindemittelart und -sorte	Richtwerte für Asphaltmischguttemperaturen bei der Herstellung	Richtwerte für Asphaltmischguttemperaturen an der Einbaubohle
Walzasphalt	70/100	130 bis 150 °C	mindestens 120 °C
	50/70		
	30/45	140 bis 160 °C	mindestens 130 °C
	25/55-55		
	10/40-65		
Gussasphalt	20/30	210 bis 230 °C	mindestens 210 °C höchstens 230 °C
	30/45	200 bis 230 °C	mindestens 200 °C höchstens 230 °C
	25/55-55	210 bis 230 °C	mindestens 210 °C höchstens 230 °C
	10/40-65		

Nach einer Auswertung der am Mischgutbehälter gemessenen Asphalttemperaturen zeigte sich, dass die Grenz- und Richtwerte bei der Anlieferung i.d.R. eingehalten werden konnten, wobei stets eine Temperaturdifferenz zwischen den beiden Asphaltmischgütern von mindestens 20 °C erreicht wurde.

4.2 Messung des Verdichtungsgrades (Isotopensonde & Kontrollprüfung)

Im Rahmen der Eigenüberwachung durch die MPV (Materialprüfungs- und Vertriebsgesellschaft für Straßenbaustoffe mbH) wurden Messungen mit einer Isotopensonde des Typs 4640B „Thin Layer Density Gauge“ des Herstellers Troxler® Electronic Laboratories Inc. durchgeführt (Abb. 8).



Abb. 8: Messung des Verdichtungsgrades mit einer Isotopsonde (Troxler-Sonde)

Hierbei wurden im Wesentlichen die folgenden Messparameter gewählt:

- Messzeit: 30 sec.
- Solldicke Asphalttragschicht 10 cm
→ Messtiefe 9,0 cm
- Solldicke Asphaltdeckschicht 3,0 cm
→ Messtiefe 2,5 cm
- Feldkalibrierung

Durch diese zerstörungsfreien Messungen sollte direkt nach der Herstellung der Asphaltsschichten die Endverdichtung der Asphaltdeck- bzw. Asphalttragschichten überprüft werden. Dabei wurden Messungen in einem 20 m-Raster jeweils auf der rechten und linken Seite durchgeführt. Die hierfür benötigten Bezugsraumdichten wurden dabei im Rahmen der Eigenüberwachung der Asphaltmischanlage ermittelt.

Bei der Überprüfung des Verdichtungsstatus, unter Berücksichtigung der mit der Isotopsonde gewonnenen Daten, zeigte sich, dass der konventionell heißgemischte Asphalt sowie der WMA ein ähnliches Verdichtungsverhalten aufzeigen. In der Tragschicht erreichte der konventionell heißgemischte Asphalt teilweise nicht den geforderten Verdichtungsgrad von mindestens 98 % (vgl. [17, S. 27]). Der Verdichtungsgrad beim WMA lag zumeist darunter. In der Deckschicht kamen beide Asphaltmischgüter jedoch grundsätzlich über den für einen AC 5 D L geforderten Verdichtungsgrad von mindestens 97 % (vgl. [17, S. 29]).

Hierbei ist nicht auszuschließen, dass die im Endzustand teils geringeren Werte für den Verdichtungsgrad beim

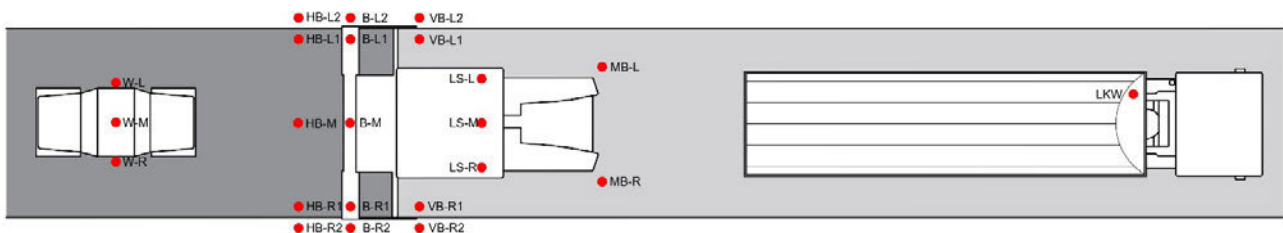


Abb. 10: Lage der Messpunkte für die PID-Messungen

WMA auf die kühleren Umgebungstemperaturen zum Zeitpunkt des Einbaus zurückzuführen sind. Zudem besteht die Möglichkeit, dass das zur Verdichtung des konventionell heißgemischten Asphaltes angewendete Verdichtungsprogramm, nicht direkt auf die Verdichtung eines WMA übertragbar ist

Bei der, von der Ingenieurgesellschaft PTM durchgeführten Kontrollprüfung stellte sich heraus, dass entgegen den Messungen mit der Isotopsonde, in der Tragschicht an jeder Stelle der Verdichtungsgrad erreicht wurde. Lediglich in der Deckschicht wurde an jeweils einer Stelle beim konventionell heißgemischten Asphalt und beim WMA der Verdichtungsgrad geringfügig unterschritten. Dies zeigt, dass beide Asphaltmischgutkonzepte, in Bezug auf die Verdichtbarkeit, als technisch gleichwertig angesehen werden können.

4.3 PID Messungen

Neben der im Rahmen der Eigenüberwachung durchgeführten Messungen, wurden ergänzende Expositionsmessungen mit einem Photoionisationsdetektor durchgeführt (Abb. 9).



Abb. 9: Portable PID (PPID)

Der PID nahm während der Messung kontinuierlich Werte in „Parts per million“ [ppm] auf, wobei ein Messintervall von 1 s gewählt wurde.

Um über die vier Teststrecken vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, wurde hierfür im Vorfeld ein Messkonzept erstellt, wobei eine Festlegung der einzelnen Messpunkte erfolgte. Um gleichermaßen abbilden zu können, welche Personen der Kolonne einer stärkeren Exposition ausgesetzt sind und ob diese mit einem entsprechenden Abstand zum Arbeitsplatz geringer werden, wurden insgesamt 23 Messpunkte beschrieben (Abb. 10) sowie im Messprotokoll mit Angabe der Start- und Endzeit erfasst.

Der sich am LKW befindende Messpunkt „LKW“ stellt hierbei den Arbeitsplatz derjenigen Person dar, welche vor dem Abkippen des Mischgutes auf den LKW steigen muss, um die Abdeckplane des Kippers zu entfernen. Die Messung erfolgte i.d.R. kurz nach dem Abdecken der jeweiligen Mulde.

Die beiden Messpunkte „MB-L“ und „MB-R“ repräsentieren im Weiteren den Ort, an welchem entweder eine, den/die LKW-Fahrer*in einweisende oder im Rahmen der Eigenüberwachung am Mischgut temperaturmessende Person steht.

Für den/die Fertigerfahrer*in wurden wiederum drei Punkte im Leitstand (LS) des Fertigers festgelegt, wobei die beiden äußeren Punkte „LS-L“ und „LS-R“ im Wesentlichen die Hauptaufenthaltsbereiche und der mittlere Messpunkt „LS-M“ mehr eine Referenz darstellen. Der Mittlere Messpunkt liegt hierbei außerdem leicht versetzt über der Stelle des Fertigers, an welchem das Mischgut über den Tunnel zur Verteilerschnecke gelangt.

Um den Arbeitsbereich der Bohlgänger*innen abbilden zu können, wurde mit 14 Messpunkten der größte Bereich abgedeckt. Die eher hohe Messpunktanzahl ergibt sich bereits daraus, dass diese Personen nicht durchgehend an einem Ort der Bohle arbeiten, sondern i.d.R. mehrere Bereiche um die Bohle erfassen müssen. Zudem wäre hier die Chance einer seitlichen Verlagerung des primären Arbeitsplatzes der Bohlgänger*innen zur Steuerung der Bohle am größten.

Im Bereich vor der eigentlichen Einbaubohle ergeben sich somit die Punkte „VB-L1“ und „VBR1“ für die Bereiche direkte am Mischgut bzw. an der Verteilerschnecke sowie die Messpunkte „VB-L2“ und „VB-R2“, welche einen seitlichen Abstand von 0,5 m rechtwinklig zur Einbaukante besitzen.

Im selben rechtwinkligen Abstand zur Einbaukante (0,5 m), jedoch auf Höhe der Einbaubohle, liegen dahinter die Punkte „B-L2“ und „B-R2“. Die Messpunkte „B-L1“ und „B-R1“ befinden sich hingegen direkt auf der Bohle bei der jeweiligen Bohlensteuerung und werden durch den mittig auf der Bohle verorteten Punkt „B-M“ ergänzt.

Die sich hinter der Bohle befindenden Messpunkte „HB-L2“, „HB-R2“, „HB-L1“, „HB-R1“ und „HB-M“ sind quer zur Fahrbahnachse wie die gleichnamigen Messpunkte auf der Bohle angeordnet, wobei sie 1,0 m hinter der Bohle liegen.

Um gleichermaßen die Punkte der Expositionsmessungen an der Walze festzulegen, wurden die Punkte „WL“ und „WR“, welche sich jeweils links und rechts neben der Walze befinden, sowie der Punkt „WM“, welcher sich direkt bei dem/der Walzenfahrer*in befindet, bestimmt. Die Messung erfolgte hierbei begleitend zur Fahrbewegung der Walze.

Eine erste Auswertung der Minimal- und Maximalwerte der jeweiligen Messpunkte, zeigte bereits ein plausibles Ergebnis. So lagen die Messwerte beim konventionellen Asphalt i.d.R. höher als beim Warmmix-Asphalt. Zudem waren die Werte nahe der Verteilerschnecke und des Mischgutbehälters bei beiden Mischgütern höher als bei den weiter weg liegenden Punkten. Da die Messwerte jedoch in einem Intervall von 1 s aufgenommen wurden, bestand die Möglichkeit, dass vereinzelte kurzfristig auftretende Ereignisse den Maximalwert für einen Messpunkt beeinflussen. Dies bestätigte sich schließlich in einer Darstellung, bei welcher alle sekundlich gemessenen Werte in einem Diagramm bezogen auf die entsprechenden Messpunkte aufgezeigt wurden (Abb. 11). So ergab sich beispielsweise der Maximalwert für den konventionellen Asphalt am Messpunkt „MB“ (Mischgutbehälter) von 40,00 ppm durch einen für 1 s aufgetretenen Wert.

Um diese einzeln gemessenen und nicht repräsentativen Werte auszuschließen, wurden die 95%Perzentile der einzelnen Messstellen ermittelt. Hierbei hat sich gezeigt, dass die Messwerte des konventionell heißgemischten Asphalts höher liegen als die korrespondierenden Werte des WMA. Außerdem waren die Werte um die Verteilerschnecke, wo eine Umwälzung des Mischgutes erfolgt, höher als jene Messwerte der weiter davon entfernt gelegenen Messpunkte.

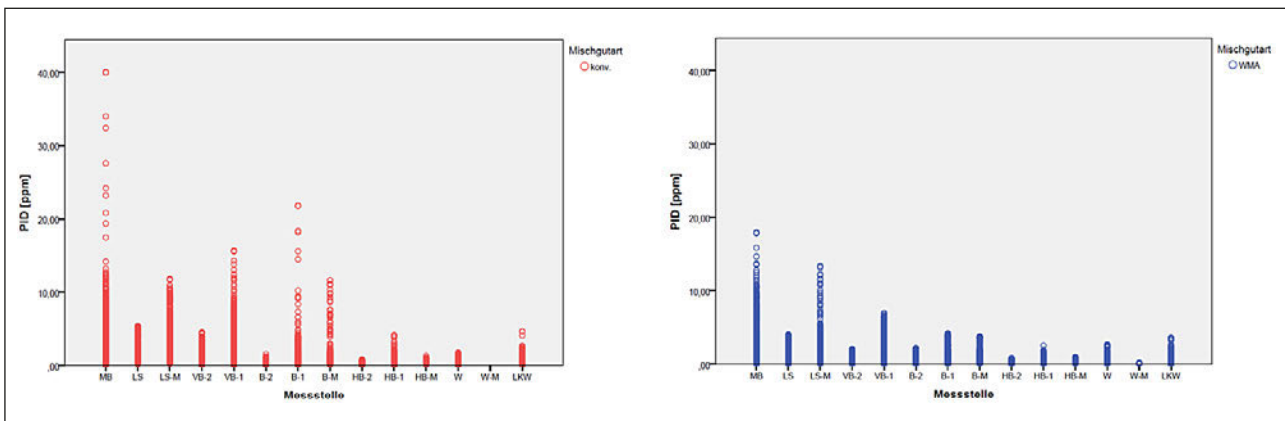


Abb. 11: Darstellung aller gemessenen Messwerte bezogen auf die Messpunkte (konv. links / WMA rechts)

Die Auswertung der PID-Messungen ergab im Weiteren, dass die Maximalwerte bei angeschalteter Absauganlage im Bereich der Bohle und des Leitstandes niedriger als bei einer abgeschalteten Absauganlage sind. Die Wirkung der Anlage scheint außerdem bei zunehmendem Abstand an Wirkung zu verlieren, wobei dort im Allgemeinen auch niedrigere Werte gemessen wurden. Lediglich am Mischgutbehälter konnte bei angeschalteter Absauganlage ein höherer Maximalwert verzeichnet werden, wobei sich an dieser Stelle auch der Auslass der Bohlenabsaugung befindet, wodurch sich der höhere Wert plausibel erklären lässt.

Dieses Ergebnis deutet somit darauf hin, dass mit einem PID mögliche Emissionsschwerpunkte beim Asphalteinbau identifiziert werden können. Jedoch kann aktuell keine Aussage über die Kanzerogenität der gemessenen Stoffe getroffen werden, da die Messung keine Auskunft über die Zusammensetzung der Aerosole und Dämpfe liefert.

5. Fazit

Wie sich in diesem Projekt bisher gezeigt hat, bringt der Einsatz von Warmmix-Asphalt einige positive Aspekte mit sich. So konnte unter Verwendung des Additivs MA3 bei dem eingesetzten WMA bereits eine vergleichbare Einbauqualität gegenüber dem konventionell gemischten Asphalt erreicht werden, während die Liefer- bzw. Einbautemperaturen i.d.R. mindestens um 20 °C niedriger lagen. Untersuchungen zum Alterungsverhalten des bei den Teststrecken verbauten WMA, befinden sich derzeit in Vorbereitung. Zudem kann momentan keine Aussage darüber getroffen werden, ob der vorgegebene Grenzwert von 1,5 mg/m³ für Aerosole und Dämpfe aus Bitumen allein durch den Einsatz von temperaturabgesenkten Asphalten erreicht werden kann. Der Photoionisationsdetektor gibt hier lediglich ein Summensignal aus, wodurch u.a. die Kanzerogenität der gemessenen Stoffe sowie deren Masse, bezogen auf das Luftvolumen, nicht bestimmt werden können.

Dennoch ließen sich mit dem PID plausible Emissionsschwerpunkte auffindig machen und ein Vergleich zwischen an- und ausgeschalteter Bohlenabsaugung herstellen. Somit erscheinen Vergleichsmessungen mit einer etablierten Messmethode sinnvoll. Insbesondere das Potential des PID, Messergebnisse in Echtzeit zu erzeugen, eröffnet grundsätzlich neue Vorgehensweisen bei der Immissionsreduzierung.

Literaturverzeichnis

- [1] Brzuska, Amina; Cypra, Sonja; Holldorb, Christian, Stöckner, Markus (2018): CO₂-Emissionen bei der Straßenerhaltung, Straße und Autobahn 10/2018, Kirschbaum Verlag GmbH, Bonn, 2018
- [2] Gesprächskreis Bitumen (2009): Temperaturabgesenkte Asphalte, URL: <https://www.bgbau.de/>

- fileadmin/user_upload/BitumenBroschuere.pdf, Abruf: 09.04.2020
- [3] Ständige Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) (2017): MAK- und BAT-Werte-Liste 2017, Mitteilung 53, Wiley-VCH, Weinheim, 2017, URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/9783527812110>, Abruf: 09.04.2020
- [4] Ständige Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) (2018): MAK- und BAT-Werte-Liste 2018, Mitteilung 54, Wiley-VCH, Weinheim, 2018, URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/9783527818396>, Abruf: 09.04.2020
- [5] Müller, Volker (2019): Übergangsfrist beim Asphalteinbau, Schlütersche Verlagsgesellschaft mbH & Co.KG (baunetzwerk.biz) (Hrsg.), 2019, URL: <https://www.baunetzwerk.biz/uebergangsfrist-beim-asphalteinbau>, Abruf: 09.04.2020
- [6] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2011): Merkblatt für Temperaturabsenkung von Asphalt (M TA), Nr. 766, FGSV Verlag, Köln, Ausgabe 2011
- [7] Bundesanstalt für Straßenwesen (bast) (2017): Erfahrungssammlung über die Verwendung von Fertigprodukten und Zusätzen zur Temperaturabsenkung von Asphalt, Fachveröffentlichung, Bergisch Gladbach, 2017
- [8] National Asphalt Pavement Association (NAPA) (Hrsg.) (2020): Asphalt Pavement Industry Survey on Recycled Materials and Warm-Mix Asphalt Usage 2019, 10th Annual Asphalt Pavement Industry Survey, Greenbelt (USA), September 2020
- [9] Deutscher Asphaltverband e.V. (DAV) (Hrsg.) (2020): Asphaltproduktion in Deutschland 2019, Juni 2020, URL: https://www.asphalt.de/fileadmin/user_upload/AsphaltP2019neu.pdf, Abruf: 01.11.2020
- [10] Deutscher Asphaltverband e.V. (Hrsg.) (2009): Temperaturabgesenkte Asphalte - Ratschläge aus der Praxis für die Praxis, Deutscher Asphaltverband (DAV) (Hrsg.), Bonn, 2009
- [11] Schlütersche Verlagsgesellschaft mbH & Co.KG (baunetzwerk.biz) (Hrsg.) (2020): Dynapacs Asphaltfertiger mit effizienten Absauganlagen, URL: <https://www.baunetzwerk.biz/dynapacs-asphaltfertiger-mit-effizienten-absauganlagen>, Abruf: 30.07.2020
- [13] European Asphalt Pavement Association (2014): The use of Warm Mix Asphalt, URL: <https://eapa.org/wp-content/uploads/2018/07/EAPA-paper-Warm-Mix-Asphalt-version-2014.pdf>, Abruf: 23.10.2020
- [14] Ständige Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) (2019): MAK- und BAT-Werte-Liste 2019, Mitteilung 55, Wiley-

- VCH, Weinheim, 2019, URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/9783527826155>, Abruf: 09.04.2020
- [15] Bartsch, R.; Brinkmann, B.; Brüning, T.; Hartwig, A.; Nies, E.; Pallapies, D.; Schriever-Schwemmer, G.; Steinhausen, M.; Welge, P.; Werner, S.C.M. (2019): Bitumen (Dampf und Aerosol bei der Heißverarbeitung) [MAK value documentation in German language, 2019], Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.KGaA (Hrsg.), 2019, URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/3527600418.mb805242d0067>, Abruf: 09.04.2020
- [16] Angerer, J.; Greim, H.; Parlar, H. (2009): Analytische Methoden zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Band 1: Luftanalysen, 16. Lieferung, Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) (Hrsg.), 2009, URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/3527600418.ammobildevd0016>, Abruf: 09.04.2020
- [17] Analytical Control Instruments GmbH (Hrsg.) (2016): Protable PID (PPID) - Bedienungsanleitung - Ab Firmware Revision: 1.00.013, Version 2.01, Berlin, URL: [https://www.aci-berlin.com/images/stories/products/ppid/PPID - User Manual \(de\) - 2.01.pdf](https://www.aci-berlin.com/images/stories/products/ppid/PPID - User Manual (de) - 2.01.pdf), Abruf: 28.09.2020
- [18] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2013): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt (ZTV Asphalt-StB), Nr. 799, FGSV Verlag, Köln, Ausgabe 2007 / Fassung 2013
- [19] DYNAPAC - Fayat Group (2020): DYNAPAC ERD - Emission Reduction Device, 29.05.2020, URL: <https://dynapac.com/eu-de/news/dynapac-erd-emission-reduction-device>, Abruf: 19.10.2020

Asphaltkonservierung – Moderne Erhaltung für eine längere Nutzungsdauer

Sebastian Miesem

POSSEHL SPEZIALBAU GMBH, Sprendlingen, Deutschland

Zusammenfassung

Die zu erwartende Nutzungsdauer von Asphaltdeckschichten hat sich aus verschiedenen Gründen in den letzten Jahren deutlich verkürzt. Dieser Entwicklung wird mit umfangreichen Maßnahmen zur Erneuerung der Asphaltdeckschichten Rechnung getragen. Dennoch altern die Asphaltdeckschichten schneller, als dass die Maßnahmen diesen fortschreitenden Effekt einholen könnten. Die Lösung ist eine präventive Vorgehensweise: die Konservierung mit Possehl-AsKo. Das ist technisch zielsicher und eine nachweislich wirksame Möglichkeit nahezu alle asphaltierten Verkehrsflächenbefestigungen präventiv aufrechtzuerhalten. Die zu erwartende Nutzungsdauer kann durch Konservierung deutlich erhöht werden - dies bedeutet weniger Baustellen, weniger Stau und weniger Abgase. Außerdem trägt die Bauweise aktiv zur Ressourcenschonung bei.

1. Einleitung und Historie

In einer Hochebene des US-amerikanischen Staates Utah liegen inmitten einer Trockensteppe die Vorkommen eines extrem reinen Asphaltits großer Härte, der in der Fachwelt die Bezeichnung „Gilsonite“ trägt. Quelle Giesel Verlag

Da das Vorkommen bis zur Erdoberfläche reicht, bedurfte es um 1882 keines erfahrenen Geologen. So fand ein Trapper das Gilsonite und führte es einer aus seiner Sicht überaus sinnvollen Verwendung zu: dem Abdichten von Whiskeyfässern!

Die heutige Anwendung dieses sehr hochwertigen Naturproduktes ist eine andere. Bereits in den 1970er Jahren wurde in den USA ein Verfahren zur Konservierung von bituminösen Asphalten mit Gilsonite entwickelt. Auch im Vereinigten Königreich wird das - seit fast 50 Jahren erprobte - Produkt seit mehr als 20 Jahren erfolgreich eingesetzt. Logische Konsequenz der dort erzielten Erfolge ist, dass sich das Konservieren von Asphaltdeckschichten nunmehr nach und nach auch in anderen europäischen Ländern durchsetzt. Possehl Spezialbau ist eines der ersten Unternehmen auf dem europäischen Festland, das die fortschrittliche Behandlungsmethode der Asphaltkonservierung mit dem hochwertigen Produkt Everphalt anbietet. Essenziell ist hierbei, dass nachweislich mit dem oben beschriebenen Gilsonite aus Utah / USA gearbeitet wird. Denn nur diese Herkunft sichert durch den einzigartig hohen Reinheitsgrad die relevanten Eigenschaften und somit den gewünschten Erfolg: die Verlängerung der Nutzungsdauer einer Asphalt-Verkehrsfläche.

Auf dem internationalen Markt wird Gilsonite auch aus anderen Herkunftsländern, wie zum Beispiel dem Iran, Irak, Kolumbien und weiteren angeboten. Die Reinheit und dementsprechend die Qualität des Rohstoffes aus diesen Ländern ist nicht mit dem aus Utah stammenden und durch unser Unternehmen eingesetzten Produkt zu vergleichen. Bei den alternativ bezeichneten Produkten ist insbesondere der Aschegehalt deutlich höher und lässt das System der Konservierung, wenn überhaupt, nur sehr bedingt seine Wirkung entfalten. Dies führt unweigerlich zu Unzufriedenheit beim Endverbraucher.

In der heutigen Zeit werden nahezu alle Werkstoffe gegen vorzeitige Alterung geschützt und somit konserviert: Stahl wird verzinkt, Holz druckimprägniert usw.. Lediglich einer unserer wichtigsten volkswirtschaftlichen Vermögenswerte, unsere Straßen, schützen wir bislang nicht. Das kann und soll sich ändern! Denn das Volksvermögen „Straße“ ist ebenso zu bewahren, wie Fassaden von Schulen und anderer öffentlicher Gebäude. Auch uns selbst schützen wir in den unterschiedlichsten Formen – beispielsweise nutzen wir kosmetische Produkte zum Schutz unserer Haut.

Es ist technisch zielsicher und nachweislich wirksam möglich, nahezu alle asphaltierten Verkehrsflächenbefestigungen zu konservieren und damit präventiv aufrechtzuerhalten. Der wirtschaftliche Umgang mit Steuergeldern ist hierbei eines der attraktivsten Argumente, um sich in letzter Konsequenz für das zur Verfügung stehende Verfahren zu entscheiden.

Gleichermäßen gilt dies für Verkehrsflächen in Firmen- oder Privateigentum. Bekanntermaßen ist die Verlängerung der zu erwartenden Nutzungsdauer, die

Verlängerung des Zyklus und eine möglichst konstante Beschaffenheit der Oberflächentextur insbesondere für die Testzentren der Automobilindustrie von großer Bedeutung. Jeder Tag kostet hier bares Geld und die Automobilhersteller benötigen zudem dauerhaft möglichst gleiche Bedingungen, um keine falschen Rückschlüsse aus den Testfahrten abzuleiten. Sinngemäß gilt gleiches für die Reifenherstellerindustrie. Daher haben sich führende Unternehmen aus diesem Segment die Vorteile der Konservierung von Asphalt zu eigen gemacht und nutzen das Verfahren bereits jahrelang.

2. Warum gerade jetzt konserviert werden sollte

In den letzten Jahren hat sich die zu erwartende Nutzungsdauer von Asphaltdeckschichten aus verschiedenen Gründen deutlich verkürzt.

Ein wichtiger Aspekt dabei ist die Alterung des Bindemittels Bitumen. Asphaltdeckschichten bestehen zu rund 94 % aus Füller (Gesteinsmehl), feiner Gesteinskörnung < 2,0 mm (Sand) und grober Gesteinskörnung > 2,0 mm (Splitt) sowie ca. 6 % Bindemittel, dem Bitumen (Straßenbaubitumen oder Polymermodifiziertes Bitumen). Lediglich das Bindemittel unterliegt einer beschleunigten natürlichen Alterung, die bereits nach wenigen Jahren zu erkennbaren Schäden führt: Kornausbruch und Rissbildung münden in Schlaglöchern und letztlich vollständiger Zerstörung des Straßenkörpers.

Eine beschleunigte Alterung des Asphaltes aufgrund der über Millionen Jahren entstandenen Gesteine ist faktisch ausgeschlossen und kann als Ursache ausgeschlossen werden.

Nunmehr wird dieser Entwicklung mit umfangreichen Maßnahmen zur Erneuerung der Asphaltdeckschichten

Rechnung getragen. Dennoch altern die Asphaltsschichten deutlich schneller, als dass die Maßnahmen diesen fortschreitenden Effekt einholen könnten.

Die Lösung ist eine präventive Vorgehensweise, wie wir sie aus vielen anderen Bereichen schon lange kennen: die Konservierung. Diese Technik bietet sehr ausgewogene Eigenschaften hinsichtlich versteifender Wirkung und positivem Kälteverhalten.

Die Konservierung von Asphalt erfolgt durch Anspritzen der bestehenden Asphaltoberfläche mit „GPM“ (Gilsonite Preservative Material). Das Konservierungsmittel dringt dabei bis zu 10 Millimeter in die bestehende Deckschicht und geht eine chemische Verbindung mit dem vorhandenen Bindemittel ein. Dabei wird die Textur der Straßenoberfläche nicht verändert, auch offenporige Beläge behalten bei rechtzeitiger Konservierung ihre gewünschten Eigenschaften.

Wesentlicher Wirkbestandteil des bislang bekannten Konservierungsmittels ist Gilsonit („Gilsonite“ bzw. „Uintahite“ aus Utah / USA). Gilsonit ist ein zu über 99 % reiner Kohlenwasserstoff natürlichen Ursprungs bzw. versteinertes Rohöl. Der Rohstoff Gilsonit zeichnet sich durch einen hohen Anteil von wertvollen Maltenen aus und ist im Einsatz als Konservierungsmittel besonders widerstandsfähig gegen Ausmagerungsprozesse (Oxidation und UV-Bestrahlung) und physikalische Beanspruchung.

Durch diese Eigenschaften schützt das Konservierungsmittel das im Asphaltbelag vorhandene Bitumen vor dem natürlichen Alterungsprozess. Der typische Ausmagerungsprozess des Bindemittels wird für mehrere Jahre nachweislich aufgehalten. Gleichzeitig verhindert die Konservierung wirksam den Eintritt von Wasser in den Asphalt und unterbindet weitgehend dessen schädigenden Einfluss.

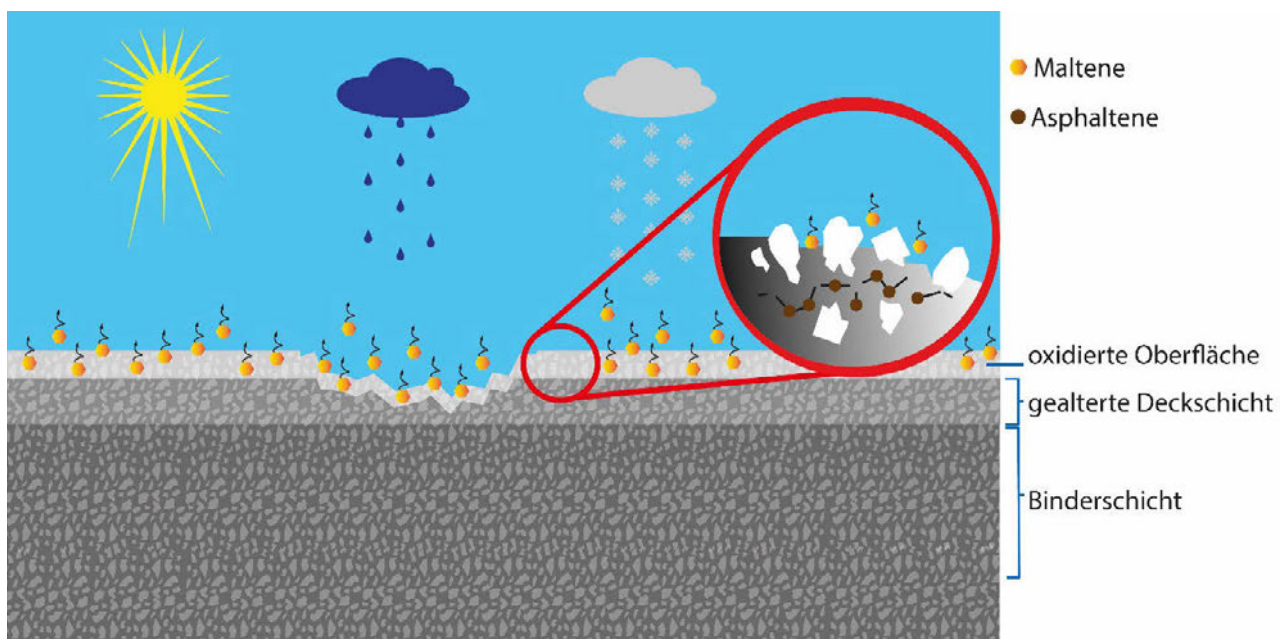


Abbildung 1: Nach mehreren Jahren: Ausgemagerte Asphaltdeckschicht, Verdunstungsalterung, oxidative Alterung, Strukturalterung

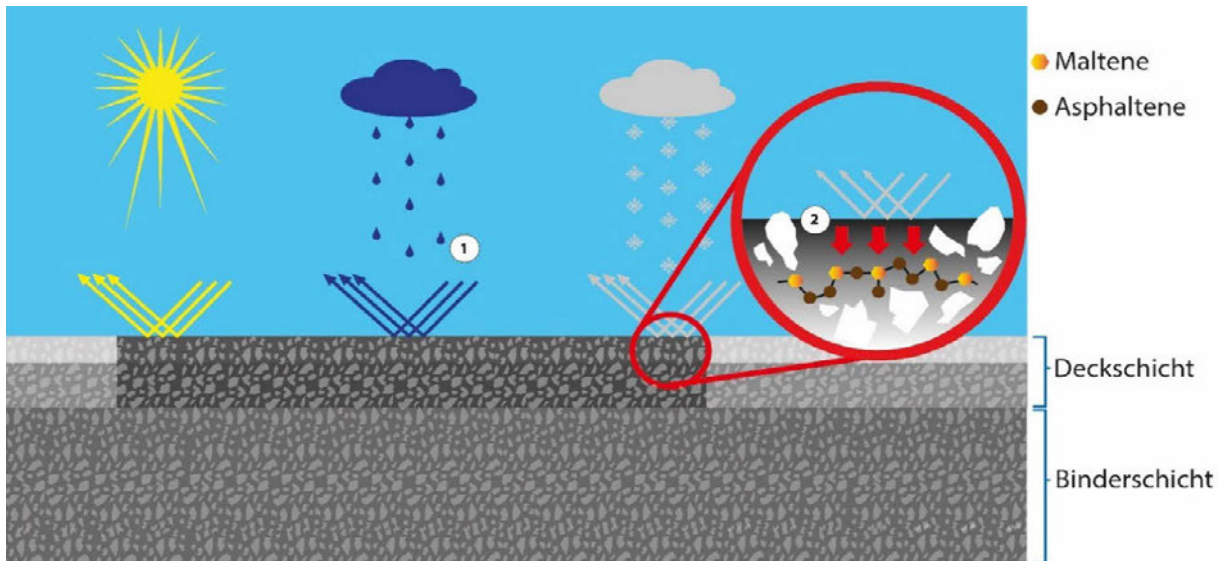


Abbildung 2: 1 Oxidation + Witterungseinflüsse werden zurückgewiesen 2 Maltene bleiben im Bitumen eingeschlossen

Der Einsatz des Konservierungsmittels erfolgt zu einem Zeitpunkt, zu dem noch keine wesentlichen Schäden am zu konservierenden Asphalt eingetreten sind. In Abhängigkeit des Zeitpunktes der Konservierung kann die (Rest-) Nutzungsdauer der Asphaltdeckschicht bis zu verdoppelt werden.

Die innovative Erhaltungstechnologie AsKo wird für potentielle Auftraggeber immer interessanter, da die Alterung des Bitumens und damit verbundenen Struktur-schäden in der Asphaltdeckschicht mittels einer kostengünstigen und schnellen Ausführung gestoppt werden.

In naher Zukunft wird insbesondere der Behandlung von offenporigen Asphaltbelägen eine hohe Bedeutung zukommen, da diese Beläge besonders schnell Alterung

erfahren. Die behandelten Flächen können bereits nach spätestens zwei Stunden wieder für den fließenden Verkehr freigegeben werden. Zudem kann die Asphaltkonservierung in einem ca. jährigen Zyklus wiederholt werden. Viele Vorteile, die AsKo zu einer äußerst attraktiven Alternative zu den klassischen Instandhaltungsmaßnahmen von Asphaltdeckschichten macht.

Die Konservierung ist eine Präventivmaßnahme, um die Alterung des Bindemittels im Asphalt zu verzögern. Dabei sollen der Anstieg des Erweichungspunktes Ring und Kugel im Laufe der Jahre verzögert und die Zeitabstände bis zum Erreichen des Zeitpunktes für eine erneute Erhaltungsmaßnahme verlängert werden.



Abbildung 3: Rampenspritzgerät

3. Rampenspritzgerät und Qualitätssicherung

Im Konservierungsverfahren kommen Produkte zum Einsatz, die sprühhfähig aufbereitet mit einem für die Verwendung von lösemittelhaltigen Bindemitteln geeigneten Rampenspritzgerät, in der erforderlichen Menge auf die Oberfläche der Verkehrsflächenbefestigung in Asphaltbauweise, aufgebracht werden. Je nach Anforderung kann die Fläche gleichzeitig mit einem Schmelzkammergranulat abgestreut werden. (das Merkblatt über die Verwendung von Kraftwerksnebenprodukten im Straßenbau ist zu beachten).

Das eigens entwickelte Rampenspritzgerät muss dabei, mindestens jährlich oder nach größeren Reparaturen, einer Kalibrierung gemäß DIN EN 12272-1 unterzogen werden. Nur durch korrekt kalibrierte Verlegemaschinen kann eine entsprechend gleichmäßige Güte bei der Applikation des Konservierungsmittels erzielt werden. Daher ist eine fachmännische Kalibrierung ein notwendiges und wesentliches Kriterium. Kann die Gleichmäßigkeit über die gesamte Breite des Sprühbalkens nicht eingehalten werden, wird das gewünschte Sprühbild nicht erreicht und somit in letzter Konsequenz die gewünschten Eigenschaften nicht erzielt. Aus diesem Grund ist es ratsam das zugehörige Kalib-

rierprotokoll bereits bei der Ausschreibung anzufordern. Kann dieses nicht in entsprechender Form vorgezeigt, beziehungsweise in Kopie eingereicht werden, so ist der Bieter aus dem Vergabeverfahren auszuschließen.

Hierbei empfiehlt es sich keine Kompromisse einzugehen, da eine fachmännische Kalibrierung ein Qualitätsindikator für die Arbeitsweise eines ausführenden Unternehmens darstellt und folglich der Qualitätssicherung dient. So können die nachfolgend dargestellten Verbrauchsmengen zielsicher erreicht werden:

- Konservierungsmittel: 0,3 bis 0,8 kg/m²
- Schmelzkammergranulat (Körnung 0,5 bis 1,4 mm): 0,3 bis 0,5 kg/m²

4. Schäden und Wirkungsweise

Die Bauweisen offenporiger Asphalt sowie Splittmastixasphalt stehen, hinsichtlich der Dauerhaftigkeit und bei offenporigem Asphalt insbesondere der abnehmenden akustischen Wirksamkeit durch Kornverlust im Zuge der strukturellen Alterung des Asphaltes, zunehmend in Kritik.

Laborversuche haben nachgewiesen, dass der Splitt- oder Kornverlust in Folge Frost-Tau-Wechseln durch eine rechtzeitige Konservierung wirkungsvoll verhindert werden kann. Die akustischen Eigenschaften, insbesondere bei offenporigem Asphalt werden durch die marginale Veränderung des Hohlraumgehaltes nicht nachteilig beeinflusst.

Das Konservierungsmittel verbindet sich auf der freizugänglichen Oberfläche mit dem Bitumen des Asphaltmischgutes und schützt dieses gegen Witterungseinflüsse (Feuchtigkeit, Sonneneinstrahlung usw.). Durch die chemische Verbindung wird das Konservierungsmittel Bestandteil der behandelten Asphaltdeckschicht, dringt in die Kapillaren ein und verschließt diese gegen den Zutritt von Wasser und Luftsauerstoff. Daraus resultiert ein verzögerter Alterungsprozess.

Die Konservierung des Asphaltes entfaltet die größte Wirkung auf die Nutzungsdauer des Asphaltes, wenn sie zwischen 6 und 12 Monaten nach Einbau der Asphaltdeckschicht aufgebracht wird. Auch während der Nutzungszeit wirkt sich eine wiederholte Konservierung positiv auf die zu erwartende Restnutzungsdauer aus.

Eine Wiederholung der Konservierung ist je nach Verkehrsbelastung und Zustand der Asphaltdeckschicht ca. alle 6 bis 8 Jahre möglich. Interne Erfahrungen des LBM RP zu einer wiederholten Anwendung des Verfahrens liegen zurzeit noch nicht vor.

Ähnlich wie bei einer neuen Asphaltdeckschicht, muss nach der Konservierung mit einer temporären Griffigkeitsreduzierung gerechnet werden. Auf Grund dessen wird empfohlen eine Griffigkeitsmessung durchzuführen. Außerdem sollte die Strecke nach Konservierung mit dem Zeichen nach der StVO Nr. 114 (Schleudergefahr) und einer Geschwindigkeitsbeschränkung beschildert werden.

5. Nachhaltige Bauweise

Es liegt aus den dargestellten Zusammenhängen auf der Hand, dass die zu erwartende Nutzungsdauer durch Konservierung deutlich erhöht werden kann. Dies bedeutet weniger Baustellen und dadurch weniger Stau und gerade in innerstädtischen Bereichen weniger Abgase durch stehenden Verkehr. Die Bauweise erzielt andere Erhaltungszyklen, was zu einer Schonung der Ressourcen führt. Der Austausch der Asphaltdeckschicht in einer typischen Schichtdicke von 4 cm bedarf nicht nur entsprechende Baustoffe wie Sand, natürliches Gestein und Bitumen, sondern auch der Abtransport des gefrästen Ausbausphaltes per LKW erzeugt zwangsläufig Abgase. Darüber hinaus wird die am Asphaltmischwerk zur Erwärmung des Gesteins notwendige Energie eingespart, wie auch der Transport vom Mischwerk zur Baustelle und die Vielzahl der Einbaugeräte vor Ort.

All das zeigt in der heutigen Zeit den wesentlichen Nutzen der Konservierung und spricht für dieses Verfahren.



Abbildung 4: Beispielhaft links ein konservierter und rechts nicht konservierter Bereich



Kommunale Planung

Ganzjährige Nutzung von Radwegen – Anforderungen an Unterhalt und Winterdienst auf Radwegen

Prof. Dr.-Ing. Christian Holldorb

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft, Karlsruhe

Zusammenfassung

Nicht erst im Rahmen einer Mobilitätswende gewinnt der Radverkehr zunehmend an Bedeutung. Hierfür ist es erforderlich, dass Radverkehrsanlagen ganzjährig sicher und möglichst komfortabel befahren werden können, so dass neben Planung und Ausführung auch Unterhaltung und Betriebsdienst zunehmend in den Fokus der Straßenbaulastträger rücken. In diesem Beitrag wird auf Grundlage aktueller Forschungsvorhaben und der Arbeit der FGSV ein Überblick gegeben, welche Standards für den ganzjährigen Unterhalt von Radverkehrsanlagen zu definieren sind. Neben rechtlichen und technischen Anforderungen sind auch organisatorische Fragestellungen zu berücksichtigen, da nur eine durchgängige Betreuung von Radwegeverbindungen, deren Teilstücke häufig von unterschiedlichen Baulastträgern unterhalten werden, zu einer ganzjährig hohen Nutzung führt. Neben der operativen Durchführung ist aber auch die aktuelle Information über Radwegeverbindungen und ihren Zustand entscheidend für das Nutzungsverhalten.

1. Einleitung

Die Bereitstellung von durchgehenden sowie sicher und komfortabel befahrbaren Radverkehrsanlagen ist eine der wesentlichen Voraussetzungen für eine breite Akzeptanz des Fahrrades als alltägliches Verkehrsmittel. Zahlreiche Kommunen haben in den letzten Jahren und Jahrzehnten eine dahingehende Transformation des Verkehrsnetzes begonnen und konnten innerhalb überschaubarer Zeiträume beachtliche Veränderungen des Modal Split erreichen. So konnte z. B. der Radverkehrsanteil in Karlsruhe von 16 % im Jahr 2002 über zunächst 25 % im Jahr 2012 auf (vorläufigen Ergebnissen der letzten Erhebung von 2018/2019 zufolge) aktuell über 30 % erhöht werden.

Aber nicht nur im kommunalen Bereich nimmt die Bedeutung des Radverkehrs zu. U.a. durch die starke Verbreitung von E-Bikes und Pedelecs wird er auch auf längeren Distanzen von 10 km und mehr für immer mehr Menschen eine Alternative zum Kfz bzw. zum ÖPNV auf dem Weg zur Arbeit, zur Ausbildung oder zum Einkaufen. Somit wächst die Bedeutung von Radwegeverbindungen auch im Außerortsbereich, die darüber hinaus für Freizeit und Tourismus genutzt werden und somit in vielen Regionen eine wichtige Säule für den Fremdenverkehr sind.

Der wachsenden Bedeutung des Radverkehrs wird auf vielfältige Weise Rechnung getragen. Es gibt umfassende Förderprogramme, z.B. stellt das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) knapp 1,5 Milliarden Euro für die Förderung und Finanzierung des Radverkehrs und der Radinfrastruktur in den Jahren 2020

bis 2023 zur Verfügung [1]. Weiterhin fördert es sieben Stiftungsprofessuren, u.a. an der Hochschule Karlsruhe, mit dem Ziel, den Radverkehr in Forschung und Lehre zu verankern [2].

In mehreren Bundesländern, so auch in Baden-Württemberg, werden in den Straßengesetzen Radschnellverbindungen den Straßen als Landes-, Kreis- oder Gemeindestraßen gleichgestellt [3]. Auch in der Organisation der Straßenbauverwaltungen spiegelt sich die wachsende Bedeutung des Radverkehrs zukünftig wider: Beispielsweise sollen ab 2021 bei Hessen Mobil 20 neue Stellen im Bereich Radverkehr geschaffen werden und der Radverkehr wird mit Schienenverkehr und ÖPNV in einer neuen Abteilung gebündelt neben den klassischen Abteilungen „Planung und Bau“ sowie „Betrieb und Verkehr“ [4].

Mit der Corona-Pandemie steht der Radverkehr seit dem Frühjahr 2020 nochmals stärker im Fokus, da er neben dem Fußverkehr die einzige Mobilitätsform ist, mit der Wege weitgehend klimaneutral und mit minimalem Infektionsrisiko wahrgenommen werden können.

2. Rechtliche Anforderungen

Die Verkehrssicherungspflicht gemäß § 823 und § 836 BGB [5] ist Grundlage für die Verpflichtung der jeweiligen Baulastträger zu Unterhaltung und Betrieb der Radverkehrsanlagen, die dem öffentlichen Verkehr gewidmet sind. Weitere Grundlage sind die Straßengesetze von Bund und Ländern, nach denen auch separat geführte Radwege als Fahrbahnen eingestuft sind [6]. Aus der Verkehrssicherungspflicht resultiert insbesondere die

Verpflichtung, eine gefahrlose Nutzung zu ermöglichen bzw. Gefahren für den Nutzer soweit möglich zu minimieren. Wenn eine Gefahrenbeseitigung nicht möglich ist, ist vor der Gefahr zu warnen oder ggf. der Radweg für die Nutzung zu sperren.

Die Pflicht zu Reinigung und Winterdienst im innerörtlichen Bereich resultiert darüber hinaus auch aus der polizeilichen Reinigungspflicht. Für Gehwege sowie kombinierte Rad- und Gehwege kann diese durch Ortssatzung auf die Anlieger übertragen werden. In Schleswig-Holstein ist dies auch für Radwege möglich [7].

Konkrete gesetzliche Vorgaben zu Umfang, Häufigkeit oder Reaktionszeiten bestehen nicht, diese sollen sich an der Leistungsfähigkeit der Baulastträger orientieren, ein Recht auf immer gefahrlose Nutzung der Radwege, so wie für die Verkehrsinfrastruktur insgesamt, besteht also nicht. Maßgebend hierfür sind jedoch entsprechend der Rechtsprechung das Gefährdungspotenzial und die Verkehrsbedeutung [8].

Für Radwege besteht eine Benutzungspflicht für Radfahrende und ein Benutzungsverbot für den Kfz-Verkehr, wenn sie durch Zeichen 237, 240 oder 241 als Radweg ausgewiesen sind, dies gilt auch für Radfahrstreifen, bei denen ein Teil der Fahrbahn durch eine durchgehende Markierung von der Fahrbahn getrennt ist. Für Fußwege (Zeichen 239) mit dem Zusatzzeichen „Radfahrende frei“ (Zeichen 1022-10) besteht hingegen keine Benutzungspflicht. Schutzstreifen am rechten Fahrbahnrand, die bei Bedarf vom Kfz-Verkehr befahren werden dürfen, sind Teil der Fahrbahn und somit rechtlich nicht als Radwege einzustufen.



Bild 1: Verkehrszeichen der StVO zu benutzungspflichtigen Radwegen

Die Benutzungspflicht gilt für Radfahrende jedoch nicht, wenn der Radweg nicht befahrbar ist, z. B. aufgrund von Verschmutzung oder Schnee im Winter. Dann ist es zulässig, auf die Fahrbahn auszuweichen. Dieser Umstand entbindet den Baulastträger jedoch nicht von seiner rechtlichen Verpflichtung zum Unterhalt der Radwege, da benutzungspflichtige Radwege in der Regel dort angeordnet werden, wo die Nutzung der Fahrbahn zu einer besonderen Gefährdung der Radfahrenden führen würde. Somit sind benutzungspflichtige Radwege in der Regel als gefährlich im Sinne der Verkehrssicherungspflicht einzustufen [6].

Aus der nichtamtlichen Beschilderung von Radrouten (s. Bild 2) resultiert weder eine Verpflichtung zum Unter-

halt des Verkehrswegs als Radweg gemäß Verkehrssicherungspflicht noch eine rechtliche Benutzungspflicht für Radfahrende. Diese Radrouten werden vielfach auch über das nachgeordnete Wegenetz (land- und forstwirtschaftliche Wege) geführt. Die rechtlichen Anforderungen an den Umfang von Unterhalt und Betrieb orientieren sich an der Nutzung durch Land- und Forstwirtschaft, z. B. besteht somit keine Verpflichtung zum Winterdienst.



Bild 2: Tabellenwegweiser für die nichtamtliche Wegweisung von Radrouten [9]

3. Anforderungen aus Sicht der Radfahrenden

Die rechtlichen Anforderungen an Unterhalt und Betrieb der Radwege sind für die Radfahrenden ähnlich wie an Fahrbahnen für den Kfz-Verkehr nur von sekundärer Bedeutung. Für die Radfahrenden steht die sichere und komfortable Nutzung der Radwegeverbindungen im Vordergrund. Somit sind die rechtlichen Anforderungen vielfach eher als Mindeststandard zu sehen, Unterhaltung und Betrieb sollten sich vielmehr am vorhandenen Verkehrsbedürfnis des Radverkehrs und darüber hinaus auch an der potenziellen Verkehrsnachfrage orientieren. Es ist zu berücksichtigen, dass zur Förderung des Radverkehrs verlässliche Angebote zu schaffen sind, die dann durch den Radverkehr wahrgenommen werden.

Aber auch für die Radfahrenden ist es in der Regel nachvollziehbar, dass nicht alle Radwegeverbindungen immer einem optimalen Zustand entsprechen und dass je nach Art der Wegeverbindung und auch saisonal Einschränkungen in Kauf zu nehmen sind. Die Anforderungen an Radwegeverbindungen variieren somit: Bei Radwegeverbindungen, die überwiegend im Sommer touristisch genutzt werden, ist eine eingeschränkte Nutzbarkeit im Winter eher akzeptabel als bei Radwegeverbindungen, die ganzjährig im Alltagsradverkehr genutzt werden. Für Radwege, die z. B. ausschließlich zur Erschließung eines örtlichen Freibades dienen, ist die winterliche Nutzung sicherlich untergeordnet, die Verkehrsnachfrage wird durch einen optimalen Winterdienst nicht signifikant gesteigert werden können. Werden aber z. B. Schulen oder Sportanlagen erschlossen, kann durch die ganzjährige und zuverlässige Aufrechterhaltung der sicheren und komfortablen Befahrbarkeit der Radwegeverbindung ein erhebliches Nutzungspotenzial aktiviert werden.

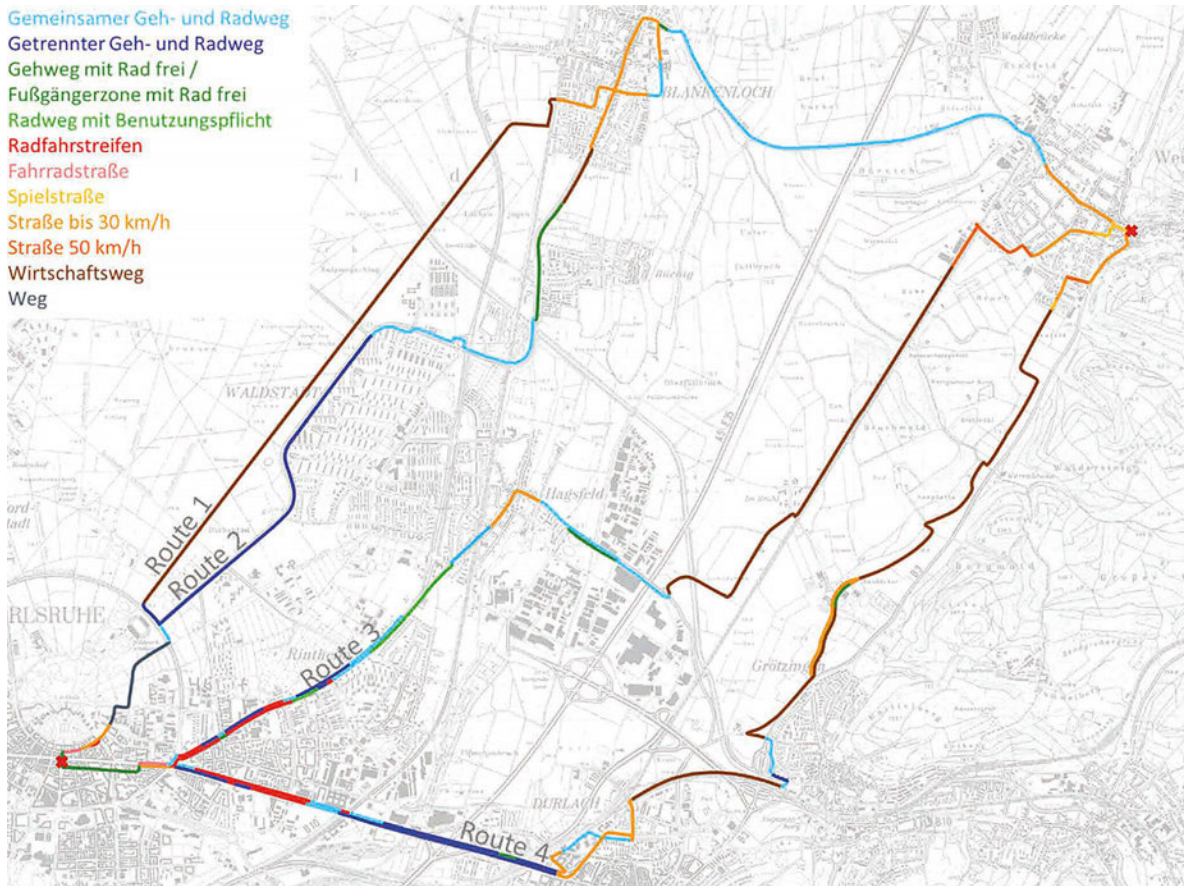


Bild 3: Radverkehrsführung auf ausgewählten Routen zwischen Karlsruhe und Weingarten [10]

Für die Radfahrenden steht die durchgehende Nutzung von Radwegeverbindungen im Vordergrund, unabhängig von der Art der Führung. Radwegeverbindungen führen vielfach über unterschiedliche Arten von Radwegen, Straßen sowie nachgeordnete Wege (s. Bild 3). Anforderungen an Unterhaltung und Betrieb sollten sich daher aus Sicht der Radfahrenden an der Radwegeverbindung und nicht an der Art der Verkehrsführung orientieren. Beispielsweise sollten auch Nebenstraßen, auf denen eine bedeutsame Radroute geführt wird, im Winterdienst betreut werden, obwohl sie für den Kfz-Verkehr nur eine untergeordnete Bedeutung haben.

Aufgrund der in der Regel einspurigen Ausführung haben Fahrräder bei plötzlichen Änderungen der Fahrbahnbeschaffenheit eine deutlich geringere Stabilität als zweispurige Kfz. Weiterhin fehlt den Radfahrenden eine fahrzeugseitige Schutzhülle, so dass die Sturzgefahr bei schlechtem Wegezustand und die damit verbundene Verletzungsgefahr für Radfahrende deutlich höher als für Kfz-Insassen ist. Bei winterlicher Witterung ist das Unfallrisiko für Radfahrende deutlich höher: In einer Untersuchung der TU Dresden auf Grundlage von Befragungen, erhobenen Unfalldaten und entsprechenden Hochrechnungen wurde ein ca. 20-fach höheres Risiko bei winterlicher Fahrbahn ermittelt [6]. Aber nicht nur winterliche Glätte, sondern auch Glätte durch nasses Laub (s. Bild 4) oder durch die Verschmutzung landwirt-

schaftlicher Fahrzeuge können zu erheblichen Unfallrisiken führen, insbesondere dann, wenn sie in Kurven plötzlich auftreten.

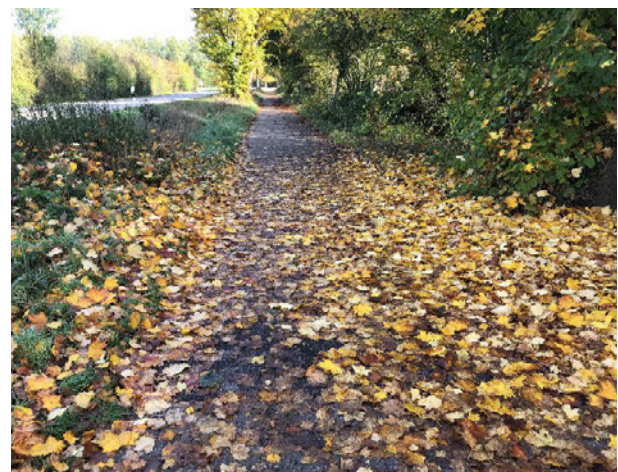


Bild 4: Laub auf Radweg, das bei Nässe ein erhebliches Gefährdungspotenzial für Radfahrende haben kann (Foto: Holldorb)

Weitere Mängel, die für Radfahrende zu einer erhöhten Gefährdung bzw. deutlichen Reduktion des Fahrkomforts führen, sind

- Splitt- und Sand auf dem Radweg, insbesondere bei Zufahrten nicht befestigter Wege
- Scherben und andere spitze Gegenstände, die zu Reifenschäden führen
- starke Unebenheiten, Schlaglöcher, Kanten, Hebungen durch Wurzeln
- dauerhafte Wasseransammlungen infolge unzureichender Entwässerung
- seitlicher Bewuchs mit Einschränkung der befahrbaren Breite oder der Sichtverhältnisse, insbesondere auch in Querungsbereichen
- einzelne, in das Lichtraumprofil ragende Äste
- zeitweise auf dem Radweg stehende Gegenstände, wie Werbetafeln, Mülltonnen etc.

Für die Nutzer der Radwege ist es von großer Bedeutung, dass diese Mängel möglichst rasch behoben werden. Ansonsten besteht vor allem im Alltagsradverkehr die Gefahr, dass durch die Radfahrenden über die Fahrbahn ausgewichen wird, was zu einer zusätzlichen Gefährdung führt.

Zu einer schnellen Mängelbeseitigung kann die einfache Meldung an die zuständigen Stellen beitragen. Hierzu gibt es in zahlreichen Kommunen DV-Anwendungen, die auch eine einfache Erfassung vor Ort mit dem Smartphone ermöglichen, bei der die Position automatisch erfasst wird und z.B. auch ein Foto unmittelbar zugeordnet werden kann (s. Bild 5). Allerdings ist aus Nutzersicht eine Baulastträger-übergreifende Meldung von großem Interesse, insbesondere bei Radwegeverbindungen, die durch verschiedene Gemeinden oder außerorts verlaufen. Die Bereitschaft zur Mängelmeldung ist bei Radfahrenden oftmals größer als bei Nutzern von Kfz, da sie am Schadensort oft leichter anhalten können und die Beeinträchtigung bzw. Gefährdung größer ist als im Kfz-Verkehr. Entscheidend für eine dauerhaft umfassende Nutzung solcher Anwendungen ist aber vor allem die kurzfristige Reaktion, d.h. die Mängelbeseitigung, durch den zuständigen Straßenbaulastträger und die entsprechende Information darüber.

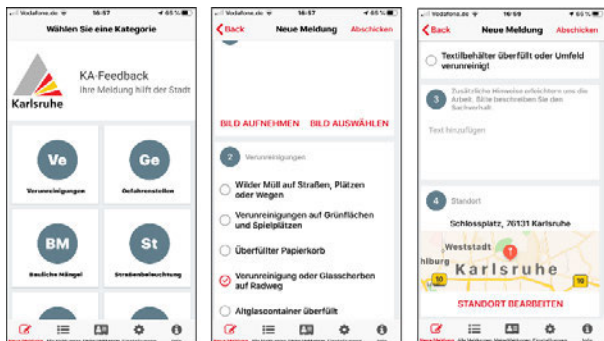


Bild 5: App „KA-Feedback“ für die Meldung von Mängeln auf Radwegen [11]

Die vorgenannten Anforderungen gelten natürlich auch für den Winterdienst. Wie für den Kfz-Verkehr sollte

auch auf Radwegeverbindungen Glätte nach Möglichkeit durch präventive Streueinsätze vermieden werden, da sie zu einer erheblichen Gefährdung beiträgt. Schneebedeckte Radwege sollten möglichst schnell geräumt werden, da ansonsten bei Nicht-Befahrbarkeit die Radfahrenden auf die Fahrbahn ausweichen. Wichtig ist auch die zuverlässige und rechtzeitige Durchführung im Winterdienst, d.h. nicht erst nachrangig nach den Fahrbahnen für den Kfz-Verkehr, sondern gleichrangig. Aus Sicht der Nutzer sollten auch die Nebenstraßen im Zuge von Radrouten im Winterdienst betreut werden, ebenso nachgeordnete landwirtschaftliche Wege, wenn sie eine Bedeutung für den ganzjährigen Radverkehr haben. Auf jeden Fall sollte das Zuschieben von Radwegen und Querungen bei der Räumung der Fahrbahn vermieden werden bzw. gewährleistet sein, dass diese Abschnitte durch nachfolgende Fahrzeuge auf dem Radweg unmittelbar wieder freigeräumt werden. Radrouten auf Abschnitten unterschiedlicher Baulastträger sollten möglichst durchgehend im Winterdienst betreut werden.

Wesentlich für die Nutzung des Fahrrades auch bei winterlicher Witterung ist die Information der Radfahrenden über das betreute Radwegenetz im Winter, das oftmals nicht alle ausgeschilderten Radrouten beinhaltet. Beispielsweise wird in Karlsruhe nur ein Teil des Radnetzes im Winter betreut (s. Bild 6). Hierbei handelt es sich um die Verbindungen mit hoher Nutzung bzw. besonderen Gefahren, die in Abstimmung zwischen Radwegeplanung (Stadtplanungsamt), Winterdienstbetreiber (Amt für Abfallwirtschaft) und Nutzern (ADFC) festgelegt werden.

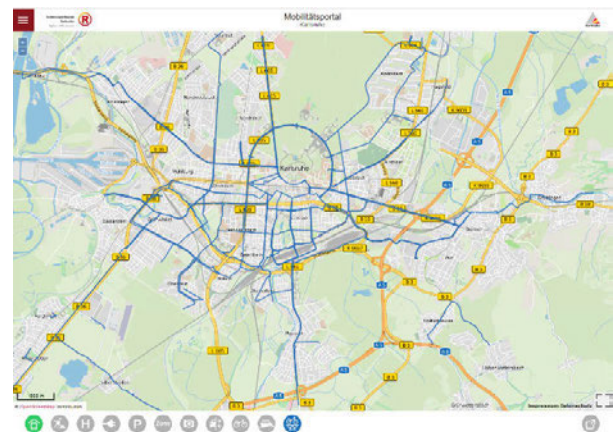


Bild 6: Karte zum Winterradnetz der Stadt Karlsruhe im Internet [12]

4. Anforderungen aus Sicht des Betriebsdienstes

Der Aufgabenumfang für Unterhalt und Betrieb der Radwege nimmt aufgrund des Ausbaus des Radverkehrsnetze und der stärkeren Nutzung stark zu. Oftmals stehen aber nicht im gleichen Maße zusätzliche Ressourcen zur Verfügung, so dass neben eigenen Mitarbeitern, Fahrzeugen und Geräten der Straßenmeistereien und kommu-

nalen Bauhöfe auch Fremdunternehmer, vor allem im Winterdienst, zum Einsatz kommen. Die erforderlichen Haushaltsmittel, egal ob für eigene Ressourcen oder die Fremdvergabe, stehen nicht immer in dem Maße zur Verfügung, wie sie erforderlich wären. Daher sind schon bei der Planung von Radwegerouten neben den Mitteln für den Bau auch die Mittel für Unterhaltung und Betriebsdienst zu berücksichtigen.

Ähnlich wie beim Straßennetz ist es zweckmäßig, die Radwegeverbindungen hinsichtlich eines einzuhaltenden Level of Service zu klassifizieren, der auf Verkehrsbedeutung, Verkehrspotenzial und ggf. besonderen Gefahrenstellen basiert. Je nach Level of Service können dann nachvollziehbare und umsetzbare Standards definiert werden, aus denen sich der erforderliche Finanz- und Ressourcenbedarf ableiten lässt.

Unterhaltung und Betrieb der Radwegeverbindungen stellen aber auch besondere organisatorische Anforderungen an die zuständigen Baulastträger, um eine effiziente Aufgabenerfüllung zu ermöglichen. Es kann zweckmäßig sein, die Aufgaben an Dritte, z. B. von der Straßenmeisterei an die Gemeinde oder von einer Gemeinde an einen Dritten zu übertragen, wenn die zu betreuenden Strecken nur kurz sind, schlecht erreichbar sind oder Fahrzeuge und Geräte nicht zur Verfügung stehen. Auch die durchgehende Betreuung der Radwegerouten an den Gemeindegrenzen erfordert eine zusätzliche Koordination. Für Radrouten, die auch über nachgeordnete Forst- und Waldwege, über Wege der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung oder über private Wege führen, sind zwar die Wegebesitzer verkehrssicherungspflichtig, dies umfasst aber nicht Unterhaltung und Betrieb als Radroute. Im Interesse der Nutzer ist aber eine einheitliche Qualität für die gesamte Radroute anzustreben. Bereits bei Ausweisung der Radroute sollte daher definiert werden, durch wen Unterhaltung und Betrieb erfolgen.

Bei der Planung von Radwegeverbindungen ist ebenfalls darauf zu achten, dass Unterhaltung und Betrieb möglichst einfach und durchgehend möglich sind. Im Wesentlichen ist die durchgehende Befahrbarkeit mit Fahrzeugen des Unterhaltungs- und Betriebsdienstes zu nennen, die durch nicht ausreichende Breiten und Höhen (s. Bild 7) sowie unzureichende Traglasten von Brückenbauwerken unmöglich ist. Die Anordnung von Pfosten oder Absperrungen zur Vermeidung der Nutzung von Radwegen durch den Kfz-Verkehr oder zum Schutz der Radfahrenden an Querungsstellen steht dieser durchgehenden Befahrbarkeit oft entgegen. Pauschale Lösungen sind hierfür nicht möglich, so dass die planerischen, sicherheitsrelevanten und betrieblichen Aspekte im Einzelfall abzuwägen sind.

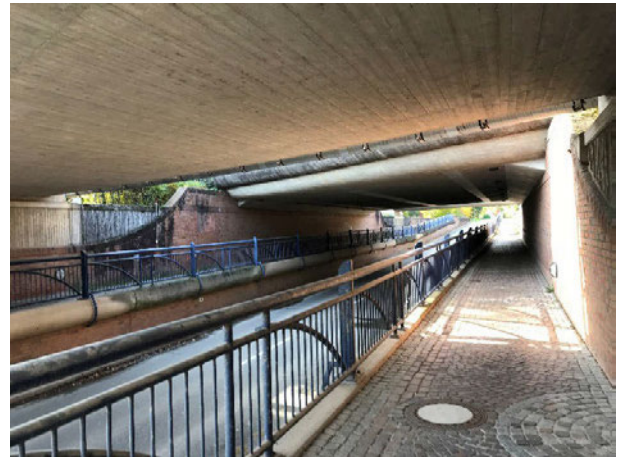


Bild 7: Radweg mit geringer Durchfahrthöhe im Zuge einer Bahnunterführung (Foto: Holldorb)

Es ist in der Regel vor allem im Innerortsbereich notwendig, für Unterhaltung und Betrieb der Radwege Schmalspurfahrzeuge einzusetzen, für die das für Radwege vorgesehene Lichtraumprofil ausreichend ist. Hierbei sind nicht nur die gemäß technischem Regelwerk vorzusehenden Breiten maßgebend, sondern auch die im Bestandsnetz davon immer wieder abweichenden zu schmalen Radwege. Alternativ kann auch der Einsatz von E-Lastenrädern (s. Bild 8) oder E-Bikes für die Streckenkontrolle und punktuelle Einsätze sinnvoll sein; für Winterdienst oder großflächige Kehrarbeiten sind sie natürlich nicht einsetzbar.



Bild 8: Einsatz eines E-Lastenrades im Rahmen des Projektes TRASHH durch die Stadtreinigung Hamburg [13]

5. Umsetzung im technischen Regelwerk

Für die Planung und den Bau von Radverkehrsanlagen steht mit den Empfehlungen für Radverkehrsanlagen (ERA), Ausgabe 2010 ein technisches Regelwerk zur Verfügung [14]. Dieses soll in Kürze durch Hinweise zu Radschnellverbindungen und Radvorrangrouten ergänzt werden, für die aber bereits auch jetzt schon länderspezifische Standards bestehen, z.B. die Qualitätsstandards und die Musterlösungen für Radschnellverbindungen in Baden-Württemberg [15] [16].

Für Unterhaltung und Betrieb von Radverkehrsanlagen fehlen jedoch entsprechende Regelwerke. Zum Teil sind Radwege im technischen Regelwerk für den Straßenbetriebsdienst berücksichtigt, diese bestehenden Regelungen sind jedoch für Radwege oftmals nur pauschal und werden nicht immer den wachsenden Anforderungen an Radverkehrsanlagen gerecht.

Durch den Arbeitsausschuss Winterdienst, der gemeinsamer Ausschuss der FGSV mit dem VKU (Verband kommunaler Unternehmen e. V.), Sparte Abfallwirtschaft und Stadtreinigung ist, wird in Kürze ein Papier zum Winterdienst auf Radwegen veröffentlicht. Im Sommer 2020 wurde durch die FGSV ein Arbeitskreis mit dem Ziel ge-

gründet, bis 2021 ein Hinweispapier für den Betrieb von Radverkehrsanlagen zu erarbeiten.

Darüber hinaus laufen derzeit mehrere Forschungsvorhaben zu Unterhaltung und Betrieb von Radverkehrsanlagen:

- E-WIN – Effizienter Winterdienst auf Radverkehrsanlagen in deutschen Städten am Beispiel der Stadt Hamburg durch die Stadtreinigung Hamburg [17]
- WinRad – Nachhaltige Förderung des Radverkehrs im Winter durch optimierten Winterdienst [18]
- AllRad – Steigerung der Fahrradnutzung durch verbesserte Radwegeunterhaltung [19]

Die Ergebnisse dieser vom BMVI geförderten Forschungsprojekte werden in zwei bis drei Jahren vorliegen und bei der Fortschreibung der technischen Regelwerke berücksichtigt werden können.

Somit rücken Unterhaltung und Betrieb, insbesondere der Winterdienst, als wesentliche Phasen im Lebenszyklus der Radverkehrsanlagen jetzt immer stärker in den Fokus, da sie für die sichere Nutzung bei hoher Verkehrsqualität ganzjährig von entscheidender Bedeutung sind und somit wesentlich zur Förderung des Radverkehrs beitragen.

Literatur

- [1] BMVI - Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: Förderung und Finanzierung des Radverkehrs. Online verfügbar auf <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/StV/Radverkehr/finanzielle-foerderung-des-radverkehrs.html>, abgerufen am 28.10.2020
- [2] BMVI - Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: BMVI fördert erstmals Radverkehrs-Professuren. Online verfügbar auf <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2020/005-scheuer-wir-staerken-radfahrern-den-ruecken.html>, abgerufen am 28.10.2020
- [3] Straßengesetz für Baden-Württemberg (Straßengesetz - StrG), in der Fassung vom 11.02.2020. Online verfügbar auf <http://www.landesrecht-bw.de>, abgerufen am 28.10.2020
- [4] NN: Hessen Mobil erhält eine neue Struktur. In Asphalt & Bitumen, Heft 04/2020, Giesel-Verlag, Hannover
- [5] Bürgerliches Gesetzbuch (BGB), in der Fassung vom 12.06.,2020. Online verfügbar auf <https://www.gesetze-im-internet.de/bgb/>, abgerufen am 29.10.2020
- [6] Hanke, H.: Winterdienst auf Radwegen – Herausforderungen und Lösungen. In. Straßenverkehrstechnik, Heft 8/2020. Kirschbaum-Verlag. Bonn
- [7] FGSV – Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen: Hinweise zur Übertragung von Winterdienstpflichten auf die Anlieger. Ausgabe 2015. FGSV-Verlag. Köln
- [8] Wichmann, M.: Straßenreinigung und Winterdienst in der kommunalen Praxis, 8. Auflage. Erich Schmidt Verlag, Berlin 2018
- [9] Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg: Fahrradwegweisung in Baden-Württemberg: „Standards Wegweisende Beschilderung für den Radverkehr in Baden-Württemberg. Mai 2020. Online verfügbar: https://www.aktivmobil-bw.de/fileadmin/user_upload_fahrradlandbw/1_Radverkehr_in_BW/c_Projekte_Infrastruktur/Landesradfernwege/200414_Standards_FWW-BW_final.pdf, abgerufen am 29.10.2020
- [10] Röder, A.: Optimierung und Vergleich regionaler Radrouten unter Einsatz des SensorBikes am Streckenbeispiel Karlsruhe – Weingarten (Baden). Bachelorthesis an der Fakultät für Informationsmanagement und Medien der Hochschule Karlsruhe (unveröffentlicht). Karlsruhe 2020
- [11] Stadt Karlsruhe: Smartphone Anwendung „KA-Feedback“-Version 4.0.2, erstellt durch das FZI Forschungszentrum Informatik am Karlsruher Institut für Technologie. Karlsruhe 2018
- [12] Stadt Karlsruhe, TechnologieRegion Karlsruhe GmbH: Mobilitätsportal der TechnologieRegion Karlsruhe. Online verfügbar: <https://mobilitaet.trk.de/portal.html>, abgerufen am 29.10.2020
- [13] Stadtreinigung Hamburg: Video: „Die neuen elektrischen Müll-Fahrräder der Stadtreinigung Hamburg“. Online verfügbar: https://www.youtube.com/watch?v=iq0Cr-h8UWA&feature=emb_logo, abgerufen am 29.10.2020
- [14] FGSV – Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen: Empfehlungen für Radverkehrsanlagen (ERA) – Ausgabe 2010. FGSV-Verlag. Köln
- [15] Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg: Qualitätsstandards für Radschnellverbindungen in Baden-Württemberg, Stand: März 2018. Online verfügbar: <https://www.aktivmobil-bw.de/radverkehr/radschnellverbindungen/qualitaetsstandards-und-musterloesungen/>, abgerufen am 28.10.2020
- [16] Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg: Musterlösungen für Radschnellverbindungen in Baden-Württemberg, Stand: März 2018. Online verfügbar: <https://www.aktivmobil-bw.de/radverkehr/radschnellverbindungen/qualitaetsstandards-und-musterloesungen/>, abgerufen am 28.10.2020
- [17] Institut für Verkehrsplanung und Straßenverkehr der Technischen Universität Dresden: E-WIN - Effizienter Winterdienst auf Radverkehrsanlagen in deutschen Städten am Beispiel der Stadt Hamburg. Online verfügbar: <https://tu-dresden.de/bu/verkehr/ivs/voeko/forschung/forschungsprojekte/e-win-effizienter-winterdienst-auf-radverkehrsanlagen-in-deutschen-staedten-am-beispiel-der-stadt-hamburg>, abgerufen am 29.10.2020
- [18] Institut für Verkehr und Infrastruktur der Hochschule Karlsruhe: WinRad - Nachhaltige Förderung des Radverkehrs im Winter durch optimierten Winterdienst. Online verfügbar: <https://www.hs-karlsruhe.de/ivi/forschungsprojekte/standard-titel>, abgerufen am 29.10.2020
- [19] Carsten Mahnel (Hochschule Mainz, Fachbereich Technik), Liliane Stein (Hochschule Mainz, Fachbereich Gestaltung): AllRad – Steigerung der Fahrradnutzung durch verbesserte Radwegeunterhaltung. Online verfügbar: <https://nationaler-radverkehrsplan.de/de/praxis/allrad-steigerung-der-fahrradnutzung-im-alltag>, abgerufen am 29.10.2020

1. Grundlagen

1.1 Barrierefreiheit – warum?

Ziel der Barrierefreiheit im öffentlichen Verkehrsraum ist die Inklusion sämtlicher Teilnehmer am Verkehr bzw. Nutzer des Verkehrsraums – Chancengleichheit für Alle.

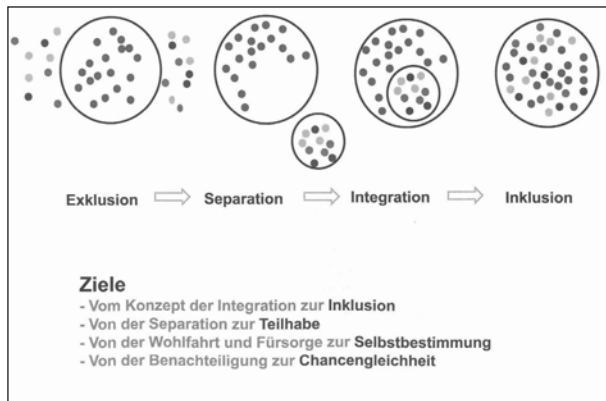


Bild 2

Dieses Ziel hat sich erst im Verlauf vieler Jahre entwickelt. Wollte man früher „Behinderte“ getrennt von den übrigen Menschen „behandeln“, so war man sich rasch einig, sie zumindest zu integrieren. Aber auch das war immer noch eine Sonderbehandlung. Inklusion heißt eben Teilhabe, Selbstbestimmung, Chancengleichheit, keine Sonderbehandlung (außer den notwendigen besonderen Maßnahmen im Verkehrsraum, das zu erreichen).

1.2 Arten von Einschränkungen (difu 2014)

Körperliche Behinderungen

- bewegungsbehinderte Menschen
- wahrnehmungsbehinderte Menschen
- sprachbehinderte Menschen
- kleine / große Menschen, Übergewichtige

Geistige Behinderungen

- geistige Einschränkungen (Analphabeten, ...)
- psychische Behinderung (Klaustrophobie, ...)

Alterseinschränkungen

- Junge / Alte

Temporäre Einschränkung

- Schwangere, Menschen mit Gepäck / Hund / Kindern, Kranke
- Sprachunkundige, Ortsunkundige, ...

7,3 Mio. Schwerbehinderte (mit Ausweis)
= 9% d. dt. Bevölkerung

Zahl **mobilitätsbehinderter Personen** weitaus höher:
20% bis 30% der Bevölkerung

Ein Hinweis meinerseits bei Schulungen von Busfahrern, an denen ich ab und zu teilnehme, lautet:

„Gehen sie davon aus, dass in jedem Bus, den sie lenken, mindestens 5 Menschen mitfahren, die in ihrer Mobilität irgendwie eingeschränkt sind, ohne dass es gleich erkennbar ist.“

Bewusstsein schaffen! Das Thema ist letztendlich allgegenwärtig, leider noch nicht im Sinne der Abhilfe.

1.3 gesetzliche Grundlagen

Barrierefreiheit bzw. Inklusion basiert auf einer umfangreichen gesetzlichen Grundlage. Eine Auswahl hiervon: Grundgesetz:

Niemand darf wegen seiner Behinderung benachteiligt werden.

BGG Behindertengleichstellungsgesetz:

§ 8 Herstellung von Barrierefreiheit in den Bereichen Bau und Verkehr

AGG Allgemeines Gleichbehandlungsgesetz

UN-Konvention

BRK Behindertenrechtskonvention

LGG-BW Behindertengleichstellungsgesetz

LBO Landesbauordnung

DIN 18040 – 1-3, DIN 32984, ...

konkreteste Festlegung aktuell

§ 8 Abs. 3 PBefG (Personenbeförderungsgesetz / Nahverkehrsplan)

Ziel:

„... für die Nutzung des ÖPNV bis zum 01.01.2022 eine **vollständige Barrierefreiheit** zu erreichen. ...“

Dies betrifft „in ihrer Mobilität oder sensorisch eingeschränkte“ Menschen.

Der 1. Januar 2022 ist kein Jahr mehr entfernt, was haben wir, was haben Sie dazu bereits geschaffen?

Dieses konkrete Datum lag immer „weit in der Zukunft“, nun kommt es erschreckend schnell näher. Ich kenne keine Kommune, die das Ziel vollumfänglich zeitgerecht erreichen wird – lasse mich aber gerne eines Besseren belehren.

Nichts desto trotz gilt es aber den Umbau – nicht nur von Bushaltestellen – voranzutreiben und zu intensivieren. Schaffung von Barrierefreiheit ist gesellschaftlicher Konsens, nicht nur gesetzliche Vorgabe.

2. Details

2.1 Blindenleitsysteme

2.1.1 Aufgaben von Blindenleitsystemen (BLS)

- Auffinden / Beachten
- Leiten
- Sperren
- **Orientierung** Fühlen, nicht Sehen

Auffinden / Beachten (Richtungswechsel)

Aufmerksamkeitsfeld („Achtung, es ändert sich was“)

Ausführung als **Noppenfelder**

nicht mehr zeitgemäß – Kugelsegmente, orthogonal



Bild 3

nur noch verwenden - Kegelstümpfe
diagonal angeordnet
taktil wesentlich besser erkennbar



Bild 4

einheitliches Noppenbild beachten

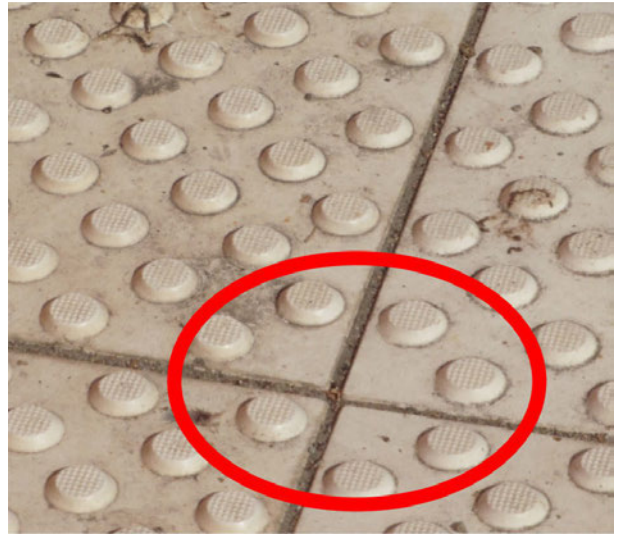


Bild 5

genügend große Felder anordnen (DIN)



Bild 6

Leitsysteme können auch gefräst werden
Noppen sind dann eben rechteckig



Bild 7

Leiten (Längsführung)

Richtungsfeld („hier entlang“)
Ausführung als **Rippenfelder**
Rippenplatten, Rippen **in** Gehrichtung
Rippenabstand 50 mm



Bild 8

Ebenfalls in gefräster Form möglich, z.B. in denkmalgeschützten Belägen, in denen keine Leitplatten eingelegt werden dürfen.

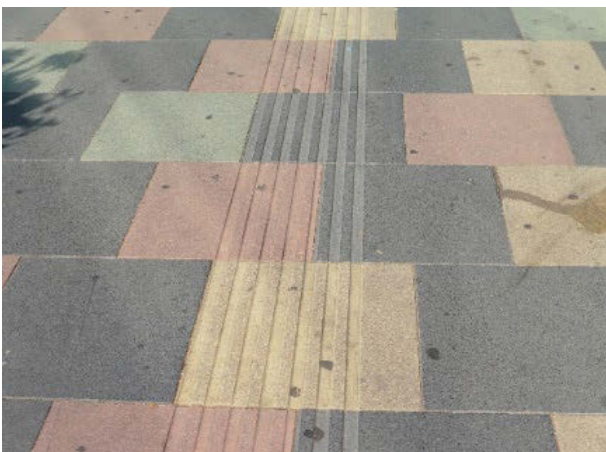


Bild 9

Bei Richtungsänderungen mit einem Winkel größer 45° Aufmerksamkeitsfeld notwendig, kleinere Richtungsänderungen auch in Bogenform möglich (nur bei Fräsungen).



Bild 10



Bild 11

Sperren (Längsführung)

Sperrfeld („hier geht’s nicht weiter“)

Ausführung als **Rippenfelder**

Rippenplatten, Rippen **quer zur** Gehrichtung

Rippenabstand 38 mm



Bild 12



Bild 13



Bild 14

2.1.2 Maßvorgaben bei Blindenleitsystemen (BLS)

maßgeblich ist ausschließlich **DIN 32984**

möglichst Querungsstelle mit differenzierter Bordhöhe

„höhengetrennt“

notfalls Querungsstelle mit einheitlicher Bordhöhe

„höhengleich“

Detail Querungsstelle

Quelle: DIN 32984

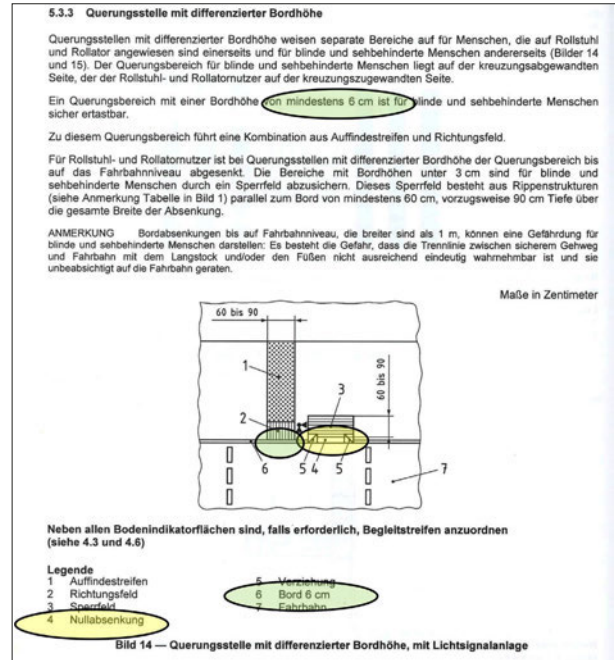


Bild 15

Standards Stadt Pforzheim

höhengetrennt **0 cm** Rollstuhl / Kinderwagen

6 cm Blinde

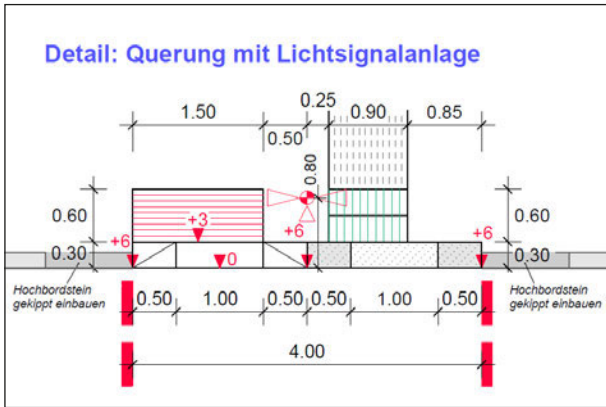


Bild 16

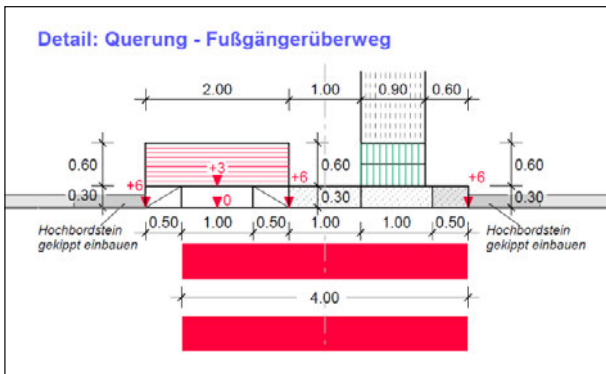


Bild 17

diese Lösung nur im **Ausnahmefall**:
falls höhengetrennte Querung technisch nicht möglich
3 cm Anschlag

**Querungsstelle mit Bordhöhe 3,0 cm
an Fußgängerüberweg (nach DIN 32984)**

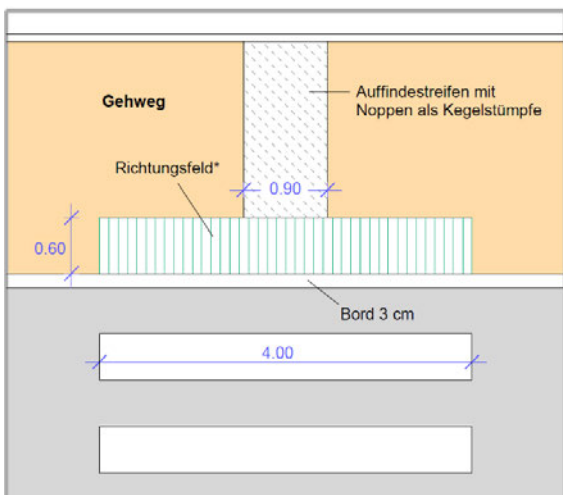


Bild 18

Vielfältige Detailausbildungen denkbar, aber immer auf Basis der DIN 32984

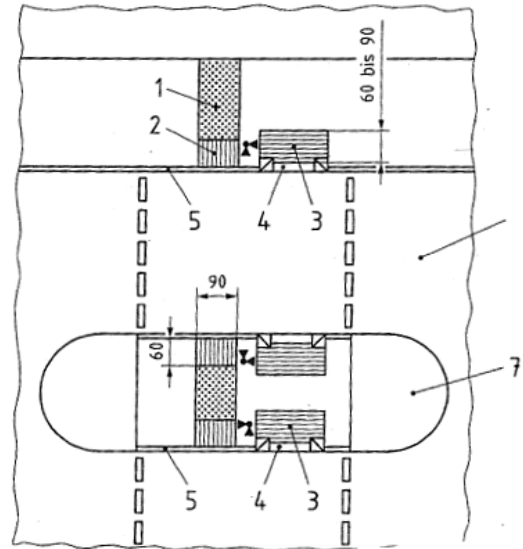


Bild 19

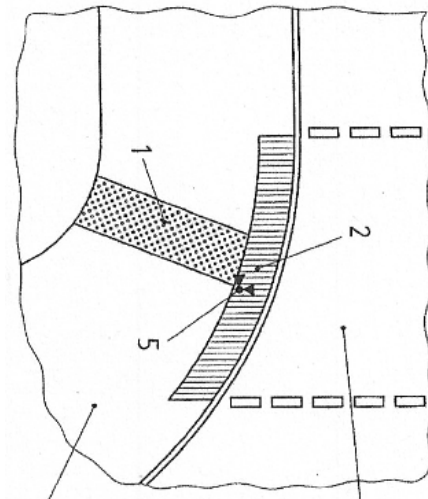


Bild 20

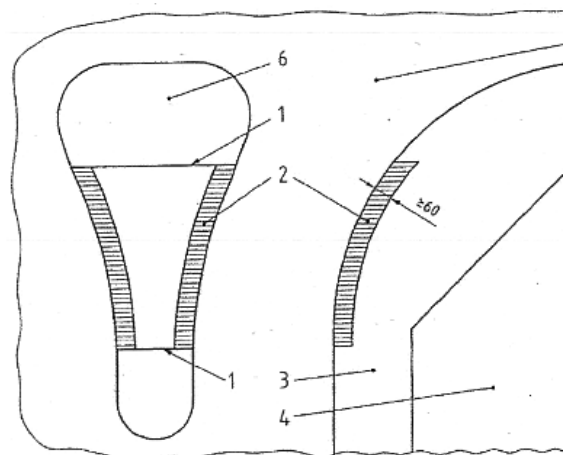


Bild 21

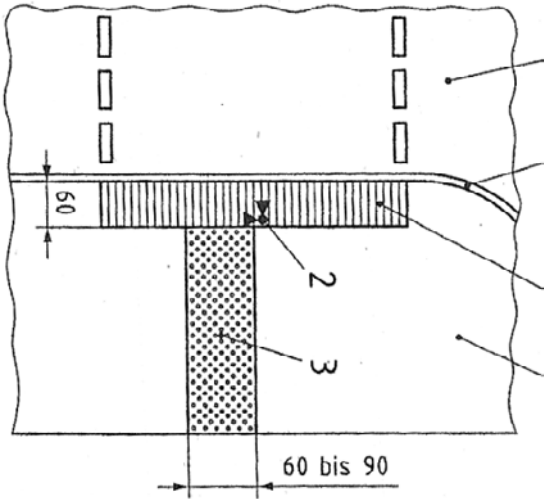


Bild 22

Spezialfall „ungesicherte Querungsstelle“
(keine Ampel o.ä.)

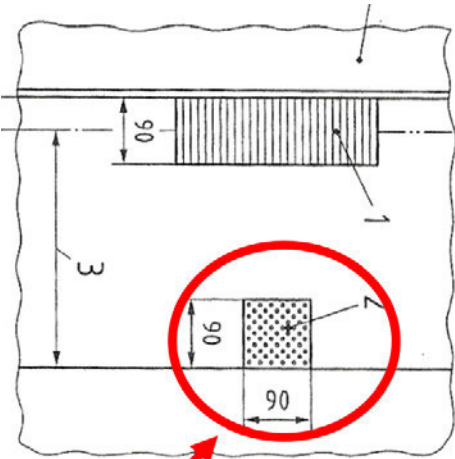


Bild 23

Auffindefeld an Gehweghinterkante
kein durchgehender Leitstreifen zum Bordstein

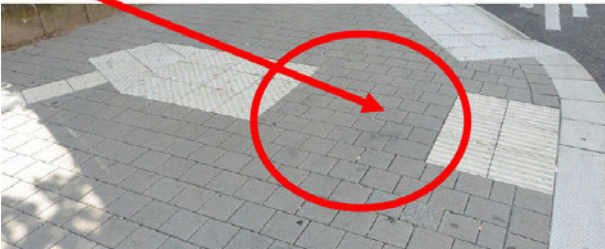


Bild 24

2.1.3 Ausführungsdetails bei Blindenleitsystemen (BLS)

wichtig: maßhaltig – kantenfrei – ebenflächig

maßhaltig



Bild 25

Rollstuhlabsenkung
= 0 cm

EXAKT !!

Blindenkante
= 6 cm

kantenfrei



Bild 26

keine Kanten und Stolperecken
ebenflächig

SO NICHT !!



Bild 27

keine Fasen und Absätze
extra so in Ausschreibung angeben

ABSOLUT EBEN !! DIN 18318 = 2 mm

Fugen richtig positionieren / Schnitte richtig setzen:



Bild 28



Bild 29

Der zusätzliche Schnitt ist auszuschreiben und zu ver-
güten.

2.2 barrierefreie Bushaltestellen

2.2.1 Aufgaben von barrierefreien Bushaltestellen

Ein- und Aussteigen ohne unüberwindbare Hindernisse
→ Selbständigkeit

Fahrerhilfe nur im Notfall – aber immer vorhanden

2.2.2 Maßvorgaben bei barrierefreien Bushaltestellen

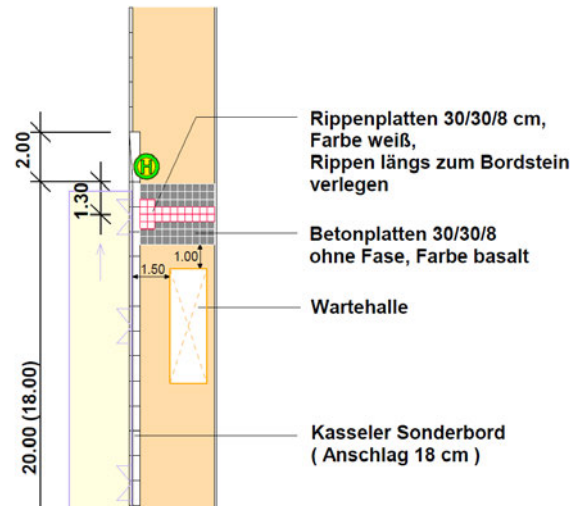


Bild 30



Bild 31



Bild 32

Kontrast durch Farben basalt / weiß
Rippen PARALLEL zur Busbordkante

idealerweise:

überdacht = „talen“
im Freien = „bergeben“ (sonst Schäden durch maschinelle Schneerräumung)

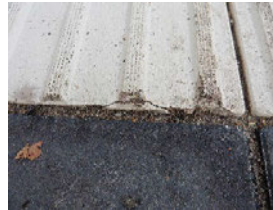


Bild 35

2.2.3 Ausführungsdetails bei barrierefreien Bushaltestellen



Bild 33

2.2.4 kein Standard, aber manchmal nötig:



Bild 36

Basteln, um überhaupt etwas zu erreichen
Bodenindikatoren kann man auch kleben,
allerdings gibt es die nicht immer in normgerechten Maßen

OHNE Fase absolut planeben

Hinweis: Betonplatten ohne Fase sind keine Lagerware
Lieferzeiten beachten, evtl. Mindestmengen
i.d.R. Angebot mit „Mikrofase“ → nein
explizit „OHNE Fase“ ausschreiben



Bild 34



Bild 37



Bild 38

Anwendungsfall: Leitsysteme auf Brückenkonstruktionen
= kein Pflastereinbau möglich → Notlösung!

3. Beispiele

3.1 Bereich des ÖPNV

ZOB Pforzheim
vollständig barrierefreie Verkehrsanlage

Einstiegsfeld



Bild 39

Querung der Busfahrbahnen / Leitstreifen



Bild 40

Blindenleitstreifen in Nutzung



Bild 41

Fahrbahnrandhaltestellen im Stadtgebiet
hier in Kombination mit Busspur



Bild 42



Bild 43

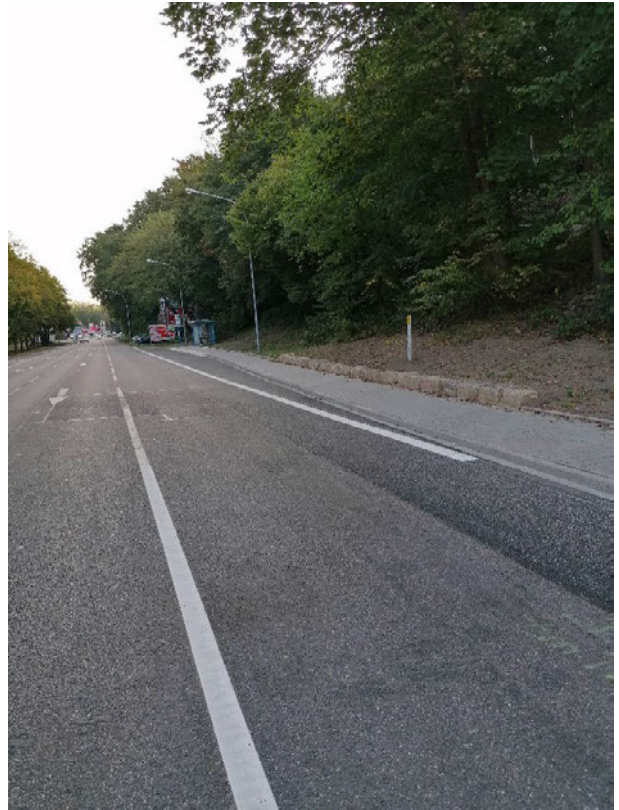


Bild 45

Busbuchten haben eine große Entwicklungslänge ...
Faktor Buslänge : Haltestellenlänge = 1 : 4,8
(bei Fahrbahnrandhaltestelle / Buskap = 1 : 1,4)



Bild 44

Ausnahmefall Busbucht
möglichst vermeiden



Bild 46

... oder sind schlecht anfahrbar und erfordern
Einfädeln in den fließenden Verkehr.
(Stichwort Busbeschleunigung)

Busbuchten sind in dicht bebauten Innerortslagen
nahezu nirgends normgerecht zu realisieren. Anwendung
nur dann, wenn Haltestelle unmittelbar hinter einer sig-
nalsierten Kreuzung / Einmündung angeordnet werden
muss (Vermeidung von Rückstau in den Knoten).

Beispiel für
„Fahrer hat’s drauf“ = Idealzustand



Bild 47

kleiner Spalt – geringe Stufe (Kneeling)

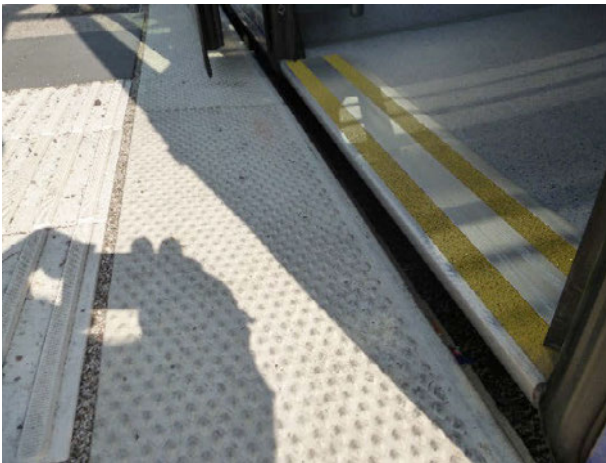


Bild 48

perfekt angedockt (Anfahren bis Bordberührung, dann
Lenkrad loslassen und in Idealposition ziehen lassen)



Bild 49

Übung macht den Meister – attraktiver ÖPNV



Bild 50

3.2 Bereich Straßenquerungen

an signalisierten Fußgängerüberwegen
„gesicherte Querung“

mit differenzierter Bordhöhe

+ 0 cm

für Rollstuhl, Rollator etc.

+ 6 cm

für Blinde



Bild 51



Bild 54



Bild 52

Bild 53

an Querungshilfen
„ungesicherte Querung“



Bild 55



Bild 56

3.3 2-Sinne-Prinzip

Blindenakustik an Fußgängerüberwegen

Tock, tock, ...



Bild 57

Vorlesetaster an Dynamischen Fahrgastinfoanlagen
TTS „text-to-speech“

Sehen oder/und Hören



Bild 58



Bild 59

3.4 auch das ist Barrierefreiheit

Barrierefreie Baustellen



Bild 60



Bild 61

„kleiner Keil, große Hilfe!“



Bild 62

... und dann noch die Baustelle aufräumen.

4. Such den Fehler!

Beispiele was alles schief gehen kann ... !



Bild 63

„Wer einen Meterstab hat sollte ihn benutzen!“

4,5 cm sind eben nicht 6,0 cm
→ rausreißen – nochmal machen



Bild 64

da fehlt die Fortsetzung bis zur Gehweghinterkante

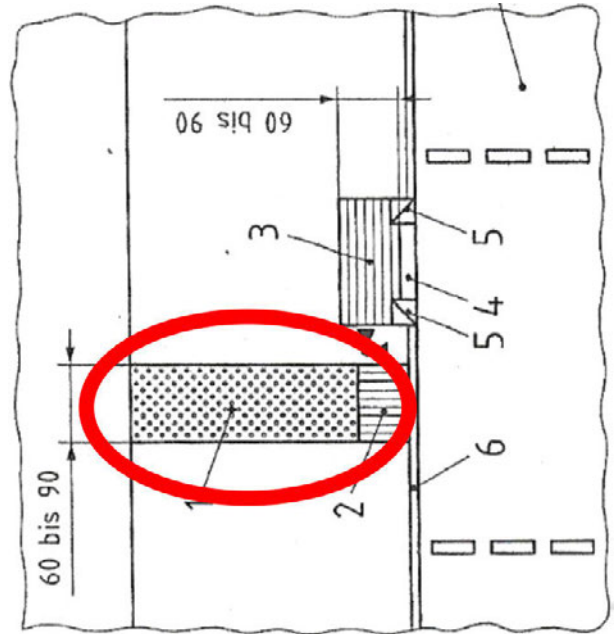


Bild 65

Stolperkante wegen fehlendem Schnitt



Bild 66

keine 6 cm ...

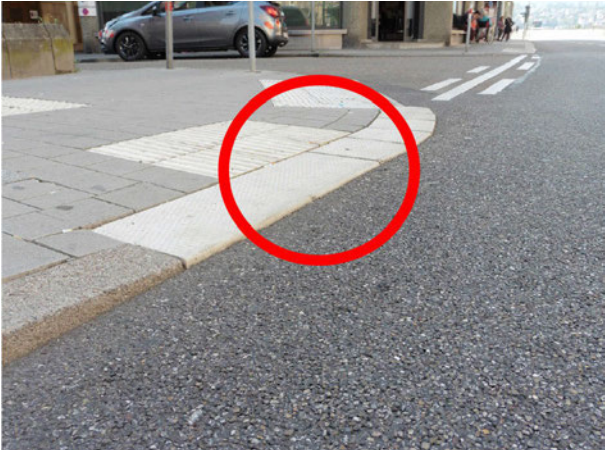


Bild 67

... da passt Garnichts!

Flucht der Rippenplatten stimmt nicht ...

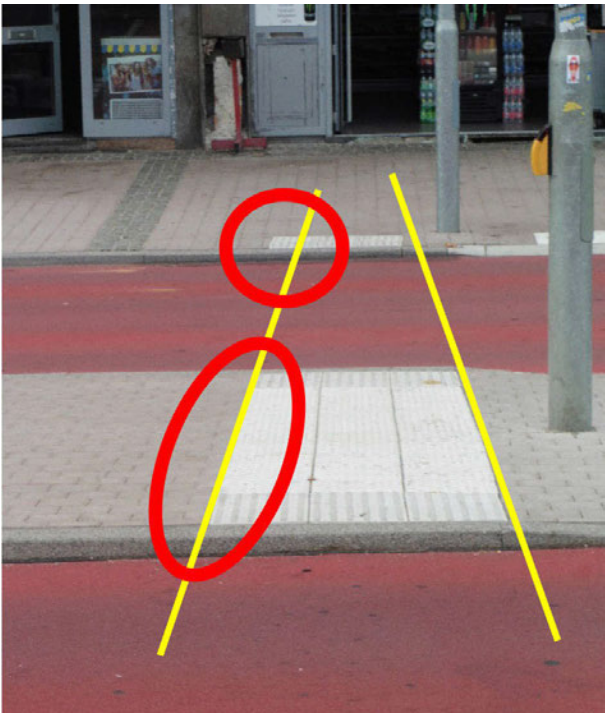


Bild 68

... Schnur spannen hilft!



Bild 69

Schnur spannen kann jeder!

was soll der Pflasterstreifen hier?



Bild 70

Bushaltestellen immer als Gerade

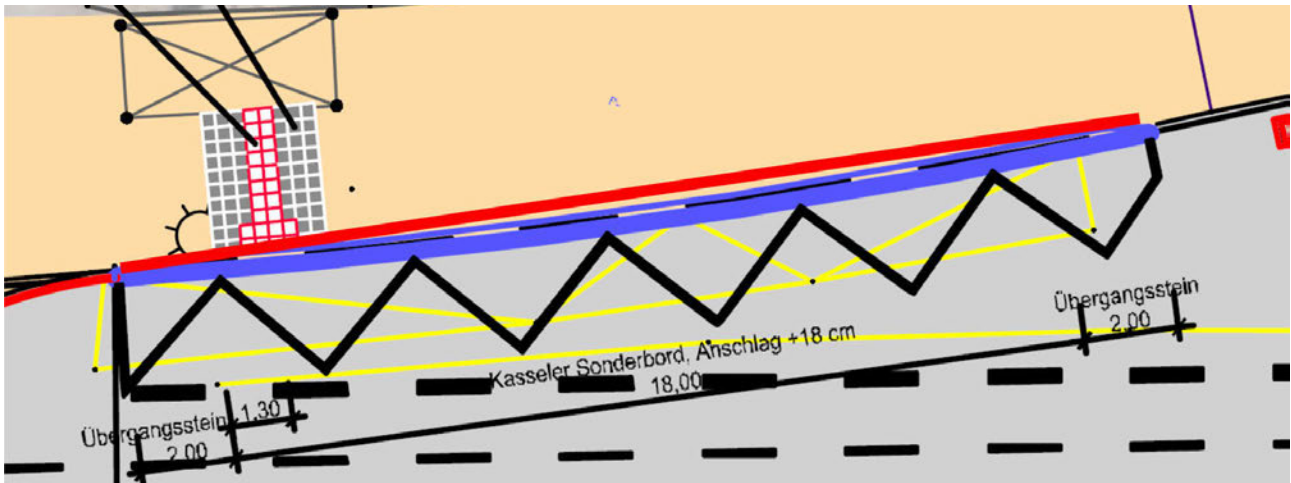


Bild 71 Anschluss des Leitstreifens an die Treppe fehlt

Beispiel, wie es sein sollte.

Besser noch wären Kegelstümpfe in Diagonalanordnung,

hier leider noch eine veraltete Version mit Kugelsegmenten

in Orthogonalanordnung.

Busbuchten zu Fahrbahnrandhaltestellen zurückbauen oder richtlinienkonform deutlich verlängern

→ gestreckt anfahrbar

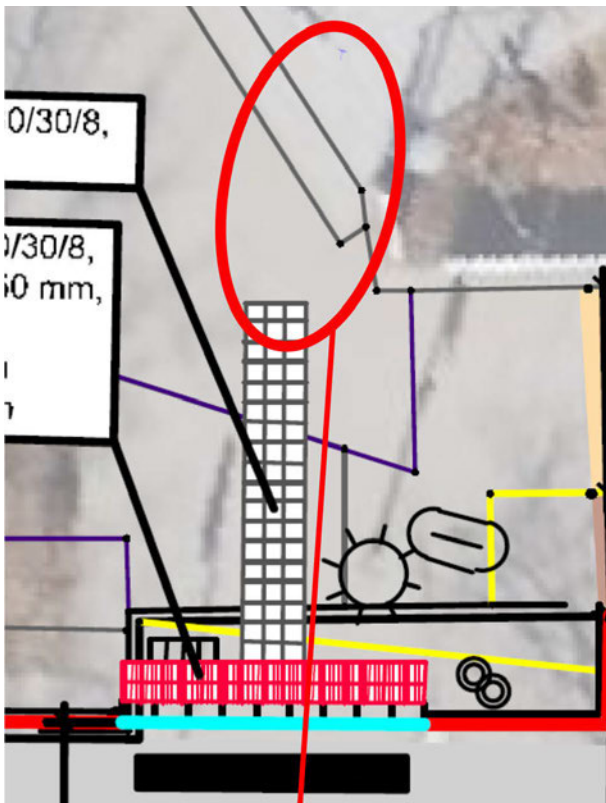


Bild 72 und 73

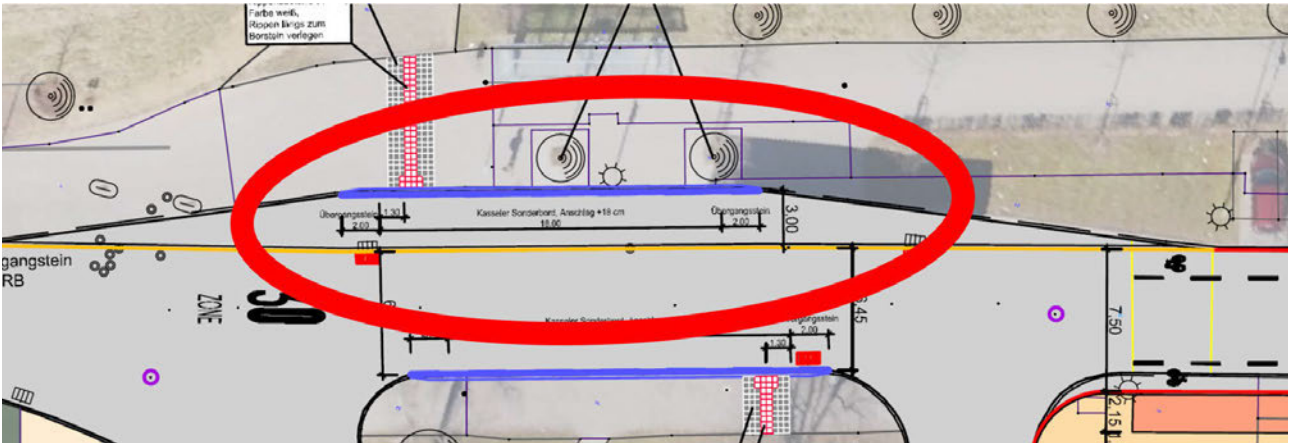


Bild 74

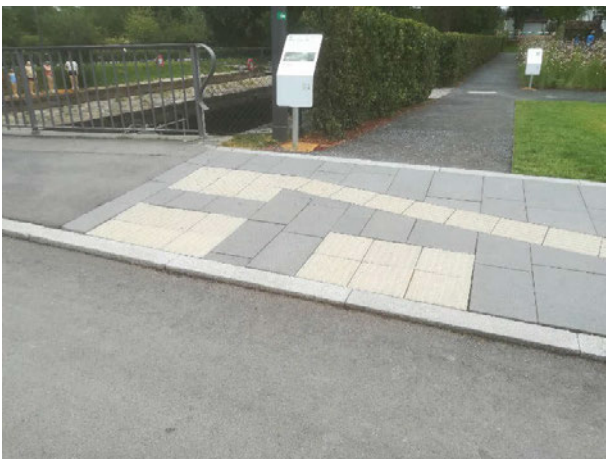


Bild 75



Bild 77

**Planung, Ausführung, Fehlervermeidung
Hinweise aus der Praxis**

Fragen – fast - jederzeit unter 7231 - 392743

ohne Worte !?

BUGA 2019 in Heilbronn



Bild 76

Alles gut – oder ... !

Temporäre Rückhaltung und Notableitung von Starkniederschlägen auf städtischen Straßen – Rahmenbedingungen hinsichtlich der Verkehrssicherheit

Jonas Fesser

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft

Prof. Dr. Jochen Eckart

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft

Zusammenfassung

Eine Folge des Klimawandels ist die Zunahme von Starkregenereignissen. Diese sind mit der Gefahr von Überflutungen und damit einhergehenden Schäden bei sensiblen Nutzungen sowie sensibler Infrastruktur verbunden. Die Dimensionierung der kommunalen Entwässerungssysteme für den Fall seltener Starkregenereignisse ist ökonomisch und ökologisch nicht praktikabel. Die gezielte Mitbenutzung von Verkehrsflächen für eine kontrollierte temporäre Notableitung und Rückhaltung von Starkniederschlägen kann zur Reduzierung der Schäden beitragen. Eine Mitbenutzung eignet sich besonders für städtische Räume, in welchen freie Flächen zur Retention von Niederschlagswasser knapp sind und die versiegelten Verkehrsflächen einen großen Anteil an der Gesamtfläche einnehmen. Die Ergebnisse aus Literaturanalyse, Unfallanalyse, videobasierter Verkehrskonfliktanalyse und der Analyse der rechtlichen Rahmenbedingungen deuten darauf hin, dass die temporäre Rückhaltung und Notableitung von Starkniederschlägen auf Straßen bei entsprechenden Rahmenbedingungen keine negativen Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit erwarten lassen.

1. Einleitung

Im Zuge des Klimawandels ist in Mitteleuropa, bedingt durch Konvektion, mit vermehrt auftretenden Starkregenereignissen zu rechnen ist (Deutschländer & Mächel 2017, IPCC 2013). Für Kommunen stellt dies ein Problem dar. Ihre Entwässerungssysteme sind nicht für seltene Starkregenereignisse bemessen, wodurch im Falle deren Auftretens die Gefahr von Überflutungen mit den daraus resultierenden Schäden besteht. Vor allem in dicht besiedelten städtischen Gebieten ist das Schadenspotenzial im Falle eines Starkregenereignisses enorm, da durch deren hohen Versiegelungsgrad große Mengen an Wasser zum Abfluss gebracht werden und sensible Nutzungen und Infrastrukturen oftmals nicht ausreichend vor Überflutungen geschützt sind. Die Erweiterung der Kapazität der konventionellen Entwässerungsinfrastruktur stellt für viele Kommunen aus ökologischer und ökonomischer Perspektive keine realistische Lösung dar. Ein Lösungsansatz bildet die dezentrale Regenwasserbewirtschaftung, bei der das Niederschlagswasser lokal zurückgehalten, verdunstet, versickert und nur verzögert abgeleitet wird. Diese dezentrale Regenwasserbewirtschaftung entlastet die Kanalisation und kann vor Ort z.B. der Bewässerung von

Grünflächen oder dem lokalen Mikroklima durch Verdunstung dienen.

Von Benden (2014), Valée & Benden (2010), Waldhoff et al. (2012), Günthert & Faltermaier (2016), Riegel et al. (2013) und TU Kaiserslautern & Pecher (2011) wird zudem eine geplante Mitbenutzung von Verkehrsflächen für eine kontrollierte temporäre Notableitung und Rückhaltung von Starkniederschlägen vorgeschlagen. Die temporäre Mitbenutzung von Verkehrsflächen kann ein kostengünstiges und bisher ungenutztes Konzept zur Adaptation an Starkniederschläge und damit die Folgen des Klimawandels darstellen. Sie bildet dabei einen Baustein neben anderen für die dezentrale Kleinerückhaltung von Starkniederschlägen in urbanen Gebieten. Eine Definition dieses Konzeptes für die Mitbenutzung von (Verkehrs-)Flächen für die Bewirtschaftung von Starkregenereignissen bietet das (KompetenzNetzwerk Hamburg Wasser 2010):

„Mitbenutzte Flächen, wie beispielsweise Verkehrsflächen, [...] unterliegen einer Hauptnutzung und werden im Starkregenfall zur temporären Zwischenspeicherung und/oder zum Transport von Abflussspitzen für den Überflutungsschutz [...] genutzt. Bei den hier genannten extremen Regen handelt es sich um Ereignisse, die

[...] für Straßen in der Regel seltener als alle 10 Jahre auftreten. Die Mitbenutzung von Flächen ist daher nicht der Normalfall, sondern die Ausnahme. Zudem ist die Entleerungszeit auf etwa 12 bis maximal 24 Stunden angesetzt, so dass innerhalb kürzester Zeit die Hauptnutzung wieder erfolgen kann.“

Erste praktische Konzepte für die schadensarme und kontrollierte oberirdische Notableitung sowie Rückhaltung von Starkniederschlägen auf Straßen werden bereits im Hochschulstadtteil Lübeck oder dem Klima-Boulevard in Bremen-Findorf angewandt (BBSR 2015). Im Ergebnis kann die Rückhaltung und Notableitung von Starkniederschlägen auf Verkehrsflächen helfen, Schäden durch unkontrollierte Überflutungen zu reduzieren und Kosten für die Erweiterung des bisherigen Entwässerungssystems zu vermeiden. Die erforderlichen siedlungswasserwirtschaftlichen Rahmenbedingungen für eine solche Mitbenutzung von Verkehrsflächen wurden von Benden (2014), Valée & Benden (2010), Waldhoff et al. (2012), Günthert & Faltermaier (2016) und Riegel et al. (2013) in den letzten Jahren entwickelt. So eigenen sich Straßenräume mit großzügigen Platzverhältnissen sowie angrenzende Freiflächen oder Vorfluter zur Ableitung des Wassers. Um den Straßenraum als Fließweg sowie zur Rückhaltung zu nutzen reichen meist einfache bautechnische Anpassungen wie großzügig dimensionierte Rinnensysteme, Hochborde oder Schwellen aus. Mit deren Hilfe wird das oberflächige Niederschlagswasser gelenkt und von schutzwürdigen Nutzungen ferngehalten. Das planmäßige Ableiten und Rückhalten von Starkniederschlägen im Straßenraum ist jedoch auf Bedenken im Hinblick auf die Verkehrssicherheit und Verkehrssicherungspflicht zu überprüfen.

2. Analyse der Auswirkungen von Starkregenereignissen auf die Verkehrssicherheit

Um die Auswirkungen von Starkregenereignissen auf den städtischen Straßenverkehr und damit die Verkehrssicherheit zu untersuchen werden drei Analyseschritte genutzt. Zunächst wird die Literatur zu den Auswirkungen von (Stark-)Regenereignissen auf die Verkehrssicherheit ausgewertet. Anschließend wird das Unfallgeschehen der Stadt Karlsruhe hinsichtlich des Einflusses von Starkregenereignissen untersucht. Abschließend werden mittels einer videobasierten Verkehrskonfliktanalyse von Starkregenereignissen ausgehende Gefahren für den städtischen Straßenverkehr sowie das Verhalten der Verkehrsteilnehmer im Falle einer Überflutung des Straßenraumes analysiert.

2.1 Literaturanalyse zur Auswirkung von (Stark-)Regenereignissen auf die Verkehrssicherheit

Die Fachliteratur ist sich weitgehend einig, dass Regen und nasse Fahrbahn die Unfallrate sowie die Anzahl der

Unfälle erhöht. Der Anstieg der Unfallrate wird auf die Kombination geringer Reibungsbeiwerte durch die nassen Straßenverhältnisse und die beeinträchtigte Sicht durch Regen, Spritzwasser oder Nebel zurückgeführt (Theofilatos & Yannis 2014; Smith 1982; Scott 1986; Andrey & Yagar 1993; Fridström et al. 1995; Caliendo et al. 2007; Levine et al. 1995; Edwards 1996; Chang & Chen 2005; Koetse & Rietveld 2009; Brodsky & Hakkert 1988; Chung et al. 2005; Eisenberg 2004; Jones et al. 1991; Satterthwaite 1976; Shankar et al. 1995; Bergel-Hayata et al. 2013; Fridstrom & Ingebrigtsen 1991; Key & Simmonds 2006; Hermans et al. 2006). Es existieren jedoch auch vereinzelt Studien, die zu einem anderen Ergebnis kommen. So stellen Haghghi-Talab (1973) keinen Unterschied bei der Unfallrate während moderaten und schweren Regenfällen fest. George & Theofilatos (2014) sowie Karlaftis & Yannis (2010) kommen bei einer Langzeituntersuchung in Athen sogar zu dem Ergebnis, dass sich mit zunehmender Regenintensität die Anzahl an Unfällen reduziert.

Für die Unfallschwere bei Regen und nasser Fahrbahn sind die Aussagen der Fachliteratur nicht eindeutig. Theofilatos & Yannis (2014), Caliendo et al. (2007) und El-Basyouny & Kwon (2012) weisen nach, dass bei Niederschlägen und nasser Fahrbahn die Anzahl der schweren Unfälle stärker zunimmt als die Anzahl leichter Unfälle. Andere Studien wie die von Koetse & Rietveld (2009), Khattak et al. (1998) und Edwards (1998) gehen hingegen von einer Abnahme der Schwere der Unfälle bei Niederschlägen und nasser Fahrbahn aus.

In der Fachliteratur besteht Einigkeit darüber, dass es bei Starkregenereignissen im Vergleich zu normalen Regenereignissen zu einer größeren Reduktion der durchschnittlichen Geschwindigkeit kommt. So lässt sich bei leichten Niederschlägen eine Reduktion der durchschnittlichen Geschwindigkeit zwischen 8km/h und 19,5 km/h feststellen, während bei stärkeren Niederschlägen die Reduktion zwischen 8 km/h und 31 km/h beträgt (Unrau & Andrey 2006; Brilon & Ponzlet 1996; Akin et al. 2011; Kyte et al. 2000). Edwards (1999), Chung et al. (2006) und Lam et al. (2013) gehen jedoch davon aus, dass die Fahrer die verlängerte Bremsweite bei Nässe unterschätzen und ihre Geschwindigkeit nicht ausreichend reduzieren. Die meisten Untersuchungen zur mangelnden Kompensation beziehen sich allerdings auf Außerortsstraßen mit einem hohen Geschwindigkeitsniveau. Aus diesem Grund ist unklar, ob die Erfahrungen auf innerstädtische Straßen übertragen werden können. Dies gilt insbesondere deshalb, da auf Außerortsstraßen aufgrund des hohen Geschwindigkeitsniveaus die Gefahr von Aquaplaning, also dem Kontrollverlust über das Fahrzeug durch dessen Aufschwimmen, besteht. Da Aquaplaning erst bei Geschwindigkeiten über 60 km/h auftreten kann (Galloway et al. 1979) spielt dies für städtische Straßen keine bzw. maximal eine untergeordnete Rolle.

Die bisher genannten Auswirkungen von Niederschlagsereignissen auf die Verkehrssicherheit beziehen sich auf

Wasserfilmdicken auf der Fahrbahn von maximal 1 cm. Für die im Rahmen von temporärer Notableitung und Rückhaltung von Starkniederschlägen auf Straßen diskutierten Wassertiefen von 5 bis 20 cm liegen in der Fachliteratur hingegen keine Aussagen zum Gefährdungspotential vor.

Untersuchungen zu den Todesursachen bei Hochwasserereignissen zeigen, dass in Europa bei Hochwasserereignissen 27 % aller ertrunkenen Personen auf Ertrinkungsopfer in Fahrzeugen entfallen. In den USA liegt deren Anteil bei 63 % (Jonkman & Kelman 2005; Kellar & Schmidlin 2012; Yale et al. 2003). Bereits bei Wassertiefen ab 40 cm und einer Strömung von 1,5 m/s können Fahrzeuge weggeschwemmt werden (Shu et al. 2011). In diesem Fall besteht die Gefahr, dass die Fahrzeuge in tieferes Wasser geschwemmt werden und sich die Fahrzeugführenden nicht mehr befreien können. Bei zu Fuß Gehenden, insbesondere wenn es sich dabei um Kinder oder ältere Personen handelt, besteht bereits ab einem Wasserstand von 20 cm und einer Strömungsgeschwindigkeit von 1,5 m/s eine erhöhte Sturzgefahr (Shu et al. 2011).

2.2 Unfallanalyse für Starkregenereignissen in der Stadt Karlsruhe

Für die Stadt Karlsruhe werden die durch Starkregenereignisse verursachten Unfälle auf städtischen Straßen für den Zeitraum Januar 2012 bis September 2016 identifiziert und ausgewertet (Dormann et al. 2017). Insgesamt wurden in dem betrachteten Zeitraum 21.210 Unfälle erfasst. Von diesen Unfällen ereigneten sich 3.395 Unfälle auf nassen Fahrbahnen. Um herauszufinden ob diese Unfälle auf nassen Fahrbahnen durch Starkregenereignisse verursacht wurden, werden die Daten von drei Karlsruher Wetterstationen herangezogen. Im Untersuchungszeitraum wurden an den Wetterstationen 13 Starkregenereignisse an 11 Tagen erfasst. An den Tagen mit Starkregenereignissen fanden 118 Unfälle statt, was einen Durchschnitt von 10,7 Unfälle pro Tag ergibt. Dieser Durchschnitt entspricht dem 5-Jahresdurchschnitt von 11,5 Unfällen pro Tag in Karlsruhe. Zur Klärung der Frage, ob die Unfälle in Zusammenhang mit einem der Starkregenereignisse stehen wird geschaut, welche Unfälle in einem Zeitraum zwischen 15 Minuten vor und 15 Minuten nach einem Starkregenereignis aufgetreten sind. Darüber hinaus wird analysiert ob die Unfälle auch tatsächlich dort stattgefunden haben, wo das Starkregenereignis von den Wetterstationen aufgezeichnet wurde. Am Ende des Ausschlussverfahrens bleibt ein Unfall übrig, welcher zeitgleich mit einem lokalen Starkregenereignis stattgefunden hat. Eine Durchsicht dieses Unfallberichtes ergibt, dass es sich um einen Unfall handelt, bei dem ein ausparkendes Fahrzeug ein anderes parkendes Fahrzeug leicht beschädigt hat. Die Beschreibung des Unfallgeschehens legt nahe, dass der Unfallvorgang nicht in Zusammenhang mit dem Starkregenereignis steht. Für

konvektive Starkregenereignisse lassen sich für den betrachteten Zeitraum in Karlsruhe damit keine negativen Auswirkungen auf das Unfallgeschehen belegen.

2.3 Videobasierte Verkehrskonfliktanalyse von überfluteten städtischen Straßen

Starkregenereignisse treten selten auf und lassen sich zeitlich und räumlich nur schwer vorhersagen. Aus diesem Grund ist eine systematische Analyse des Verkehrsablaufs auf durch Starkregenereignisse überfluteten Straßen nur schwer möglich. Jedoch sind im Internet zahlreiche Videos von Medien oder Passanten verfügbar, welche das Verkehrsgeschehen auf überfluteten städtischen Straßen während und nach Starkregenereignissen zeigen. In drei verschiedenen Studien (Mettmann et al. 2016; Hölsch 2018; Fesser 2019) wurde nach solchen Videos im Internet gesucht und diese im Hinblick auf die Auswirkungen von Überflutung des städtischen Straßenraums auf die Verkehrssicherheit ausgewertet. Hierzu wird der Ansatz der Verkehrskonfliktanalyse genutzt. Die Videos werden nach Konflikten untersucht, in denen sich Verkehrsteilnehmende räumlich und zeitlich so annähern, dass Kollisionen nur durch eine entsprechende Reaktion der verwickelten Verkehrsteilnehmenden bzw. durch kritische Fahrmanöver derer vermieden werden können (Schnabel & Lohse 2011). Da bei temporär überfluteten Straßen nur kurze Beobachtungszeiträume zur Verfügung stehen, bieten sich die vergleichsweise häufig auftretenden Konflikte als Indikator zur Beurteilung der Verkehrssicherheit mehr an, als die alleinige Betrachtung von Unfällen, welche sehr selten auftreten. Ein gehäuftes Auftreten von Konflikten deutet auf mangelnde Verkehrssicherheit hin, auch wenn in dem betrachteten Zeitraum selbst keine Unfälle verzeichnet wurden. Somit können im Gegensatz zur klassischen Unfallanalyse mit der Verkehrskonfliktanalyse auch für die selten auftretenden Überflutungsereignisse im Straßenraum Aussagen zur Verkehrssicherheit getätigt werden.

Das Verhalten der Verkehrsteilnehmenden, die auftretenden Konflikte sowie die Randbedingungen werden anhand eines strukturierten Kriterienkatalogs ausgewertet. Um die auftretenden Konflikte hinsichtlich eines Zusammenhangs mit der Überflutungssituation zu analysieren wird zwischen Standardkonflikten, welche unabhängig von der Überflutungssituation auftreten, und Konflikten aufgrund von Wasser auf der Fahrbahn unterschieden. Die Basis für die Kategorisierung der Konflikte bilden die Konflikttypen des FGSV Merkblattes zur örtlichen Unfalluntersuchung in Unfallkommissionen (M Uko) (FGSV 2012). Von diesen werden als Standardkonflikttypen kategorisiert: Konflikte durch Einbiegen/Kreuzen (z.B. bevorrechtigtes Fahrzeug von links), Konflikte durch ruhenden Verkehr (z.B. Ausweichen in den Gegenverkehr), Konflikte im Längsverkehr (z.B. Auffahren, Spurwechsel nach rechts, Begegnende) und sonstige Konflikte (z.B. Rückwärtsfahren, Wenden). Neben den

diesen Standardkonflikttypen aus dem M Uko werden weitere für Überflutungen typische Konflikttypen definiert, wie z.B. das Liegenbleiben (Fahrzeuge durch Wasserschlag liegengeblieben), Wenden (wegen Wasser auf der Fahrbahn) oder Ausweichen (vor überfluteten Stellen). Die Schwere der Konflikte wird in Anlehnung an den Standard der Verkehrskonflikttechnik erfasst, welcher auf der Konflikttheorie nach Hyden (1977) basiert. Als Interaktion werden demnach Konflikte eingeordnet, bei denen Verkehrsteilnehmende untereinander agieren und sich abstimmen, besondere Fahrmanöver aber noch nicht notwendig sind. Bei leichten Konflikten handelt es sich um Konflikte, bei denen die zeitlichen und räumlichen Abstände zwischen den beteiligten Verkehrsteilnehmenden noch groß genug für eine kontrollierte Reaktion sind, die jedoch bereits über ein normales Fahrmanöver hinausgeht. Bei schweren Konflikten werden Unfälle hingegen nur noch dadurch vermieden, dass die beteiligten Verkehrsteilnehmenden starke, nur noch bedingt kontrollierbare Fahrmanöver durchführen. Im Falle eines Unfalls liegt letztlich eine Kollision von Verkehrsteilnehmenden untereinander oder ein Alleinunfall vor.

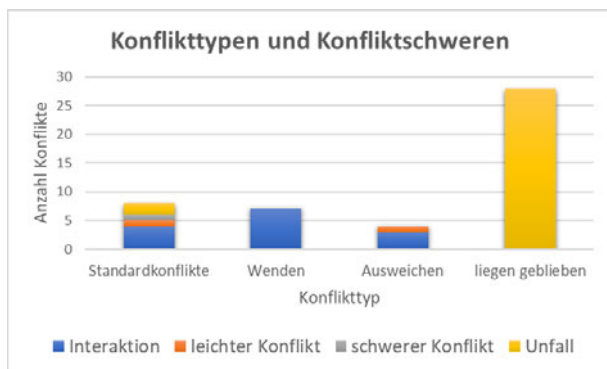


Abbildung 1: Konflikttypen und Konfliktschweren bei Überflutungen (eigene Darstellung)

Von den 48 in den Videos identifizierten Konflikten sind 39 spezifische für Überflutungssituationen (Abbildung 1). Am häufigsten sind Alleinunfälle durch liegengebliebene Fahrzeuge infolge eines Wasserschlages. Dies steht im Widerspruch zu der von Hyden (1977) aufgestellten Konflikttheorie, wonach Unfälle die am seltensten auftretende Konfliktschwere darstellen. Die hohe Anzahl an Fahrzeugen, welche in einen überfluteten Bereich einfahren und mit einem Wasserschlag liegen bleiben zeigt, dass die Verkehrsteilnehmenden teilweise nicht einschätzen können, wann das Durchfahren eines überfluteten Fahrbahnbereiches gefahrlos möglich ist. Lediglich zwei Unfälle sind nicht auf einen Wasserschlag an einem Kfz zurückzuführen. Dabei handelt es sich um Unfälle mit

geringem Sachschaden. So fährt z.B. ein wendendes Fahrzeug rückwärts gegen eine Laterne.



Abbildung 2: Zusammenhang zwischen Konflikttyp und der Wassertiefe (eigene Darstellung)

Die beobachteten Unfälle und Konflikte durch Wasser auf der Fahrbahn treten vor allem bei Wasserständen über 20 cm auf (Abbildung 2). Die Wassertiefe von Personenkraftwagen liegt im Regelfall zwischen 30 und 50 cm (Kramer et al. 2016) wodurch mit zunehmender Wassertiefe vermehrt Alleinunfälle aufgrund von Wasserschlägen zu verzeichnen sind.

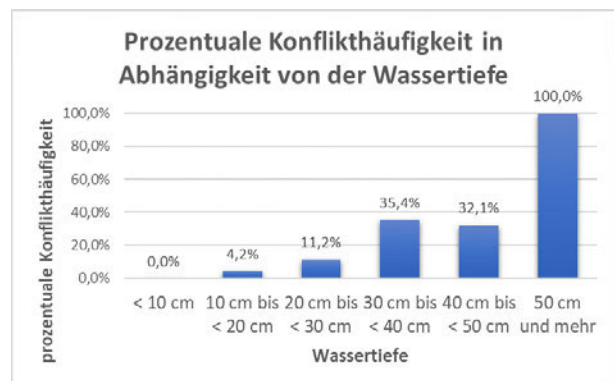


Abbildung 3: Prozentuale Konflikthäufigkeit in Abhängigkeit von der Wassertiefe (Fesser 2019)

Auch die prozentuale Konflikthäufigkeit steigt mit zunehmender Wassertiefe der Überflutung und reicht von 4 % bei Wassertiefen zwischen 10 cm und 20 cm über 35 % bei Wassertiefen zwischen 30 cm und 40 cm bis zu 100 % für Wassertiefen über 50 cm (Abbildung 3). Erklären lässt sich das durch die zunehmende Anzahl von Alleinunfällen mit steigender Wassertiefe. Wellenbildung erhöht dabei die Gefahr für einen Wasserschlag auch unterhalb der Wassertiefe eines Kfz.

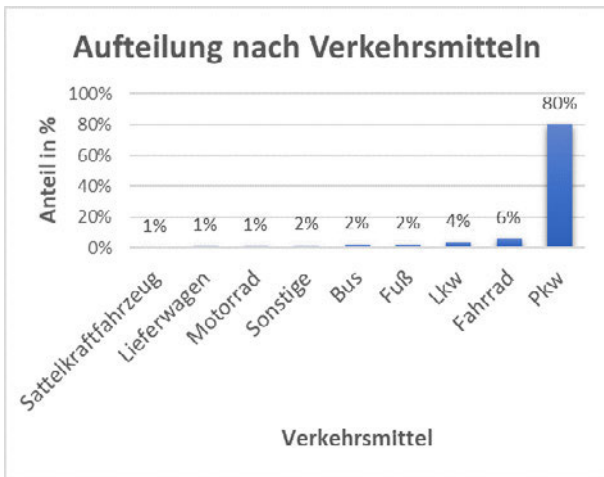


Abbildung 4: Aufteilung nach Verkehrsmitteln (eigene Darstellung)

80 % der betrachteten Konflikte und Unfälle entfallen auf Pkw, 6 % auf Fahrräder und 4 % auf Lkw (Abbildung 4). Während sämtliche Konflikte mit den Konfliktschweren leichter Konflikt, schwerer Konflikt und Unfall auf Pkw und Lkw entfallen, sind besonders vulnerable Verkehrsteilnehmende wie Radfahrende in den betrachteten Videos lediglich in Interaktionen verwickelt.

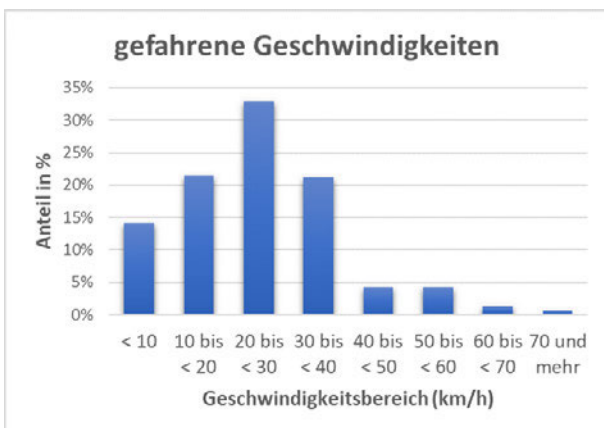


Abbildung 5: gefährtere Geschwindigkeiten bei Überflutungssituationen (eigene Darstellung)

90 % der Verkehrsteilnehmenden sind in den analysierten Videos mit einer Geschwindigkeit von maximal 40 km/h unterwegs (Abbildung 5). Nach (Gallaway et al. 1979, Reed et al. 1984) tritt Aquaplaning selbst bei hohen Wasserfilmdicken erst ab einer Geschwindigkeit von über 60 km/h auf, so dass Aquaplaning bei den betrachteten innerstädtischen Situationen nicht beobachtet wurde. Das niedrige Geschwindigkeitsniveau hat zur Folge, dass abgesehen von den Alleinunfällen liegenbleibender Fahrzeuge, überwiegend nur leichte Interaktionen beobachtet wurden. 93 % der Verkehrsteilnehmenden sind mit einer angepassten Geschwindigkeit unterwegs. Die Geschwindigkeit wird als angepasst bewertet, wenn durch diese keine Gefährdung des Verkehrsteilnehmenden selbst (z.

B. durch einen Kontrollverlust über das Fahrzeug) oder für andere Verkehrsteilnehmende (z. B. Beeinträchtigung der Sicht entgegenkommender Verkehrsteilnehmender durch Spritzwasser) besteht.

Bei den analysierten Situationen lässt sich beobachten, dass unsichere und besonders vorsichtige Verkehrsteilnehmende oftmals durch nachfolgende Fahrzeuge zum Weiterfahren gedrängt werden. Zudem sind Verkehrsteilnehmende zu beobachten, die ihr Kraftfahrzeug auf die Gegenfahrbahn oder über baulich von der Fahrbahn getrennte Geh- und Radwege lenken, um so überflutete Fahrbahnbereiche zu umfahren. Bei einem solchen Ausweichen bzw. beim Umfahren einer Überflutungsstelle ist ein Schwarmverhalten festzustellen. Führt ein Verkehrsteilnehmender ein solches Ausweichmanöver durch, folgen häufig weitere Verkehrsteilnehmende dem Beispiel. Ausweichmanöver sind insbesondere bei Wasserständen über 20 cm Wasserhöhe zu beobachten. Bei Wasserständen unter 20 cm fahren die Verkehrsteilnehmenden hingegen meist direkt durch den überfluteten Fahrbahnbereich.

3. Rechtliche Rahmenbedingungen für eine temporäre Rückhaltung und Notableitung von Starkregenereignissen auf Straßen

Eine wesentliche rechtliche Anforderung für eine temporäre Rückhaltung und Notableitung von Starkregenereignissen auf Straßen bildet die Verkehrssicherungspflicht (Benden 2014). Diese besagt, dass Verkehrsteilnehmende vor den Gefahren zu schützen sind, welche ihnen bei zweckentsprechender Benutzung öffentlicher Verkehrsflächen aus deren Zustand entstehen (König et al. 2011). Die Verkehrssicherungspflicht trifft dabei denjenigen, der die Gefahr geschaffen hat oder für sie verantwortlich ist (Rotermund & Krafft 2008). Bei öffentlichen Verkehrsflächen liegt die Verkehrssicherungspflicht somit in der Regel beim Baulastträger (Staab 2003). Die Verletzung der Verkehrssicherungspflicht hat Schadensersatzansprüche gegenüber dem Straßenbaulastträger zur Folge. Der genaue Umfang der Verkehrssicherungspflicht ist nicht gesetzlich geregelt, sondern ergibt sich vielmehr aus einer umfangreichen Rechtsprechung wie dem BGH 1970, BGH 1994, OLG Bamberg 1970, OLG Bamberg 1990, OLG Düsseldorf 1995, OLG Hamm 1999, OLG Mannheim 1966 (Staab 2003).

Im Grundsatz richtet sich die Verkehrssicherungspflicht nach dem Verkehrsbedürfnis und ist daher für Hauptverkehrsstraßen höher als für gering befahrene Wohnwege (Heß 2008). Aus Sicht der Verkehrssicherheit sind Sicherungsmaßnahmen erforderlich, die ein verständiger und umsichtiger, in vernünftigen Grenzen vorsichtiger Mensch für ausreichend halten darf, um andere Personen vor Schäden zu bewahren (BGH 1994). Die Verkehrsteilnehmer haben sich auf die gegebenen erkennbaren Straßenverhältnisse einzustellen (Rotermund & Krafft 2008). Einen Anspruch auf völlig gefahrlose und gute Verkehrs-

wege gibt es nicht (Staab 2003). Bei planerische bewusst geschaffenen möglichen Gefahrenlagen, wie dies bei der Mitbenutzung von Verkehrsflächen für die Rückhaltung und Notableitung von Starkniederschlägen der Fall ist, werden jedoch besonders strenge Anforderungen an die Verkehrssicherungspflicht gelegt (König 2011). Dabei sind die Anforderungen der Verkehrssicherungspflicht für die Rückhaltung und Notableitung von Starkniederschlägen auf Verkehrsflächen mit denen für verkehrsberuhigende Einbauten im Straßenraum vergleichbar. So sind nach der Rechtsprechung des BGH 1991 geschwindigkeitsdämpfende Maßnahmen und auch Hindernisse mit der Verkehrssicherungspflicht vereinbar, so lange diese nicht selbst zur Quelle einer Verkehrsgefährdung werden indem sie trotz verkehrsgerechten Verhaltens des Fahrenden dessen Fahrzeug beschädigen (Götter NZV 1995; Berz & Burmann 2017). Ein besonderes Augenmerk wurde dabei auf tiefergelegte Fahrzeuge gelegt. So verlangen das OLG München sowie das OLG Hamm, dass von Maßnahmen wie z.B. Aufpflasterungen keine Gefahren für tiefergelegte Fahrzeuge bei Einhaltung der vorgeschriebenen Schrittgeschwindigkeit ausgeht (Götter NZV 1995). Zudem ist bei Beschädigung tiefergelegter Fahrzeuge eine Mithaftung des Fahrenden zu prüfen (OLG Köln 1992). So sollte der Fahrende eines tiefergelegten Fahrzeuges um die besondere Gefährdung des Fahrzeuges durch Bodenschwellen und ähnliche Hindernisse wissen und es kann von ihm verlangt werden, dass er diese besonders vorsichtig (auch langsamer als die zulässige Höchstgeschwindigkeit) überfährt (OLG Düsseldorf 1996). Der Fahrende muss sich vergewissern, ob das Hindernis gefahrlos überfahren werden kann und muss ggf. umkehren (OLG Celle MDR 2000). Erst wenn das Überfahren des Hindernisses auch bei Schrittgeschwindigkeit für den Fahrenden nicht erkennbar zu Schäden führt wird von einer Unabwendbarkeit ausgegangen (OLG Hamm NJW 1993).

Bei der Mitbenutzung von Verkehrsflächen für die Rückhaltung und Notableitung von Starkniederschlägen sind ausreichende Vorsorgemaßnahmen vorzusehen und die Verkehrsteilnehmenden vor den eventuellen Beeinträchtigungen zu warnen (Werner 2012). Vorsorgemaßnahmen in für die Mitbenutzung vorgesehenen Straßen können die Gewährleistung darstellen, dass bestimmte Wasserstände nicht überschritten werden, keine verdeckten Hindernisse bestehen oder die zulässige Höchstgeschwindigkeit reduziert wird. Durch diese Vorsorgemaßnahmen versucht der Straßenbaulastträger aktiv die Gefahr zu reduzieren und im Sinne des Verhältnismäßigkeitsgrundsatzes möglichst lange die, wenn auch eingeschränkte, Nutzbarkeit der Straße zu gewährleisten. Strengere Anforderungen an die Verkehrssicherungspflicht gelten dabei vor allem für Kinder. Allerdings darf in angemessenem Maß auf die Aufsichtspflichten und die soziale Kontrolle durch die Nutzenden vertraut werden (Scheid et al. 2018). Zudem ist mit Gefahrenzeichen auf die Mitbenutzung der Straße für die Rückhaltung und Notableitung von Starknieder-

schlägen hinzuweisen. So können mit dem Verkehrszeichen 101 „Achtung Gefahrenstelle“ die Verkehrsteilnehmenden gewarnt und zur Vorsicht aufgefordert werden. Vor Überflutungen, die nicht sicher passiert werden können, sollte durch das Verkehrszeichen 214 „Fahrbahn überflutet“ hingewiesen und die Straße gesperrt werden (Rotermund / Krafft 2008; OLG Hamm 1999). Zudem sollte der Straßenzustand regelmäßig überwacht werden (BGH 1970). So ist nach Überflutungen die Fahrbahn von eventuellen schmierigen Rückständen zu reinigen.

4. Anforderungen an die Gestaltung städtischer Straßen für eine gezielte temporäre Rückhaltung und Ableitung von Starkniederschlägen

Auf Grundlage der Ergebnisse aus der Literaturanalyse, der Unfallanalyse, der videobasierten Verkehrskonfliktanalyse und der Analyse der rechtlichen Rahmenbedingungen lässt sich eine erste Einschätzung zu den Auswirkungen einer gezielten temporären Rückhaltung und Ableitung von Starkniederschlägen auf städtischen Straßen treffen. Nach den bisherigen Erkenntnissen ist bei der Einhaltung nachfolgender Rahmenbedingungen von einer geringen Gefährdung der Verkehrsteilnehmenden auszugehen:

- *Wasserstandshöhe*: Die Wasserstandshöhe auf der Fahrbahn ist auf maximal 15 bis 20 cm zu begrenzen, um der Gefahr eines Wasserschlags für Kraftfahrzeuge vorzubeugen. Bei Wasserständen über 20 cm steigt für Kraftfahrzeuge die Gefahr eines Wasserschlags deutlich, weshalb der überflutete Fahrbahnabschnitt in diesem Fall für den Kfz-Verkehr gesperrt werden sollte. Es ist außerdem darauf zu achten, dass Wasserstände über 40 cm vermieden werden, da vor allem in Verbindung mit strömendem Wasser die Gefahr des Ertrinkens in weggeschwemmten Fahrzeugen besteht. Zudem wird durch Wasserstände von maximal 15 bis 20 cm die Sturzgefahr von zu Fuß Gehenden reduziert. Wenn möglich ist ein Notüberlauf von der Fahrbahn in schadensarme Freiräume vorzusehen, um den maximalen Wasserstand zu begrenzen.
- *Fließgeschwindigkeiten*: Hohe Fließgeschwindigkeiten des Regenwassers sind zu vermeiden, da durch sie die Sturzgefahr von zu Fuß Gehenden und Radfahrenden steigt und die Gefahr eines Wasserschlages für Kraftfahrzeuge durch Auftürmen des Wassers vor diesen zunimmt.
- *Geschwindigkeit*: Es sollten Straßen mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von maximal 50 km/h, besser sogar nur 30 km/h, für die gezielte temporäre Rückhaltung und Ableitung von Niederschlagswasser gewählt werden. Durch zulässige Höchstgeschwindigkeiten unter 50 km/h wird die Gefahr von Unfällen durch Aquaplaning ausgeschlossen. Zudem ist bei geringen Geschwindigkeiten die Konfliktschwere meist deutlich geringer.

- *Verkehrsstärke*: Bei hohen Verkehrsstärken werden unsichere Verkehrsteilnehmende durch nachfolgende Fahrzeuge häufig unter Druck gesetzt, was die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Konflikten erhöht. Straßen mit einer geringen Verkehrsstärke bieten sich somit eher für eine gezielte temporäre Rückhaltung an als Straßen mit einer hohen Verkehrsbelastung.
- *Information der Verkehrsteilnehmenden über die Überflutungssituation*: Die Verkehrsteilnehmenden müssen rechtzeitig auf die Überflutungssituation hingewiesen werden. Zudem sind Information über den Wasserstand und zur Frage hilfreich, ob dieser ohne Fahrzeugschaden durchfahren werden kann.
- *Sichtbarkeit/Erkennbarkeit*: Der überflutete Fahrbahnbereich muss für die Verkehrsteilnehmenden gut einsehbar sein, damit diese rechtzeitig reagieren können.
- *Hindernisse*: Der für einen gezielten temporären Einstau vorgesehene Straßenabschnitt muss frei von Hindernissen sein, welche durch das Wasser verdeckt werden können und somit eine Gefahr für die Verkehrsteilnehmenden darstellen. Der Gefahr weggeschwemmter Gullideckel ist vorzubeugen.
- *Platzverhältnisse*: Für eine gezielte Rückhaltung und Ableitung muss ein Straßenraum ausreichend Platz aufweisen, damit Verkehrsteilnehmende problemlos halten und auf die Situation reagieren können. Straßenabschnitte mit einem geringen Platzangebot, wie etwa Unterführungen, eignen sich nicht für eine gezielte Rückhaltung und Ableitung. Der für die temporäre Rückhaltung vorgesehene Straßenabschnitt sollte übersichtlich sein, um Interaktionen und leichte Konflikte durch Wenden, Rangieren oder Ausweichen von Fahrzeugen zu vermeiden.
- *Umfahrungsmöglichkeit*: Für den für eine gezielte temporäre Rückhaltung und Notableitung vorgesehenen Straßenabschnitt sollte eine Umfahrungsmöglichkeit für vorsichtige Verkehrsteilnehmende besitzen. Darüber hinaus ermöglicht dies die Sperrung des überfluteten Straßenabschnittes und die Umleitung des Verkehrs im Falle von Wasserständen auf der Fahrbahn von über 20 cm.
- *Rettungswesen*: Bei Haupttrouten für Feuerwehr und Rettungsdienst ist deren Durchfahrbarkeit für diese Dienste des Rettungswesens jederzeit sicherzustellen und im Zweifelsfall auf eine Gestaltung des Straßenraums für eine temporäre Rückhaltung und Notableitung zu verzichten.
- *Barrierefreiheit*: Auch bei für die gezielte temporäre Rückhaltung vorgesehenen Straßenräumen sind die Anforderungen der Barrierefreiheit zu berücksichtigen. Konflikte mit der Barrierefreiheit können sich bei hohen Bordsteinen für ein großes Rückhaltevolumen ergeben. Es sind aber auch Synergien vorstellbar z.B. durch Fahrbahnschwellen, die eine barrierefreie Querung ermöglichen und als Kaskade für die Rück-

haltung des Starkregens dienen können. Die Anforderungen sind im Einzelfall zu lösen.

- *Schutz des Fuß- und Radverkehrs*: Eine Gefährdung des Fuß- und Radverkehrs durch vor überfluteten Straßenabschnitten ausweichende Kraftfahrzeuge ist zu vermeiden.
- *Umfeldnutzungen*: Schutzwürdige Nutzungen wie Kindergärten, Schulen, Krankenhäuser oder Altenheime in der Nähe eines Standorts für eine gezielte temporäre Rückhaltung von Starkregen erhöhen die Gefahr, dass sich Kinder und weitere schutzwürdige Personen im Straßenraum aufhalten. Deren erhöhte Vulnerabilität bei Überflutungssituationen sollte berücksichtigt und entsprechende Vorsichtsmaßnahmen umgesetzt werden.

5. Methode zur Bewertung eines potenziellen Standorts

Um die Eignung eines aus wasserwirtschaftlicher Sicht für eine temporäre Rückhaltung und Notableitung geeigneten Straßenabschnitts aus Sicht der Verkehrssicherheit zu analysieren wird eine sechsstufige Bewertungsmethodik vorgeschlagen. Im ersten Schritt wird die Verkehrssicherheit an den potenziellen Standorten bei normalen Witterungsverhältnissen und in ihrer jetzigen Gestaltung bewertet. Dazu werden die Unfallsituation an diesem analysiert und eine Verkehrskonfliktanalyse durchgeführt. Im zweiten Schritt wird die Verkehrssicherheit an den potenziellen Standorten in ihrer jetzigen Gestaltung bei Auftreten eines Starkregenereignisses bewertet. Die Bewertung kann dabei mithilfe eines an den Empfehlungen für das Sicherheitsaudit von Straßen (ESAS) orientierten Anforderungskataloges erfolgen, welcher die für die Gestaltung des Straßenraums für eine gezielte temporäre Rückhaltung und Ableitung von Starkniederschlägen aus Sicht der Verkehrssicherheit identifizierten Anforderungen abfragt (Fesser 2019). Dabei wird geprüft, ob die in Schritt 1 durchgeführte Analyse der Unfallsituation oder die Verkehrskonfliktanalyse Defizite aufgedeckt haben, welche bei einem Starkregenereignis eine Gefahr für die Verkehrssicherheit darstellen können. In Schritt 3 werden, aufbauend auf den Ergebnissen aus den ersten beiden Verfahrensschritten, für die potenziellen Standorte möglichst verkehrssichere Varianten für eine Rückhaltung von Regenwasser bei Starkregenereignissen entwickelt. Vorhandene Defizite in Bezug auf die Verkehrssicherheit sollen dabei sowohl für die Normalsituation als auch für die Situation eines Starkregenereignisses möglichst beseitigt werden. In Schritt 4 wird die an den potenziellen Standorten nach deren Umgestaltung entsprechend der Entwürfe aus Schritt 3 zu erwartende Verkehrssicherheit unter normalen Witterungsverhältnissen bewertet. Dazu werden die im ersten Verfahrensschritt ermittelten Mängel herangezogen und überprüft, ob diese nach der Umgestaltung der potenziellen Standorte für eine temporäre

Rückhaltung immer noch bestehen würden. Außerdem wird untersucht, ob durch die Umgestaltung der Standorte neue Sicherheitsdefizite entstehen. In Schritt 5 erfolgt die Untersuchung der Verkehrssicherheit für die umgestalteten potenziellen Standorte mithilfe deren Entwürfe im Falle eines Starkregenereignisses. Die Basis für die Bewertung bildet wiederum die bereits in Schritt 2 dargestellte Methodik.

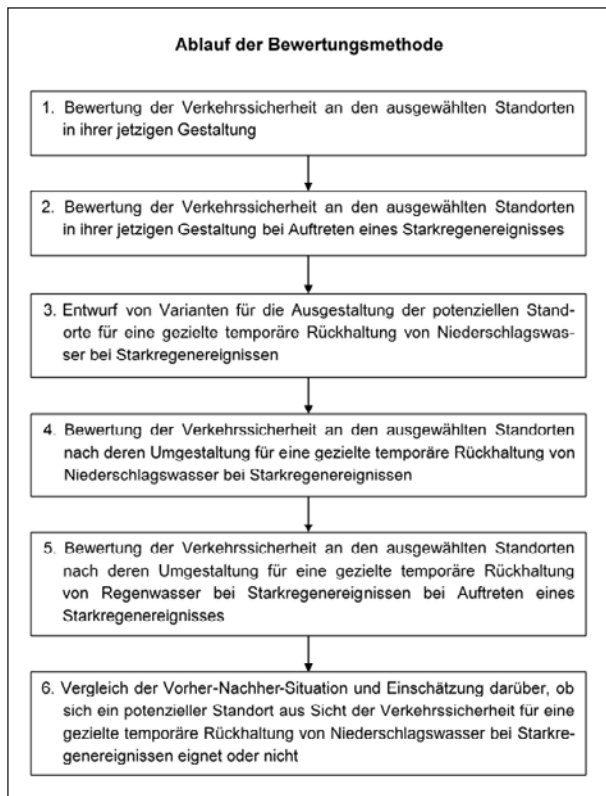


Abbildung 6: Ablauf der Bewertungsmethode zur Untersuchung der Eignung eines potenziellen Standorts für eine gezielte temporäre Rückhaltung von Starkregenereignissen aus Sicht der Verkehrssicherheit (Fesser 2019)

Im abschließenden Schritt 6 wird anhand eines Vergleiches der Vorher-Nachher-Situation bewertet, wie sich die Verkehrssicherheit durch die Umgestaltung der potenziellen Standorte entwickelt. Die Ergebnisse ermöglichen letztlich eine Abschätzung darüber, ob sich ein potenzieller Standort aus Sicht der Verkehrssicherheit für eine gezielte temporäre Rückhaltung und Ableitung von Niederschlagswasser bei Starkregenereignissen eignet.

6. Fazit und Ausblick

Werden die vorgestellten Anforderungen bei der Auswahl und Gestaltung eines Straßenraums für eine gezielte temporäre Rückhaltung und Ableitung von Niederschlagswasser im Falle eines Starkregenereignisses berücksichtigt, ist nach den bisherigen Erkenntnissen keine Verschlechterung der Verkehrssicherheit zu erwarten. Basierend auf den dargestellten Rahmenbedin-

gungen werden im F+E-Vorhaben BlueGreenStreets geeignete Standorte für Pilotvorhaben für die Mitbenutzung von Straßen für die Rückhaltung und Ableitung von Starkniederschlägen identifiziert. In diesen Pilotvorhaben wird untersucht, ob sich die bisherigen Erkenntnisse geringer Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit bestätigt lassen.

Quellen

- [1] Akin, D.; Sisiopiku, V.P.; Skabardonis, A., 2011, Impacts of Weather on Traffic Flow Characteristics of Urban Freeways in Istanbul, *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, Volume 16, S. 89-99
- [2] Andrey, J.; Yagar, S., 1993, *Accident Analysis & Prevention*, Volume 25, Issue 4, S. 465-472
- [3] Andrey, J.; Mills, B.; Vandermolen, J., 2001, *Weather Information and Road Safety*.
- [4] BBSR, 2015, Überflutungs- und Hitzevorsorge durch die Stadtentwicklung - Strategien und Maßnahmen zum Regenwassermanagement gegen urbane Sturzfluten und überhitzte Städte, Ergebnisbericht der fallstudiengestützten Expertise „Klimaanpassungsstrategien zur Überflutungsvorsorge verschiedener Siedlungstypen als kommunale Gemeinschaftsaufgabe“
- [5] Benden, J., Möglichkeiten und Grenzen einer Mitbenutzung von Verkehrsflächen zum Überflutungsschutz bei Starkregenereignissen, Dissertation, RWTH Aachen University
- [6] Bergel-Hayat, R.; Debarh, M.; Antoniou, C.; Yanis, G., 2013, Explaining the road accident risk: Weather effects
- [7] Berz, Burmann, M.; 2017, *Handbuch des Straßenverkehrsrechts*
- [8] BGH, 1994, Urteil zu den Grenzen der Verkehrssicherungspflicht gegenüber Kindern bei Aufsichtversäumnissen ihrer Eltern
- [9] Billot, R.; Nour-Eddin, E.F.; De Vuyst, F., 2009, Multilevel Assessment of the Impact of Rain on Drivers' Behaviour – Standardized Methodology and Empirical Analysis
- [10] Brijs, T.; Karlis, D.; Wets, G., 2008, Studying the effect of weather conditions on daily crash counts using a discrete time-series model
- [11] Brilon, W.; Ponzlet, M., 1996, Variability of Speed-Flow Relationships on German Autobahns, *Transport Research Record, TRB*, Volume 1555, issue 1, S. 91-98
- [12] Brodsky, H.; Hakkert, A.S., 1988, Risk of a road accident in rainy weather, *Accident Analysis & Prevention*, Volume 20, Issue 3, S. 161-176
- [13] Caliendo, C.; Guida, M.; Parisi, A., 2007, A crash-prediction model for multilane roads, *Accident Analysis & Prevention*, Volume 39, Issue 4, July 2007, S. 657-670

- [14] Chang, L.-Y.; Chen, W.-C., 2005, Data mining of tree-based models to analyse freeway accident frequency, *Journal of Safety Research*, Volume 36, Issue 4, S. 365-375
- [15] Chung, E.; Ohtani, O.; Kuwahara, M.; 2005, Effect of rainfall on travel time and travel demand
- [16] Chung, E.; Ohtani, O.; Warita, H.; Kuwahara, M.; Morita, H., 2006, Does weather affect highway capacity?
- [17] Deutschländer, T.; Mächel, H., 2017, Temperatur inklusive Hitzewellen, *Klimawandel in Deutschland: Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven* S. 47-56, Springer Berlin Heidelberg
- [18] Dormann, M.; Fuchs, L.; Rasic, I.; Zehnle, N., 2017, Auswertung Unfalldaten im Hinblick auf Starkregenereignisse, Seminararbeit, Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft, SoSe 2017
- [19] Edwards, J.B., 1996, Weather-related road accidents in England and Wales: a spatial analysis, *Journal of Transport Geography*, 4, S. 201-212
- [20] Edwards, J.B., 1998, The relationship between road accident severity and recorded weather, *Journal of Safety Research*, Volume 29, Issue 4, Winter 1998, S. 249-262
- [21] Edwards, J.B., 1999, Speed adjustment of motorway commuter traffic to inclement weather, *Transportation Research, F: Traffic Psychology and Behaviour*, Volume 2, Issue 1, S 1-14
- [22] Eisenberg, D., 2004, The mixed effects of precipitation on traffic crashes. *Accident Analysis & Prevention* 36 (4): 637-47
- [23] El-Basyouny, K.; Kwon, D.-W., 2012, Assessing time and weather effects on collision frequency by severity in Edmonton using multivariate safety performance functions, *Transportation Research Board 91st Annual Meeting*, Washington DC, United States
- [24] Fesser, J., 2019, Untersuchung der temporären Rückhaltung von Niederschlagswasser bei Starkregenereignissen im Straßenraum aus Sicht der Verkehrssicherheit, Masterarbeit, Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft
- [25] FGSV, 2012, Merkblatt zur örtlichen Unfalluntersuchung in Unfallkommissionen (M Uko), FGSV Verlag
- [26] Fridstrøm, L.; Ingebrigtsen, S., 1991, An aggregate accident model based on pooled, regional time-series data, *Accident Analysis & Prevention*, Volume 23, Issue 5, S. 363-378
- [27] Fridstrøm, L.; Ifver, J.; Ingebrigtsen, S.; Kulmala, R.; Krogsgård, T., 1995, Measuring the contribution of randomness, exposure, weather, and daylight to the variation in road accident counts, *Accident Analysis & Prevention*, Volume 27, Issue 1, S. 1-20
- [28] Gallaway, B.M.; Ivey, D.L.; Hayes, G.; Ledbetter, W.B.; Olson, R.M.; Woods, D.L.; Schiller Jr, R.F., 1979, Pavement and geometric design criteria for minimizing hydroplaning
- [29] George, Y.; Theofilatos, A., 2014, A review of the effect of traffic and weather characteristics on road safety, *Accident Analysis & Prevention*, Volume 72, S. 244-256
- [30] Günthert, W.; Faltermaier, S., 2016, Studie Niederschlagswasser: Anpassung der quantitativen Niederschlagswasserbeseitigung an den Klimawandel – Urbane Sturzfluten-, Hintergründe – Risiken – Vorsorgemaßnahmen
- [31] Haghghi-Talab, D.; 1973, An investigation into the relationship between rainfall and road accident frequencies in two cities, *Accident Analysis & Prevention*, Volume 5, Issue 4, S. 343-349
- [32] Hermans, E.; Wets, G.; Van Den Bossche, F., 2006, Frequency and Severity of Belgian Road Traffic Accidents Studied by State-Space Methods, *Journal of Transportation and Statistics*, Volume 9, Issue 1, S. 63-76
- [33] Heß, R., 2008, Verkehrssicherungspflicht, in Jagow, J.; Burmann, M.; Heß, R. (Hrsg.): *Straßenverkehrsrecht, Kommentar*, 20. Auflage, S. 599-601, München
- [34] Hölsch, C., 2018, Verhalten von Autofahrern bei überfluteten Straßen nach Starkregenereignissen, Bachelorarbeit, Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft
- [35] Hyden, C., 1977, A traffic conflicts technique for examining urban intersection problems, *Proceedings of the First Workshop on Traffic Conflicts*, S. 87-89
- [36] IPCC, 2013, *The Physical Science Basis. Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press: New York, NY, USA
- [37] Jones, B.; Janssen, L.; Mannering, F., 1991, Analysis of the frequency and duration of freeway accidents in Seattle, *Accident Analysis & Prevention*, Volume 23, Issue 4, S. 239-255
- [38] Jonkman, S.N.; Kelman, I., 2005, An analysis of the causes and circumstances of flood disaster deaths, *Disasters*, 29(1), S. 75-97
- [39] Karlaftis, M.; Yannis, G., 2010, Weather effects on daily traffic accidents and fatalities: a time series count data approach, *Proceeding of the 89th Annual Meeting of the Transportation Research Board 2010*
- [40] Key, K.; Simmonds, I., 2006, Road accidents and rainfall in a large Australian city, *Accident Analysis & Prevention*, Volume 38, Issue 3, S. 445-454
- [41] Kellar, D.M.M.; Schmidlin, T.W., 2012, Vehicle-related flood deaths in the United States, 1995-2005, *Flood Risk Management* 5 2012, S. 153-163
- [42] Khattak, A.J.; Kantor, P.; Council, F.M., 1998, Role of Averse Weather in Key Crash Types on Limited-Access: Roadways Implications for Advanced Weather Systems, *TRB*, Volume 1621, issue 1, S. 10-19
- [43] Koetse, M.J.; Rietveld, P., 2009, The impact of climate change and weather on transport: An overview of empirical findings, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Volume 14, Issue 3, May 2009, S. 205-221

- [44] KompetenzNetzwerk Hamburg Wasser, 2010, Mitbenutzung von Flächen in der Regenwasserbewirtschaftung, Recherche und Dokumentation von realisierten Projekten, Beitrag zum Teilprojekt 1 im Gesamtprojekt Regenwassermanagement des KompetenzNetzwerks HAMBURG WASSER
- [45] König, P., 2011, Verkehrssicherungspflicht, Hentschel, P.; König, P.; Dauer, P., Straßenverkehrsrecht, München, S. 925-945
- [46] Kramer, M.; Terheiden, K.; Wieprecht, S., 2016, Safety criteria fort he trafficability of inundated roads in urban floodings, International Journal of Disaster Risk Reduction 17, August, S. 77-84
- [47] Kyte, M.; Khatib, Z.; Shannon, P.; Kitchener, F., 2000, Effect of environmental factors on free-flow speed, US National Academy of Sciences Transportation Research Board 18.1, 10-25
- [48] Lam, W.; Tam, M.; Cao, X.; Li, X., 2013, Modelling the Effects of Rainfall Intensity on Traffic Speed, Flow, and Density Relationships for Urban Roads, Journal of Transportation Engineering ASCE July 2013
- [49] Levine, N.; Kim, K.E.; Nitz, L.H., 1995, Daily fluctuations in Honolulu motor vehicle accidents, Accident Analysis & Prevention, Volume 27, Issue 6, S. 785-796
- [50] Mettmann, K.; Müller, M.; Wieschhörster, J.; Lorenz, J., 2016, Starkregensensible Straßenräume, Seminararbeit, Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft, WiSe 2016/17
- [51] Natzschka, H., 2011, Straßenbau – Entwurf und Bautechnik, 3. Auflage, Vieweg+Teubner Verlag
- [52] Qui, L.; Nixon, W.A., 2008, Effects of adverse weather on traffic crashes: systematic review and meta-analysis, Transportation Research Record 2055 (1): 139-146
- [53] Reed, J.R.; Kibler, D.F.; Huebner, R.S.; Marks, G.W., 1984, Hydrop user's manual:program for predicting hydroplaning potential on road surfaces due to rainfall runoff depths
- [54] Riegel, C.; Trum, A.; Maximini, C.; Vallée, D., 2013, Klimaschutzteilkonzept „Anpassung an den Klimawandel für die Städte Solingen und Remscheid“, Endbericht
- [55] Rotermund, C.; Krafft, G., 2008, Haftungsrecht in der kommunalen Praxis, Handbuch zur Organisation der Haftungsvermeidung, Berlin
- [56] Satterthwaite, S.P., 1976, An assessment of seasonal and weather effects on the frequency of road accidents in California, Accident Analysis & Prevention, Volume 8, Issue 2, S. 87-96
- [57] Scheid, C.; Benden, J.; Broesi, R.; Illgen, M.; Leinweber, U.; Lennartz, G.; Schmitt, T.G., 2018, Lösungswege und Erfolgsfaktoren für die Konzeption multifunktionaler urbaner Retentionsräume – Erfahrungen aus dem Projekt MURIEL
- [58] Schnabel, W.; Lohse, D., 2011, Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung – Band 1 Straßenverkehrstechnik. 3., vollständig überarbeitete Auflage Bd. Straßenverkehrstechnik, Beuth Verlag GmbH, Kirschbaum Verlag GmbH
- [59] Scott, P.P., 1986, Modelling time-series of British road accident data, Accident Analysis & Prevention, Volume 18, Issue 2, Pages 109-117
- [60] Shankar, V.; Mannerling, F.; Barfield, W., 1995, Effect of roadway geometrics and environmental factors on rural freeway accident frequencies, Accident Analysis & Prevention, Volume 27, Issue 3, S. 371-389
- [61] Shu, C.; Xia, J.; Falconer, R.; Lin, B., 2011, Incipient velocity for partially submerged vehicles in floodwaters, Journal of Hydraulic Research, 49:6
- [62] Smith, K., 1982, How seasonal and weather conditions influence road accidents in Glasgow, Scottish Geographical Magazine, 98, S. 103-114
- [63] Staab, U., 2003, Der Straßenzustand und die Verkehrssicherungspflicht der öffentlichen Hand im Straßenverkehr, Zeitschrift für Versicherungsrecht, Haftungs- und Schadensrecht, Heft 16, S. 689 ff., Karlsruhe
- [64] StrG BW, 1992, Straßengesetz für Baden-Württemberg (Straßengesetz – StrG), 11.05.1992
- [65] Theofilatos, A.; Yannis, G., 2014, A review of the effect of traffic and weather characteristics on road safety, Accident Analysis & Prevention, Volume 72, November 2014, S. 244-256
- [66] TU Kaiserslautern & Pecher, 2011, Klimawandel in Stadtentwässerung und Stadtentwicklung: Methoden und Konzepte Kiss, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW
- [67] Unrau, D.; Andrey, J., 2006, Driver Response to Rainfall on Urban Expressways, Transport Research Record, TRB, Volume 1980, issue 1, S. 24-30
- [68] Valée, D.; Benden, J., 2010, Städtebauliche Anpassung an Starkregenereignisse durch multifunktionale Flächennutzung – Beispiele aus den Niederlanden, Schriftenreihe Gewässerschutz – Wasser – Abwasser der RWTH Aachen, Band 220, S. 6-1 bis 6-15
- [69] Waldhoff et al., 2012, HafenCity Universität (HCU) Hamburg: „Finanzierungsmodelle für die wasserwirtschaftliche Mitbenutzung von Grün-, Frei- und Verkehrsflächen“, Dokumentation des RISA-Fachdialoges vom September 2012
- [70] Werner, U., 2012, Stellungnahme der Abteilung Verkehrsrecht, Verkehrsgewerbeaufsicht (RV) der Behörde für Wirtschaft, Verkehr und Innovation der Freien und Hansestadt Hamburg zur rechtlichen Einschätzung der Verkehrssicherheit von Mitbenutzungsmaßnahmen
- [71] Yale, J.D.; Cole, T.B.; Garrison, H.G.; Runyan, C.W.; Ruback, J.K.R., 2003, Motor Vehicle – Related Drowning Deaths Associated with Inland Flooding After Hurricane Floyd: A Field Investigation
- [72] Yannis, G.; Karlaftis, M.G., 2011, Weather Effects on Daily Traffic Accidents and Fatalities: A Time Series Count Data Approach



**Pflaster-
bauweisen**

Die neuen ZTV Pflaster-StB

Prof. Dr.-Ing. Holger Lorenzl

Labor für Verkehrswegebau
Technische Hochschule Lübeck

Prof. Dr.-Ing. Carsten Koch

Institut für Baustoffe, Geotechnik, Verkehr und Wasser (IBGVW)
Technische Hochschule Köln

Prof. Dr.-Ing. Martin Köhler

Lehrgebiet Straßenwesen,
Technische Hochschule Ostwestfalen-Lippe

Zusammenfassung

Die Ausgabe 2019 der Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien zur Herstellung von Verkehrsflächen mit Pflasterdecken, Plattenbelägen sowie von Einfassungen (ZTV Pflaster-StB 19) ersetzt die bisherige Ausgabe aus dem Jahr 2006. Sie ergänzt und konkretisiert die Inhalte der in der VOB-Ausgabe September 2019 in einer Neufassung erschienenen ATV DIN 18318 Pflasterdecken und Plattenbeläge, Einfassungen. Da die DIN 18318 stärker auf die Anwendung von Pflasterdecken und Plattenbelägen für private, nicht von Kraftfahrzeugen befahrene Flächen ausgerichtet wurde, mussten speziell die Anforderungen für befahrene Pflasterdecken in den ZTV Pflaster-StB konkreter gefasst werden, um das bisherige Qualitätsniveau im Technischen Regelwerk der FGSV zu erhalten.

1. Anlass für die Überarbeitung der ZTV Pflaster-StB

Aus Anlass der Neufassung der ATV DIN 18318 wurde vom Arbeitsausschuss 6.6 „Pflasterdecken und Plattenbeläge“ der Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen (FGSV), maßgeblich im Arbeitskreis 6.6.3, eine neue Ausgabe der Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien zur Herstellung von Verkehrsflächen mit Pflasterdecken, Plattenbelägen sowie von Einfassungen (ZTV Pflaster-StB) erarbeitet. Daneben wurden neuere Erkenntnisse und neue Inhalte des tangierenden Regelwerks berücksichtigt.

Die ATV DIN 18318 trug in der Vergangenheit den Titel „Verkehrswegebauarbeiten – Pflasterdecken und Plattenbeläge in ungebundener Ausführung, Einfassungen“. Die im September 2019 veröffentlichte Neufassung besitzt den Titel „Pflasterdecken und Plattenbeläge, Einfassungen“. Damit wird bereits deutlich, dass die Neufassung stärker auch auf die Anwendung für private, von Kraftfahrzeugen nicht befahrene Flächen ausgerichtet wurde. Daneben wurde die gebundene Ausführung von Pflasterdecken und Plattenbelägen in die ATV DIN 18318 aufgenommen. Parallel hierzu wurde im FGSV-Arbeitskreis 6.6.5 das Merkblatt für Flächenbefestigungen mit Pflasterdecken und Plattenbelägen in gebundener Aus-

führung (M FPgeb) erarbeitet und als Ausgabe 2018 veröffentlicht. Es wird hinsichtlich der notwendigen Prüfverfahren durch die Arbeitsanleitung zur Durchführung von Prüfungen für Pflasterdecken und Plattenbelägen in gebundener Ausführung (AL Pgeb), Ausgabe 2018, ergänzt. Über deren Inhalte wurde in dieser Zeitschrift von (BURGETSMEIER und KOCH 2018) bereits berichtet. Wesentliche Verwendungsbereiche von Pflasterdecken, Plattenbelägen oder Einfassungen sind:

- Befestigungen von Fahrbahnen, Geh – und Radwegen und Flächen des ruhenden Verkehrs im privaten und öffentlichen Bereich,
- Gestaltung von städtebaulich hervorgehobenen Flächen und Fußgängerzonen,
- Flächen für Gewerbe oder Industrie.

Die ZTV Pflaster-StB sollen in Verbindung mit den TL Pflaster-StB herangezogen werden bei der Vorbereitung, der Ausschreibung und der Ausführung von Maßnahmen des Neubaus, des Um – oder Ausbaus, der Instandsetzung sowie der Erneuerung von öffentlichen Verkehrsflächen mit Pflasterdecken und Plattenbelägen in ungebundener Ausführung. Nicht Bestandteile der ZTV Pflaster-StB sind begrünbare Flächenbefestigungen, Pflasterdecken und Plattenbeläge in gebundener Ausführung (siehe

Merkblatt M FPgeb 2018), Flächenbefestigungen mit Großformaten (siehe M FG 2013) und Versickerungsfähige Verkehrsflächenbefestigungen (siehe M VV 2013) sowie Pflasterdecken und Plattenbeläge, die auf Bauwerken gebettet sind.

2. Inhalte der Ausgabe 2019 der ZTV Pflaster-StB

2.1 Begriffsbestimmungen

Zur Beschreibung der Lage und Begrenzung sowie der Bezeichnungen der einzelnen Schichten einer Verkehrsflächenbefestigung mit Pflasterdecke enthalten die ZTV Pflaster-StB die Darstellung eines typischen Fahrbahnquerschnitts.

Die europäischen Normen definieren Pflastersteine und Platten aus den verschiedenen Baustoffen auf der Basis ihrer Abmessungen unterschiedlich. Als Oberbegriff für Pflastersteine und Platten wurde daher der Begriff „Belagselemente“ neu eingeführt. Anders als in den DIN EN 1338:2003-08 für Pflastersteine aus Beton, den DIN EN 1342:2013-03 für Pflastersteine aus Naturstein und den DIN EN 1344:2015-10 für Pflasterziegel enthalten die ZTV Pflaster-StB eine einheitliche Abgrenzung zwischen Pflastersteinen und Platten bei einem Verhältnis von Gesamtlänge zu Dicke von 4. Die Befestigungselemente für Pflasterdecken im Sinne der ZTV Pflaster-StB weisen ein Verhältnis von Gesamtlänge zu Dicke von ≤ 4 auf. Bei nicht rechteckigen Befestigungselementen gilt als Gesamtlänge die Länge des umhüllenden Rechtecks mit kleinstem Flächeninhalt. Die Gesamtlänge darf 400 mm nicht überschreiten. Neu ist auch, dass das Produkt aus Gesamtlänge und Gesamtbreite 1.024 cm^2 nicht überschreiten darf. Damit wird die Gesamtlänge von Pflastersteinen von bisher 320 mm auf 400 mm erhöht, sodass die bisherige Definitionslücke zu den Großformaten entfällt. Dennoch bleibt aber die zulässige Fläche der Grundfläche (bislang maximal $320 \times 320 \text{ mm}$) dadurch erhalten, dass die Grundfläche auf 1.024 cm^2 beschränkt bleibt.

Die Befestigungselemente für Plattenbeläge im Sinne der ZTV Pflaster-StB weisen ein Verhältnis von Gesamtlänge zu Dicke von > 4 auf. Die maximale Gesamtlänge ist weiterhin auf 600 mm begrenzt. Bei nicht rechteckigen Befestigungselementen gilt auch hier als Gesamtlänge die Länge des umhüllenden Rechtecks mit kleinstem Flächeninhalt.

2.2 Baugrundsätze

2.2.1 Wahl der Befestigungselemente

Mit Pflasterdecken können alle Verkehrsflächen nach Maßgabe der RStO versehen werden. Plattenbeläge sollten nur bei der Befestigung von Geh – und Radwegen

sowie bei Verkehrsflächen, die nicht für den Kfz-Verkehr vorgesehen sind, Anwendung finden. Überfahrten oder ähnliche Verkehrsflächen sind gesondert zu betrachten. Plattenbeläge müssen allerdings so dimensioniert sein, dass ein gelegentliches Befahren durch Fahrzeuge, z. B. des Unterhaltungs – und Reinigungsdienstes, möglich ist. Die Wahl der Befestigungselemente hat so zu erfolgen, dass deren Griffigkeit bzw. deren Rutschwiderstand ausreichend und unter Berücksichtigung der üblichen Unterhaltungsmaßnahmen dauerhaft ist. Hierauf ist in besonderem Maße in Bereichen mit größerer Neigung zu achten.

2.2.2 Neigung der Oberfläche

Zur Festlegung der Quer- und Längsneigungen von Fahrbahnen sind die einschlägigen Regelwerke zum Straßentwurf zu beachten. Wegen der besonderen Bedeutung der Oberflächenentwässerung von Verkehrsflächen ist die Erstellung eines Entwässerungsplanes unerlässlich. Die abflusswirksame Neigung sollte in der Regel mindestens 2,5 % betragen. Eine planmäßige, abflusswirksame Neigung von 2,0 % sollte nicht unterschritten werden. Lassen die örtlichen Verhältnisse die Einhaltung der Regelneigung oder der empfohlenen Neigung nicht zu, sind zwingend besondere Maßnahmen vorzusehen. Eine Möglichkeit ist es, erhöhte Anforderung an die Ebenheit der Pflasterdecke/des Belages vertraglich zu vereinbaren. Im Kapitel „Ausführung, Lage, zulässige Abweichungen“ der ZTV Pflaster-StB werden nun umfangreiche Anforderungen hierzu gestellt. In jedem Fall dürfen jedoch nach der Bauausführung die Abweichungen von der geforderten Neigung nicht mehr als $\pm 0,4 \%$ (absolut) betragen!

2.2.3 Dicke der Befestigungselemente, Bettungsdicke und Fugenbreite

Die Dicke der Pflastersteine und Platten sowie der Bettung sind im Rahmen der Planung festzulegen. Pflastersteine, welche aus allseits gesägten und weiterbearbeiteten (z. B. geflammt, gestrahlt) Natursteinen hergestellt wurden, werden wie Pflastersteine aus Beton, Ziegel oder Klinker behandelt. Pflastersteine mit Nenndicken bis zu 60 mm sind für Verkehrsflächen, die mit Kraftfahrzeugen befahren werden, ungeeignet. Sofern Verkehrsflächen mit Fahrzeugen des Reinigungs – und Wartungsdienstes befahren werden, sollten Pflastersteine mit Nenndicken über 60 mm verwendet werden. Für Pflastersteine aus Naturstein mit gespaltenen Seitenflächen und gespaltenen Unterseite wurden Empfehlungen für die Festlegung der Nenndicke in Abhängigkeit von der Belastungsklasse formuliert.

Tab. 1: Empfehlungen für die Wahl der Nenndicke für Pflastersteine aus Naturstein mit gespaltenen Seitenflächen und gespaltener Unterseite

Verkehrsflächen der Belastungsklasse	Nenndicke der Pflastersteine aus Naturstein mit gespaltenen Seitenflächen und gespaltener Unterseite
Bk0,3	ab 80 mm
Bk1,0	ab 100 mm
Bk1,8	ab 120 mm
Bk3,2	ab 150 mm

Die planmäßige Dicke der Bettung soll unabhängig von der Dicke des Befestigungselementes im verdichteten Zustand 4 cm betragen, in begründeten Fällen auch 1 cm geringer.

Hinsichtlich der planmäßigen Fugenbreite wurden die Festlegungen in Abhängigkeit der Nenndicke der Befestigungselemente anders als in der Neufassung der ATV DIN 18318 getroffen. So beträgt die planmäßige Fugenbreite bei Verwendung von Befestigungselementen aus Beton, Ziegel und Klinker sowie Natursteinen mit gesägten oder strukturierten Seitenflächen bei

Nenndicken unter 120 mm: 4 mm

Nenndicken ab 120 mm: 6 mm.

An den Pflastersteinen angeformte Abstandshilfen oder sonstige angeformte Profile geben nicht das Maß der Fugenbreite vor. Sie können die Mindestfugenbreite und die Kraftübertragung durch die gefüllte Fuge nicht ersetzen. Zudem muss ausreichend Raum für das Verfüllen mit einem geeigneten Fugenmaterial zur Verfügung stehen. Die in der Praxis häufig zu findende Verlegung mit unmittelbarem Kontakt zwischen benachbarten Befestigungselementen (sogenannte Knirschverlegung) kann z. B. unter Temperatureinfluss zu erheblichen Schäden führen.

2.2.4 Verlegemuster, Randeinfassung

Bei der Wahl des Verbandes oder Verlegemusters ist zu beachten, dass Verbände, die nur über einen geringen Verschiebungswiderstand verfügen, z. B. Kreuzfugen-, Parkett – oder Blockverband, für befahrene Verkehrsflächen grundsätzlich nicht geeignet sind. Durchgehende Längsfugen in der Fahrtrichtung sind zu vermeiden. Für Verkehrsflächen der Belastungsklassen Bk1,0, Bk1,8 oder Bk3,2 und für solche mit besonderen Beanspruchungen sind Verbände vorzusehen, welche eine möglichst großflächige Lastverteilung und einen hohen Widerstand gegen Verdrehung sowie Verkippung erwarten lassen, z. B. Fischgrätverband oder Diagonalverband.

Pflastersteine oder Platten sind zwischen Einfassungen oder sonstigen festen Begrenzungen zu versetzen bzw.

zu verlegen. Für die Herstellung von Einfassungen sind in der Leistungsbeschreibung gesonderte Leistungspositionen vorzusehen.

Die Breite von Rückenstützen sollte zu unbefestigten Flächen hin mindestens 15 cm betragen.

Während in der Neufassung der ATV DIN 18318 Festigkeitsklassen für den Fundament – und Rückenstützenbeton vorgegeben sind, aber für die tatsächlich erreichte Druckfestigkeit keine Anforderungen formuliert sind, empfiehlt die ZTV Pflaster-StB die Druckfestigkeit des Fundamentes und der Rückenstütze in der Leistungsbeschreibung anzugeben. Sie sollte am zylindrischen Prüfkörper, für jeden Einzelwert gemessen, mindestens 12 MPa aufweisen. Für Rückenstützen, die häufig höheren mechanischen Belastungen ausgesetzt sein könnten, können auch größere Breiten und höhere Druckfestigkeiten oder andere Stützkonstruktionen erforderlich sein.

Die Mengen des für die Herstellung der Fundamente und Rückenstützen verwendeten Frischbetons sind auf die Einbauleistung derart abzustimmen, dass die jeweiligen Verarbeitungszeiten des Frischbetons unter Berücksichtigung der gerade vorherrschenden Witterungsverhältnisse eingehalten werden. Zudem ist eine auf die gerade vorherrschenden Witterungsbedingungen abgestimmte Nachbehandlung des eingebauten Betons durchzuführen. Bei Einfassungen von Verkehrsflächen ab Bk1,8 sowie regelmäßig von Schwerverkehr überfahrenen Einfassungen und bei Entwässerungsrinnen sind die Bauteile in den frischen, d. h. noch verarbeitbaren Fundamentbeton unter Verwendung eines Haftvermittlers an der Unterseite der Bauteile zu versetzen.

2.2.5 Unterlage

Die Eignung der Unterlage in Hinblick auf

- die Wasserdurchlässigkeit,
- die profilgerechte Lage und Ebenheit sowie
- die Tragfähigkeit bei Tragschichten ohne Bindemittel

ist vor der Erstellung der Decke auf der Oberfläche der Tragschicht festzustellen. Es ist zu betonen, dass dies gemäß ZTV Pflaster-StB eine geschuldete Leistung des Auftragnehmers ist.

Eine ausreichende Wasserdurchlässigkeit der Tragschichten muss gegeben sein. Nach bisherigem Kenntnisstand kann dies angenommen werden, wenn die Unterlage einen Infiltrationsbeiwert von $k_i \geq 1 \cdot 10^{-5}$ m/s aufweist. Die Bestimmung des Infiltrationsbeiwertes kann mit den Verfahren nach TP Gestein-StB Teil 8.3.2, 8.3.3 oder 8.3.4 erfolgen. Zur qualitativen Abschätzung der Wasserdurchlässigkeit kann der Schnelltest nach dem Merkblatt für Versickerungsfähige Verkehrsflächen (M VV) durchgeführt werden. Unter dem Aspekt der Wasserdurchlässigkeit einer Tragschicht ohne Bindemittel kann es von Vorteil sein, Baustoffgemische der Kategorie UF3 nach den TL SoB-StB zu verwenden.

Forschungsergebnisse aus Untersuchungen an Tragschichten ohne Bindemittel aus RC-Baustoffen in langjährig unter Verkehr befindlichen Fahrbahnbefestigungen haben gezeigt, dass die Infiltrationsleistung dieser Tragschichten eingeschränkt sein kann. Eine für Verkehrsflächen mit Pflasterdecke oder Plattenbelag ausreichende Versickerungsleistung ist dann nicht mehr gewährleistet. Deshalb sollten Tragschichten aus RC-Baustoffen nur dann verwendet werden, wenn hierfür positive Erfahrungen vorliegen und der Infiltrationsbeiwert der Schicht überprüft wird.

2.3 Bauprodukte

Bauprodukte zur Herstellung von Pflasterdecken, Plattenbelägen und Einfassungen müssen die Anforderungen der TL Pflaster-StB und der ZTV Pflaster-StB erfüllen.

2.3.1 Bettungsmaterialien

Während die ATV DIN 18318 sowohl feinkornhaltige, kornabgestufte als auch feinkornarme, zum Teil nur gering kornabgestufte Bettungsmaterialien zulassen, empfehlen die ZTV Pflaster-StB aus Gründen der Filterstabilität die vorzugsweise Verwendung feinkornhaltiger, kornabgestufter Bettungsmaterialien der Körnungen 0/4, 0/5 und 0/8.

Tab. 2: Anforderungen und Empfehlungen der ZTV Pflaster-StB an Bettungsmaterialien

Belastungsklasse nach den RStO	Anforderungen und Empfehlungen der ZTV Pflaster-StB
Bk 0,3 Rad – und Gehwege	vorzugsweise 0/4, 0/5 oder 0/8 nach TL Pflaster-StB
Bk 1,0 Bk 1,8	vorzugsweise 0/4, 0/5 oder 0/8 nach TL Pflaster-StB erhöhte Anforderungen an Kornzusammensetzung SZ ₂₂ , E _{CS} 35, mind. C _{90/3}
Bk 3,2 und bei Verwendung einer oberen gebundenen Tragschicht	vorzugsweise 0/4, 0/5 oder 0/8 nach TL Pflaster-StB erhöhte Anforderungen an Kornzusammensetzung SZ ₁₈ , E _{CS} 35, mind. C _{90/3}
HMVA nicht zulässig.	

2.3.2 Fugenmaterialien

Während die ATV DIN 18318 sowohl feinkornhaltige, kornabgestufte als auch feinkornarme, zum Teil nur gering kornabgestufte Fugenmaterialien zulassen, empfehlen die ZTV Pflaster-StB aus Gründen der Filterstabilität die vorzugsweise Verwendung feinkornhaltiger, kornabgestufter Fugenmaterialien der Körnungen 0/4 und 0/5, ggf. auch 0/8.

Tab. 3: Anforderungen und Empfehlungen der ZTV Pflaster-StB an Fugenmaterialien

Belastungsklasse nach den RStO	Anforderungen und Empfehlungen ZTV Pflaster-StB
Bk 0,3 Rad – und Gehwege	vorzugsweise 0/4, 0/5 oder 0/8 nach TL Pflaster-StB erhöhte Anforderungen an Kornzusammensetzung
Bk 1,0 Bk 1,8	vorzugsweise 0/4, 0/5 oder 0/8 nach TL Pflaster-StB erhöhte Anforderungen an Kornzusammensetzung SZ ₂₂ , E _{CS} 35, mind. C _{90/3}
Bk 3,2 und bei Verwendung einer oberen gebundenen Tragschicht	vorzugsweise 0/4, 0/5 oder 0/8 nach TL Pflaster-StB erhöhte Anforderungen an Kornzusammensetzung SZ ₁₈ , E _{CS} 35, mind. C _{90/3}
Nenngrößtkorn des Fugenmaterials $\geq 2/3$ der Sollfugenbreite. Ungewollte Verfärbungen der Befestigungselemente sind zu vermeiden. HMVA nicht zulässig.	

In besonderen Fällen kann ein Baustoffgemisch 0/2 oder 0/3 als Fugenmaterial verwendet werden, das aus natürlichen Gesteinskörnungen hergestellt sein sollte. Der Durchgang durch das Sieb mit der Öffnungsweite 1 mm muss 40 M.-% bis 70 M.-% (bei 0/2) bzw. 30 M.-% bis 55 M.-% (bei 0/3) betragen. Es sind die Anforderungen der TL Pflaster-StB, Tabellen 8, 9 und 10, erfüllen.

Durch das abschließende Einarbeiten eines Fugenschlussmaterials kann die im Verlauf der Nutzungsdauer eintretende Anreicherung des Fugenmaterials mit Feinanteilen und damit die Stabilisierung einer Pflasterdecke vorweggenommen werden. Der Fugenschluss ist dann in der Leistungsbeschreibung zu vereinbaren. Gemäß ZTV Pflaster-StB eignen sich hierfür Gesteinskörnungen mit einem Größtkorn von höchstens 3 mm und einem hohem Feinanteil ($< 0,063$ mm) von 15 bis 30 M.-%. Sie müssen nicht die Anforderungen der TL Pflaster-StB erfüllen und dürfen keine ungewollten Verfärbungen auf den Befestigungselementen verursachen.

Bettungs – und Fugenmaterialien sollten immer einen ausreichenden Widerstand gegen mechanische Beanspruchung (Festigkeit) aufweisen. Neben dem bekannten Schlagzertrümmerungswert oder dem Los-Angeles-Koeffizienten an groben Gesteinskörnungen besteht für feine Gesteinskörnungen auch die Möglichkeit, den Modifizierten Micro-Deval-Koeffizienten nach TP Gestein-StB, Teil 5.5.3 zu bestimmen, welcher speziell für diese Baustoffe entwickelt wurde.

2.3.3 Filterstabilität

Pflasterdecken sind – zumindest zeitweilig – während ihrer Nutzungsdauer wasserdurchlässig, d. h. Oberflächenwasser kann über die Fugen in den Oberbau einsickern. Sofern die Kornverteilungslinien von zwei aneinandergrenzenden Schichten voneinander abweichen, kann es infolge Durchsickerung bei zu hoher Fließgeschwindigkeit des Wassers an den Schichtgrenzen zu hydraulisch bedingten Kornumlagerungen kommen. Deformationen des Korngerüsts sowie die Verringerung der Wasserdurchlässigkeit durch Umlagerung, insbesondere von Feinanteilen, sind dann nicht auszuschließen. Dies betrifft alle Schichtgrenzen, also zwischen Fugen – und Bettungsmaterial, zwischen Bettungsmaterial und oberer Tragschicht, zwischen Tragschichten untereinander und zwischen unterer Tragschicht (Frostschuttschicht) und Untergrund/Unterbau. Die Nichtbeachtung dieser Vorgänge kann, wie leider häufig in der Praxis zu beobachten, zu schwerwiegenden Schäden an der Befestigung führen. Deshalb und aufgrund auftretender Vibrationen müssen die Gesteinskörnungsgemische aneinandergrenzender Schichten filterstabil aufeinander abgestimmt werden.

Zur Beurteilung der Filterstabilität werden Filterregeln verwendet. Als Eingangsgröße dienen dabei die Kornverteilungslinien der betreffenden Gesteinskörnungsgemische. Die Struktur des Korn – bzw. Porensystems der

Schichten wird somit vereinfachend aus den Kornverteilungslinien abgeleitet. Die Filterstabilität zwischen Fugen – und Bettungsmaterial und zwischen Bettungsmaterial und der obersten Tragschicht (falls es sich um eine Tragschicht ohne Bindemittel handelt) ist daher zwingend anhand der in den ZTV Pflaster-StB angegebenen Filterregeln nachzuweisen. Der Auftraggeber sollte sich diesen Nachweis vom Auftragnehmer vorlegen lassen.

2.4 Bauausführung

2.4.1 Verlegen der Pflasterdecke bzw. des Plattenbelags

Hinsichtlich der Bauausführung sind in der Neufassung der ZTV Pflaster-StB eine Reihe von veränderten oder neuen Anforderungen zu beachten.

Die Arbeitsschritte für das Verfugen und Abrütteln bzw. Abrammen einer Pflasterdecke oder eines Plattenbelags sind nunmehr – auch in ihrer Reihenfolge – vorgegeben, um eine möglichst vollständige und dauerhafte Fugenfällung zu erhalten:

1. Fugenmaterial kontinuierlich aufbringen und einarbeiten.
2. Belag vollständig abfegen, im Anschluss abrütteln oder abrammen.
3. Erneut Fugenmaterial aufbringen, einarbeiten und unter begrenzter Wasserzugabe einschlämmen.
4. Im Anschluss den vollständig abgefegten und abgetrockneten Belag bis zur Standfestigkeit abrütteln oder abrammen. Der untere Teil der Fugenfällung kann mit dem Bettungsmaterial hergestellt werden, sofern die Fugenbreite dies zulässt.
5. Es kann zweckmäßig sein, anschließend einen Fugenschluss durch Einfegen und Einschlämmen auszuführen. Dabei darf es nicht zu dauerhaft ungewollten Verfärbungen der Befestigungselemente durch ein ungeeignetes Fugenschlussmaterial kommen.
6. Abschließend ist die Fläche zu reinigen. Dabei darf kein Fugenmaterial ausgetragen werden. Beim Verfugen und Reinigen ist auf den Schutz vor Verunreinigungen, insbesondere von Straßenabläufen, zu achten.

Pflasterdecken oder Plattenbeläge sind erst dann für den Verkehr freizugeben, wenn ihre Bettung und deren Unterlage nach dem Einschlämmen ausreichend abgetrocknet sind.

Um das Zuarbeiten von Befestigungselementen zu vermeiden, kann es zweckmäßig sein, den genauen Abstand der Randeinfassungen – unter Beachtung der geforderten Verlegeteile – durch Auslegen einzelner Zeilen aus Befestigungselementen vorher zu ermitteln.

Der Aufwand für ein Zuarbeiten von Befestigungselementen sollte dadurch gemindert werden, dass immer dort vorgefertigte Formsteine verwendet werden, wo das möglich ist. Das gleiche gilt z. B. für Bereiche mit beson-

derer Geometrie, z. B. in Kurven oder bei Kreisverkehren. In der Leistungsbeschreibung sind gegebenenfalls entsprechende Festlegungen zu treffen. Zugearbeitete Befestigungselemente dürfen nur verwendet werden, wenn die verbleibende kürzeste Seite

- mindestens einem Drittel der größten Kantenlänge des unbearbeiteten Befestigungselementes und
- mindestens der halben Dicke des unbearbeiteten Befestigungselementes und
- mindestens aber 5 cm entspricht.

Das Zuarbeiten hat durch Nassschnitt zu erfolgen.

2.4.2 Anforderungen an die Qualität der Bauausführung

In den ZTV Pflaster-StB sind nun Anforderungen an die Höhenlage bei Anschlüssen enthalten, um die bewährten Anforderungen der bisherigen ATV DIN 18318 zu erhalten. So müssen neben Randeinfassungen und Entwässerungsrinnen die Anschlüsse mindestens 5 mm und höchstens 10 mm über deren Oberfläche liegen. Neben Einbauten müssen die Anschlüsse mindestens 3 mm und höchstens 5 mm über deren Oberfläche liegen. Abweichungen von der profilgerechten Lage und unzulässige Abweichungen von der Ebenheit der Tragschicht dürfen nicht durch die Bettung ausgeglichen werden.

Pflasterdecken und Plattenbeläge sind an den Fugen höhengleich herzustellen. Der zulässige Versatz bei höhengleichen Anschlüssen darf

- bei Befestigungselementen mit ebener Oberfläche 2 mm und
- bei Befestigungselementen aus Natursteinen mit unbearbeiteter, spaltrauer Oberfläche 5 mm nicht überschreiten.

Zur Kontrolle der Ebenheit sind nunmehr 2 m und 4 m lange Richtlatten zu verwenden. Die neu eingeführte 2-m-Richtlatte wurde erforderlich, um gegenüber der letzten Fassung der ZTV Pflaster-StB geringere resultierende Neigungen zu realisieren. Diese werden aufgrund von Kriterien der Barrierefreiheit immer häufiger gefordert. Die gemäß ATV DIN 18318 zusätzlich mögliche 1-m-Richtlatte kann gemäß ZTV Pflaster-StB nicht herangezogen werden, da die in den DIN 18318 hierfür enthaltenen zulässigen Unebenheiten bereits einen Wasserrückhalt auf der Oberfläche bewirken. Die zulässigen maximalen Abweichungen von der Ebenheit sind in Abhängigkeit von der resultierenden Neigung der vorhandenen Fläche an der jeweiligen Messstelle definiert. Die Anforderungen gemäß Tabelle 4 sind einzuhalten.

Tab. 4: Zulässige Abweichungen von der Ebenheit von Pflasterdecken und Plattenbelägen

Nutzung	Pflasterdecken, Plattenbeläge aus	Neigung ¹⁾ [%]	Ebenheitsanforderungen ²⁾ Stichmaß [mm] unter der:	
			2-m-Latte	4-m-Latte
Geh- und Radwege	Pflastersteinen, Platten aus Beton, Klinkern, Ziegeln, bearbeitetem Naturstein	≥ 1,6 < 2,0	≤ 5	≤ 8
		≥ 2,0 < 2,5	≤ 6	≤ 10
		≥ 2,5	≤ 8	≤ 12
	unbearbeitetem und spaltrauem Naturstein	≥ 2,0 < 2,5	≤ 7	≤ 10
		≥ 2,5	≤ 12	≤ 20
Fahrbahnen	Pflastersteinen, Platten aus Beton, Klinkern, Ziegeln, bearbeitetem Naturstein	≥ 2,0 < 2,5	≤ 5	≤ 8
		≥ 2,5	≤ 6	≤ 10
	unbearbeitetem und spaltrauem Naturstein	≥ 3,0	≤ 10	≤ 15

¹⁾ an der Messstelle vorhandene abflusswirksame Neigung

²⁾ Abweichungen von der Ebenheit werden nach den „Technischen Prüfvorschriften für Ebenheitsmessungen auf Fahrbahnoberflächen in Längs – und Querrichtung, Teil: Berührende Messungen (TP Eben – Berührende Messungen)“ mit der Richtlatte und einem 30 cm-Messkeil gemessen. Die Messungen mit der 2-m-Latte erfolgen in Anlehnung an die TP Eben – Berührende Messungen. Interpolationen sind nicht zulässig.

Abweichungen von der in Längs-, Quer – oder der abflusswirksamen Richtung geforderten Neigung dürfen nicht mehr als $\pm 0,4\%$ (absolut) betragen.

Die Dicke der Bettung darf unabhängig von der Dicke des Befestigungselementes im fertigen Zustand um nicht mehr als ± 1 cm von der vereinbarten Dicke abweichen. Sie muss im verdichteten Zustand an jeder Stelle mindestens 2,0 cm und maximal 5,0 cm betragen. Bei Natursteinpflaster und Natursteinplatten mit einer Nenndicke ≥ 120 mm und spaltrauer Unterseite darf die Bettung im fertigen Zustand gegenüber der vereinbarten Dicke um nicht mehr als 1,5 cm unterschritten und um nicht mehr als 1,0 cm überschritten werden. Bei Natursteinpflaster und Natursteinplatten mit einer Nenndicke ≥ 120 mm und spaltrauer Unterseite muss die Bettung im verdichteten Zustand an jeder Stelle mindestens 3,0 cm und maximal 6,0 cm betragen.

Bei Pflasterdecken und Plattenbeläge mit Befestigungselementen kleiner 120 mm Nenndicke aus Beton, Ziegel und Klinker sowie Natursteinen mit gesägten oder strukturierten Seitenflächen darf die Fugenbreite gegenüber der in Abs. 2.2.3 genannten Fugenbreite um ± 1 mm, bei Nenndicken ab 120 mm um ± 2 mm, abweichen. Bei Pflasterdecken und Plattenbelägen mit Befestigungselementen aus Natursteinen mit gespaltenen Seitenflächen dürfen die vereinbarten Fugenbreiten nicht überschritten werden. Sofern bei Anschlüssen zugearbeitete Befestigungselemente verwendet werden, dürfen die hier entstehenden Fugen an der breitesten Stelle die vereinbarten Fugenbreiten um nicht mehr als 5 mm überschreiten, jedoch darf eine maximale Fugenbreite von 20 mm nicht überschritten werden.

2.5 Qualitätssicherung

Neben den bekannten Anforderungen an Eigenüberwachungsprüfungen und Kontrollprüfungen ist insbesondere der vom Auftragnehmer vorzulegende Eignungsnachweis ein wichtiger Baustein der Qualitätssicherung und Bestandteil des Bauvertrages. Mit dem Eignungsnachweis dokumentiert der Auftragnehmer gegenüber dem Auftraggeber die Eignung der Bauprodukte für den vorgesehenen Verwendungszweck entsprechend den Anforderungen des Bauvertrages rechtzeitig vor der Bauausführung.

Der Eignungsnachweis erfolgt durch:

- a. Bei Baustoffgemischen:
Nachweis der Güteüberwachung der Baustoffgemische nach Anhang B der TL Pflaster-StB durch Vorlage von Prüfzeugnissen einer nach RAP Stra für die Fachgebiete I1 und I2 anerkannten Prüfstelle.
Bei Befestigungselementen und Bordsteinen, Einfassungssteinen, Rinnensteinen, Bordrinnensteinen und Muldensteinen, die einer harmonisierten Norm unterliegen: Der Nachweis durch Vorlage der Leistungserklärung des Herstellers oder seines Bevollmächtigten

und ergänzenden Prüfzeugnissen einer fachlich geeigneten Prüfstelle.

- b. Erklärung über die Eignung der für die Lieferung vorgesehenen Bauprodukte für den vorgesehenen Verwendungszweck
- c. Angaben zu sonstigen vertraglich geforderten Eigenschaften sowie gegebenenfalls zusätzliche Angaben (z.B. zur Filterstabilität)

Zusätzlich sind ggf. Rückstellproben oder Muster dem Auftraggeber zu übergeben

3. Zusammenfassung

Die ZTV Pflaster-StB enthalten in Verbindung mit den TL Pflaster-StB weiterhin Anforderungen und Richtlinien an die Planung, die Bauprodukte und an die Herstellung der Pflasterdecken und Plattenbeläge sowie an Einfassungen und Entwässerungsrinnen.

Mit der Neufassung der ZTV Pflaster-StB wurden die bisherigen Regelungen aktualisiert und an die im September 2019 herausgegebene Neufassung der ATV DIN 18318 angepasst. Die ATV DIN 18318 bleibt dabei Bestandteil des Bauvertrages. Das mit dieser neuen ATV teilweise verringerte Qualitätsniveau wurde durch die Änderungen der ZTV Pflaster-StB für öffentliche Verkehrsflächen jedoch relativiert, so dass auch weiterhin die Herstellung von Pflasterdecken und Plattenbeläge mit einer hohen Dauerhaftigkeit und Verkehrssicherheit möglich ist.

Literatur

- [1] ALP Pgeb 2018:
Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.): Arbeitsanleitung zur Durchführung von Prüfungen für Pflasterdecken und Plattenbelägen in gebundener Ausführung, Ausgabe 2018; FGSV Verlag, Köln.
- [2] Burgetsmeier, Bernd; Koch, Carsten (2018):
Die gebundene Pflasterbauweise – Neuerungen und Empfehlungen; Straße und Autobahn 69, S. 551-555
- [3] DIN 18318: 2019-09
Deutsches Institut für Normung e.V. – DIN (Hrsg.): VOB Vergabe – und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Pflasterdecken und Plattenbeläge, Einfassungen, Ausgabe September 2019; Beuth Verlag, Berlin.
- [4] M FG 2013:
Forschungsgesellschaft für Straßen – und Verkehrswesen (Hrsg.): Merkblatt für Flächenbefestigungen mit Großformaten, Ausgabe 2013; FGSV Verlag, Köln.
- [4] M FPgeb 2018:
Forschungsgesellschaft für Straßen – und Verkehrswesen (Hrsg.): Merkblatt für Flächenbefes-

- tigungen mit Pflasterdecken und Plattenbelägen in gebundener Ausführung, Ausgabe 2018; FGSV Verlag, Köln.
- [5] M VV 2013:
Forschungsgesellschaft für Straßen – und Verkehrswesen (Hrsg.): Merkblatt für Versickerungsfähige Verkehrsflächen, Ausgabe 2013; FGSV Verlag, Köln.
- [6] ZTV Pflaster-StB 19
Forschungsgesellschaft für Straßen – und Verkehrswesen (Hrsg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien zur Herstellung von Verkehrsflächen mit Pflasterdecken, Plattenbelägen sowie von Einfassungen, Ausgabe 2019; FGSV Verlag, Köln.

Pflasterhandwerk – Zunft mit Zukunft

Wie erhalten wir die Qualität im Natursteinpflaster-Gewerk – von der Planung bis zur Abnahme

Dipl.-Ing. Rüdiger Singbeil

Singbeil Bau GmbH, 31226 Peine, Berkumer Weg 2

Kurator Netzwerk Pflasterbau; Wanderausstellung: „Pflasterhandwerk – Zunft mit Zukunft“

IG Deutscher Pflasterer und Steinsetzer e.V.

Zusammenfassung

Das Pflasterhandwerk zählt zu den ältesten Handwerkszünften Europas. Der handwerklich-künstlerische Prozess der Pflastergestaltung beginnt mit der Auswahl der Pflastersteine, ob gespaltene oder gesägte Steine zum Einsatz kommen und ob die Oberfläche rau oder glatt sein soll. Für die Einbettung in das Gesamtbild ist ebenso entscheidend, welche Pflasterausführung gewählt wird: Reihen-, Diagonalverbände, Segmentbögen oder Pflasterornamente. Ein sorgfältig detaillierter Entwurf mit genauem Absteckplan gehen dem handwerklichen Schaffen voraus und erleichtern die Massenermittlung und die Arbeiten vor Ort: Vorbereitung des Untergrundes, Aufbau Tragschicht, Versetzen der Borde und Rinnen, Aufbringen des Pflastersandes und schließlich Pflastern der Fahrbahn und Gehwege einschließlich Abrammen und Fugenschluss. Dieser Prozess setzt großes Können und lange praktische Erfahrung voraus und erfreut die Nutzer viele Jahre lang. Die handwerklichen Techniken und Methoden des Pflasterns haben sich seit der Antike über lange Zeit herausgebildet. Dieser Erfahrungsschatz und die konstante Umsetzung der traditionellen Verlegeregeln bilden bis heute die Grundlage für eine handwerksgerechte Herstellung dauerhafter Pflasterflächen. [1]



Abb. 1: Naturstein-Reihenpflaster mit unterschiedlichen Steinbreiten im Kurvenbereich mit Aufweitung in Keilform (Foto Straßenbau Beißner)

1. Planung

Die Planung bildet die Grundlage für eine fachgerechte Herstellung von Natursteinpflasterflächen. Mit Beginn der Planung wird die Verkehrsbelastung ermittelt. Von hochbelasteten Belägen der Belastungsklasse 3,2 nach RStO 12 reichen die Anwendungsfälle bis zu wenig belasteten Terrassen. In der RStO 12 ist die Einteilung in Belastungsklassen nach der Beanspruchung vorgenommen worden. Man rechnet mit „Äquivalenten 10-t-Achsübergängen“, die im Nutzungszeitraum (30 Jahre) anzunehmen sind. [2]

In der ZTV Wegebau sind 3 Nutzungskategorien definiert worden. [3]

Nutzungskategorie N1

Begehbare, nicht mit Kfz befahrbare Flächenbefestigungen außerhalb von Flächen des Straßenverkehrs (z.B. Terrassen, Gartenwege, Wege im Hausgartenbereich, Sitzplätze in Parkanlagen).

Nutzungskategorie N2

Befahrbare Flächenbefestigungen für Fahrzeuge bis 3,5 t zulässiges Gesamtgewicht außerhalb von Flächen des Straßenverkehrs (z.B. Garagenzufahrten, PKW Stellplätze).

Nutzungskategorie N3

befahrbare Flächenbefestigungen wie Belastung 2, jedoch mit gelegentlichen Befahrungen mit Fahrzeugen bis 20 t zul. Gesamtgewicht mit Radlasten < 5 t außerhalb von Flächen des Straßenverkehrs (z.B. Pflege-, Instandhaltungs- und Rettungswege sowie Feuerwehr-, Garagen- und Gebäudezufahrten)

1.1 Pflasterbauweisen [2 / 4 /13]

Zu Beginn der Planung sind die Anforderungen an die Pflasterfläche, die sich aus der Beanspruchung, den örtlichen Gegebenheiten und der vorgesehenen Nutzungsdauer ergeben, zu definieren.

Die Einhaltung der einschlägigen und aktuellen Technischen Regeln ist eine zwingende Voraussetzung, Schäden zu vermeiden.

Für die Bemessung von Pflasterbauweisen sind die Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (RStO) maßgebend. Hierin werden in Abhängigkeit der Bemessungskriterien technisch sinnvolle und wirtschaftliche Bauweisen beschrieben.

Den standardisierten Bauweisen liegen Anforderungen an die Frostsicherheit und an die Tragfähigkeit der Verkehrsflächenbefestigung zugrunde.

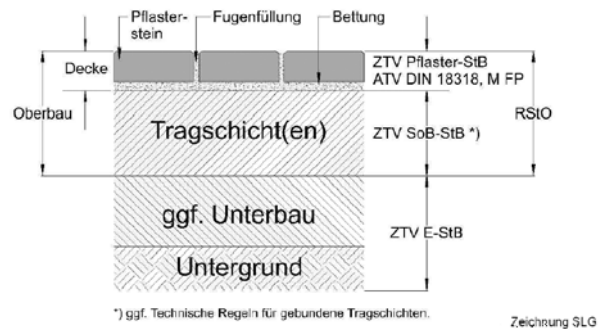


Abb. 2: Aufbau von Pflasterflächen und zugehörige Regelwerke [5]

Eine dementsprechende Planung umfasst den Untergrund, den Unterbau sowie den kompletten Oberbau aus Tragschicht, Bettungsschicht und Pflaster, definiert Anforderungen an die Tragfähigkeit, Wasserdurchlässigkeit, Anforderungen an die Baustoffe usw.

Für die Ausführung von Pflaster und Plattenbelägen sind insbesondere ATV DIN 18318 sowie TL- und ZTV-Pflaster-StB zu berücksichtigen. Außerhalb von Flächen des Straßenverkehrs können die „ZTV-Wegebau – Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen für den Bau von Wegen und Plätzen außerhalb von Flächen des Straßenverkehrs“ (2013) angewendet werden.

Die aktuelle DIN 18318 – 2019 wurde im Oktober 2019 veröffentlicht. Die bisherige (DIN 18318 - 2016) Norm war nur anwendbar für ungebundene Pflasterdecken und Plattenbeläge beim Verkehrswegebau; die neue DIN 18318 - 2019 gilt generell für das Befestigen von Flächen mit Pflastersteinen und Platten sowie Entwässerungsrinnen und ersetzt somit anteilig die ZTV-Wegebau.

Das neue Regelwerk DIN 18318 - 2019 enthält eine Vielzahl von Änderungen und Neuerungen, die zwingend bereits bei der Planung sowie Ausschreibung, dem Angebot und der Ausführung beachtet werden müssen und zwangsweise zur Änderung bisheriger Planungsgrundsätze sowie Änderung bisheriger Ausschreibungs- und Angebotstexte führen müssen.

- Die aktuelle DIN 18318 – 2019 gilt generell für das Befestigen von Flächen sowie Entwässerungsrinnen mit Pflastersteinen und Platten auf wasserdurchlässiger Unterlage sowie das Herstellen von Einfassungen
- in der aktuellen DIN 18318 – 2019 werden auch teilgebundene und gebundene Pflaster- und Plattenbauweisen behandelt

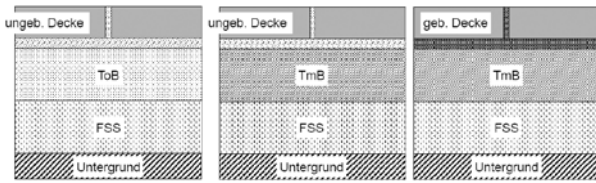


Abb. 3: Klassische Oberbaukonstruktionen im Straßenbau mit ungebundener und gebundener Ausführung der Pflasterdecke [5]

- Belagsausgleichsschichten / Pflaster- und Plattenbettungen werden in neuer Einbaustärke festgelegt
- die zulässigen Körnungen für die Pflaster- und Plattenbettungsmaterialien werden erweitert
- belastungsabhängig ändern / reduzieren sich die notwendigen Mindestneigungen der Pflaster- und Plattenoberflächen
- die zulässigen Abweichungen von der vorgegebenen Oberflächenneigung werden neu definiert
- es werden neue, anteilig höhere Ebenheitsanforderungen an die Belagsoberflächen der Pflaster- und Plattenoberflächen gestellt
- die Ausführung der Fundamente und Rückenstützen wird belastungsabhängig neu geregelt
- Belagsanschlusshöhen wurden neu festgelegt
- es werden besondere Anforderungen an den Oberbau bei überdachten und teilüberdachten Flächen zur Verminderung kapillar aufsteigender Feuchtigkeit gestellt

1.2 Bearbeitung und Bauweise [2]

Nach welchen Regeln die Flächenbefestigung aufgebaut und das Pflaster verlegt /versetzt wird, hängt von der gewählten Bearbeitung des Materials und der gewählten Bauweise ab.

Die **ungebundene Bauweise** ist die älteste Pflasterbauweise. Für Bettung und Fugenmaterial wird ein Mineralgemisch eingesetzt, das auf die Größe der Pflastersteine abgestimmt ist. Die Stabilität der Konstruktion entsteht allein durch den gepflasterten Verbund und eine ggf. angelegte Wölbung der Pflasterdecke. Temperaturspannungen und statische wie dynamische Belastungen können durch ungehinderte Verformung ausgeglichen werden. Die Pflasterdecke bleibt wasserdurchlässig.

Bei der **gebundenen Bauweise** wird der gesamte Aufbau der Flächenbefestigung ausschließlich aus gebundenen Schichten hergestellt. Bereits die Tragschicht ist zementär oder bituminös gebunden. Pflastersteine oder Platten werden in einem Bettungsmörtel mit einem rückseitig aufgetragenen Haftvermittler versetzt. Auch die Fugen werden nach Erhärtung der Bettung mit einem Fugenmörtel verfüllt. Die verwendeten Mörtelsysteme sind dabei auf die Eigenschaften des Pflastersteins und die er-

warteten Verkehrsbelastungen abgestimmt. Um Schäden beispielsweise durch thermische Prozesse zu vermeiden, müssen Bewegungsfugen angelegt werden.

Eine **Mischbauweise**, in deren Aufbau gebundene und ungebundene Schichten vorkommen, ist grundsätzlich möglich. Über die Anwendung muss im Einzelfall entschieden werden. Befahrbar Flächen in Mischbauweise sollten vermieden werden.

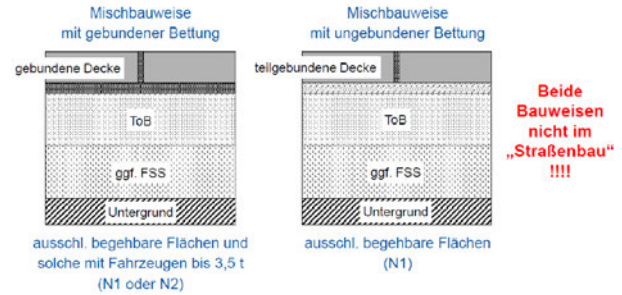


Abb. 4: Oberbaukonstruktionen in s. g. Mischbauweise nach ZTV-Wegebau (Zeichnung SLG) [5]

Spaltpflaster wird aus **gebrochenen Natursteinen** hergestellt. Hier wird Stein an Stein gesetzt, sodass sich die Steine an einzelnen Punkten berühren. Bei der ungebundenen Bauweise werden allein über diese Berührungspunkte Spannungen und Belastungen übertragen.

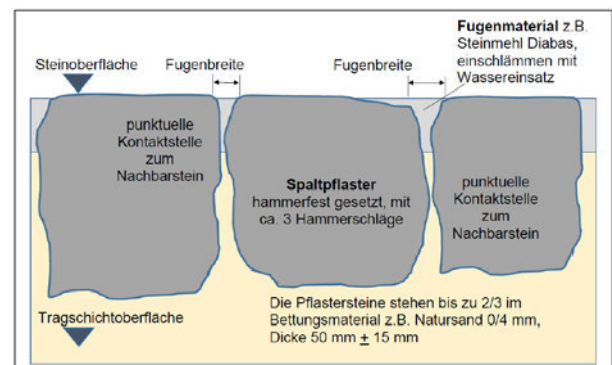


Abb. 5: Versetzen von Spaltpflaster Stein an Stein (Darstellung Netzwerk Pflasterbau) [11]

Im Unterschied zu den gebrochenen Natursteinen gibt es **gesägte Natursteine** mit entsprechend glatteren Kanten. Gesägte Natursteine werden mit Fuge verlegt. Um einen optimalen Kraftschluss mit dem Fugenmaterial zu erreichen, sollten die Nebenseiten grob bearbeitet ausgeführt werden (z. B. kugelgestrahlt, nicht diamantgesägt), bei gebundener Verlegung auch die Unterseite. So werden Kantenausbrüche vermieden. Um eine dauerhaft rutschfeste Oberfläche zu erhalten, können die Sichtflächen der Natursteinmaterialien kugelgestrahlt ausgeführt werden. Betonsteine und Klinker sind künstlich hergestellte Pflastersteine und im Vergleich zu Natursteinen eher weiche Materialien. Fuge und Bettung müssen darauf abgestimmt sein.

2. Lernen von den alten Meistern Grundlagen des Pflasterhandwerks

nach Siegfried Vogel, Sachverständiger für Natursteinpflasterbau, Freudenstadt. Als Sachverständiger für Natursteinpflasterbau und Autor des Buches „Die Kunst des Pflasterens mit Natursteinen“ hat er sich zur Aufgabe gemacht, sein Wissen für die aktuelle Praxis fruchtbar zu machen. [6]

2.1 Empfehlungen zur ungebundenen Bauweise

Das ungebundene Natursteinpflaster ist eine jahrtausendealte Kulturtechnik. Die hohen Erstellungskosten, im Vergleich zu anderen Materialien, lassen sich durch eine mitunter sehr viel längere Nutzungsdauer ausgleichen, wenn das Pflaster handwerklich korrekt ausgeführt wird. Vogel empfiehlt daher, bei der Auftragsvergabe nicht nur auf den günstigsten Preis, sondern vor allem auf die fachlich einwandfreie Arbeit Wert zu legen.



Abb. 6: unregelmäßiges Fugenbild Natursteinpflaster in Splitt gesetzt. Herausgesaugte und herausgespülte Fugenfüllung durch Reinigungsprozess und Regenwasser (Foto Sopro) [7]

Die häufigste Ursache für Pflasterschäden sieht Vogel bei der ungebundenen Bauweise in zu breiten Fugen. Um

Drehung oder Verschiebung der Steine zu vermeiden, müssen diese eng aneinandergesetzt werden.



Abb. 7: Natursteinpflaster in Natursand gesetzt und obere Fugenfüllung mit Steinmehl Diabas (Foto Steinkunst Schnitzler) [11]

Eine alte Pflasterweisheit besagt: „Ein Stein schützt den anderen Stein.“ Dabei bestimmt die „Unebenheit der Bruch- und Spaltfläche die Fugenbreite“, schreibt Vogel. Die Kontaktpunkte sind „Gelenke, um welche sich der Stein minimal drehen kann“. „Schubkräfte, wie auch Druckkräfte aus der thermischen Ausdehnung“ werden direkt von einem Stein zum nächsten geleitet und die Fuge selbst bleibt druckfrei.

Ein weiterer wichtiger Punkt, den Vogel bei der Planung von Pflasterflächen als bedenkenswert darstellt, ist das Gefälle. Liegen die Pflasterbeläge unter dem Minimum-Gefälle, spült das Wasser die Fugen leer, Steine kippen und der Pflasterbelag wird geschädigt. Bei einseitigem Gefälle sollte daher eine Neigung von mindestens 3 % und bei Diagonalgefälle von mindestens 1,5 % vorliegen. „Ferner ist darauf zu achten, dass bei Wannen kein Querneigungswechsel angelegt wird.“, schreibt er. „Selbst ein einseitiges Gefälle sollte mit einem leichten Überbogen angelegt werden, da diese kaum sichtbare Krümmung eine außerordentlich stabilisierende Wirkung auf die Pflasterdecke hat.“

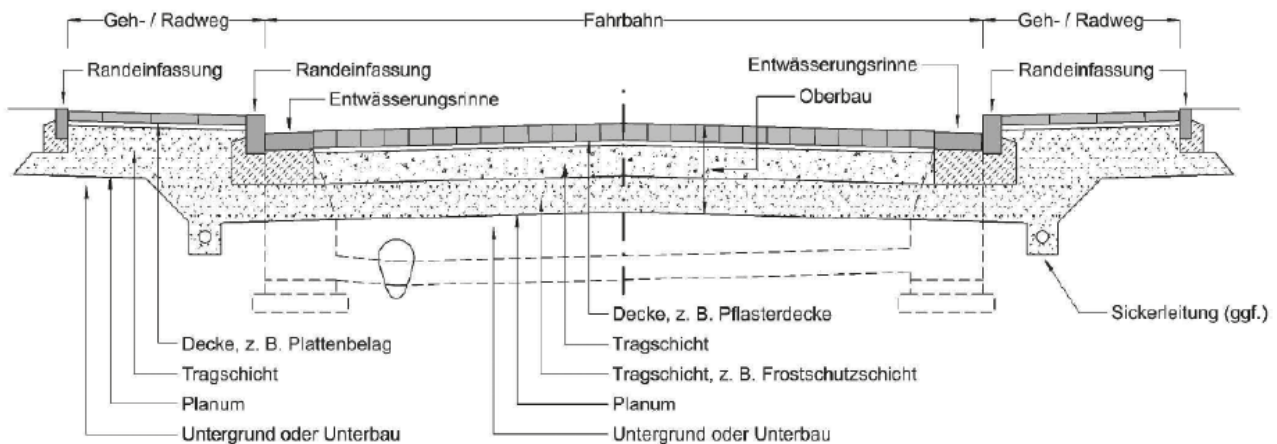


Abb. 8: Beispielhafter Aufbau einer Pflasterbefestigung in geschlossener Ortslage mit Entwässerungseinrichtungen (Zeichnung SLG für ZTV Pflaster StB-2019) [5]

2.2 Empfehlungen zu gesägten Natursteinen

Während Siegfried Vogel empfiehlt, bei gebrochenem Natursteinpflaster buchstäblich Stein an Stein zu setzen, weist er bei Materialien mit geraden Kanten (gesägte Natursteine, Beton und Klinker) auf die Notwendigkeit einer Fuge hin.



Abb. 9: Verschobener gesägter Natursteinbelag als Folge von fehlender Fugenfüllung und entsprechend hohen Verkehrslasten (Foto Sopro) [7]

Durch die planen Flanken berühren sich die Steine ganzflächig und nicht, wie bei gebrochenen Natursteinen, nur an einzelnen Punkten. Die minimalen Bewegungen der Steine durch Verkehr und thermische Dehnung können dabei nicht ausgeglichen werden und verursachen Kantenabbrüche.

Trotz der Notwendigkeit einer Fuge sollte diese laut Vogel auch bei Formsteinen nicht zu groß bemessen sein, da sonst durch Verkehrsbelastung Verschiebungen auftreten. Auch im Sinne der Barrierefreiheit kritisiert er die maximal zulässige Fugenbreite nach geltenden Normen

als „unfallgefährdend“. Nicht nur bezüglich der Fugenbreite empfiehlt Vogel, einen möglichst detaillierten Ausschreibungstext für das geplante Bauvorhaben zu erstellen, der die angestrebten Qualitäten der Pflasterfläche konkretisiert.

2.3 Hinweise zum Aufbau

Zur Bemessung der Tragschichten sind die Verkehrsbelastung und das Verkehrsaufkommen zu berücksichtigen. Eine Nutzung als Einbahnstraße mit spurfahrendem Verkehr bringt beispielsweise spezielle Belastungen mit sich, die bereits bei der Planung berücksichtigt werden müssen. Die Konstruktion des Oberbaues kann nur mangelfrei auf einem tragfähigen und ausreichend wasserdurchlässigen Bodenmaterial ausgeführt werden. Gegebenenfalls sind ein Bodenaustausch zur Stabilisierung des Untergrundes und Maßnahmen zur Wasserabführung notwendig.

Die Fugenbreiten, Fugenmaterial, Steingrößen und die Steinbearbeitung sind untereinander abzustimmen. Dabei sind die Verkehrsbelastung und das Verkehrsaufkommen zu berücksichtigen. Um eine filterstabile Konstruktion zu erreichen, müssen Körnung von Unterbau, Tragschicht und Bettung zueinander passen. Die Hohlräume der unteren, durchlässigeren Schicht mit größerer Körnung müssen stets geringer dimensioniert sein als die kleinste Korngröße der darüber liegenden Schicht. Auch hier werden laut Siegfried Vogel immer wieder Fehler gemacht.

3. Natursteinpflaster erhalten

Empfehlungen für Sanierungskonzepte nach Claus Peter Spuhn, Sachverständiger für Natursteinpflasterbau, Prenzlau [8]

Bestehende Pflasterflächen erfüllen nicht immer alle Anforderungen, die eine diverse Stadtgesellschaft an sie stellt. Die Lösung muss nicht unbedingt in einer kompletten Neuplanung liegen. Gerade wenn das Gesamtbild eines historischen Bereiches erhalten werden soll, kann die Sanierung einer Pflasterfläche oder ein Teilumbau sinnvoll sein. Die Untersuchung und Einschätzung des Bestandes durch qualifizierte Fachleute wie Claus Peter Spuhn ist in jedem Fall ein guter Ausgangspunkt für weitere Planungen.

Die Sanierung von Natursteinpflasterstraßen ist nur von ausreichend erfahrenen Pflasterern fachgerecht ausführbar. Dennoch heißt sanieren nicht, dass in jedem Fall die Qualität einer neu gebauten Straße erreicht wird. Das bedeutet, dass verantwortbare Kompromisse eingegangen und Prioritäten gesetzt werden: Welche Anforderungen soll die sanierte Fläche erfüllen?

Wie lange soll sie halten? Wie viel Geld ist uns eine Sanierung wert?

3.1 Das Sanierungskonzept

Das Sanierungskonzept klärt die Ursachen der Schäden oder Mängel und zeigt auf, wie diese beseitigt werden können. Unterschiedliche Schadensursachen legen unterschiedliche Sanierungsmethoden nahe. Grundsätzlich ist die Sanierung von Pflasterstraßen in zwei Kategorien eingeteilt: Grundhafte Sanierung und Sanierung im Bestand.

Bei einer Sanierung im Bestand werden zunächst die vorhandenen Schadstellen dokumentiert und die Ursachen der Schäden ermittelt. Dann sind die Schadstellen hinsichtlich des Umfangs, der Form und der Lage in der Pflasterfläche zu beurteilen, um sie später reparieren zu können.

Sowohl im Bereich der Schadstellen und im Bereich der nicht schadhafte Flächen werden Untersuchungen vorgenommen, um die Ergebnisse vergleichen zu können. In den Testbereichen wird jeweils Pflaster aufgenommen. Das herausgenommene Pflaster ist bezüglich der Bearbeitung und Größe zu bewerten. Die Schadensbilder können auch einen Hinweis auf mögliche Schadensursachen geben.

Nachdem das Pflaster aufgenommen wurde, sollten Baugrunduntersuchungen sowie eine Wasserdurchlässigkeitsprüfung im Feldversuch durchgeführt werden. Danach sind Proben vom Fugen- und Bettungsmaterial zu entnehmen und im Labor die Kornzusammensetzung zu prüfen.

Eine grundhafte Sanierung bedeutet, dass das bestehende Pflaster komplett aufgenommen wird und ein neuer konstruktiver Aufbau erfolgt. Zunächst ist eine Baugrunduntersuchung erforderlich. Die Beanspruchung und Belastung der Pflasterfläche ist zu prüfen und zu berücksichtigen. In diesem Zusammenhang ist auch die

Wiederverwendung des vorhandenen Pflasters mit einzu-beziehen.

Wenn das vorhandene Pflaster wieder verwendet werden soll, ist zu prüfen, ob alle Pflastersteine wieder verwendet werden können. Das bedeutet, dass ein Zusammenhang zwischen den Steinformen und den aufgetretenen Schäden geprüft wird. Sollte sich ergeben, dass einige Steine auszuwechseln sind, müssen sich die neu verwendeten Steine optisch anpassen.

Die grundhafte Sanierung einer Pflasterstraße entspricht, fachlich gesehen, dem Neubau einer Pflasterstraße. Dabei sollte grundsätzlich beachtet werden, dass durch den Neubau mit dem vorhandenen Pflaster oder mit einem neuen Pflaster das Gesamtbild des Stadtraumes nicht beeinträchtigt wird. Das bedeutet auch, dass ein neues Pflaster sich dem vorhandenen Pflaster und den örtlichen Gegebenheiten optisch anpassen sollte.

Die Untersuchungsergebnisse für eine Sanierung im Bestand bilden die Grundlage für die Entscheidung, in welchem Umfang diese Sanierung ausgeführt wird. Dabei sind auch die ermittelten Kosten in die Entscheidung einzubeziehen. Nach vorliegenden Erkenntnissen wird überschlägig davon ausgegangen, dass bei einem Schadensumfang von mehr als 40 % der zu betrachtenden Gesamtfläche aus Kostengründen ein Neubau in Frage kommen kann.

Eine dauerhafte Nutzungsfähigkeit kann nur gewährleistet werden, wenn Instandhaltungsmaßnahmen zur Schadensbeseitigung regelmäßig vorgenommen werden. Man sollte nicht warten, bis der Schadensumfang so groß wird, dass die Nutzungsfähigkeit eingeschränkt ist. Dann werden entweder durch die Schadensbeseitigung oder durch einen Neubau die entsprechenden Kosten erheblich größer.

3.2 Planungs- und Beteiligungsprozess

Eine Ermittlung der Schadensursachen durch Sachverständige gibt Aufschluss, ob eine Sanierung im Bestand möglich oder eine grundhafte Sanierung bzw. ein Neubau erforderlich ist. So kann auf technischer Basis eine nachvollziehbare Grundlage für die Gespräche im Rahmen des Beteiligungsprozesses geschaffen werden.

Bei einem Neubau von Pflasterflächen sollten die historischen Gegebenheiten berücksichtigt werden. Pflastermaterial, Farbe und Verband sollten so ausgewählt werden, dass das Gesamtbild des Stadtraums sinnvoll ergänzt und nicht beeinträchtigt wird.

Eine Gestaltungssatzung oder Leitlinie zur Oberflächengestaltung kann Grundlage für die Gestaltung von Pflasterflächen sein. Solche Werkzeuge helfen, alle Anforderungen an die Oberflächen des öffentlichen Raumes in einer Stadt oder einem Bereich langfristig zu definieren. Vorgaben der Städtebauförderung sind ggf. zu beachten (Pflaster, Asphalt nur nach Absprache).

Die Besichtigung von Referenzobjekten kann die Entscheidungsfindung erleichtern. Hier können Planer

(Architekt mit Ingenieurbüro), Politische Gremien, eingebundene Anwohner/Eigentümer und Interessenverbände für Barrierefreiheit bereits einbezogen werden. Folgende Themen sollten bei der Besichtigung beachtet werden: Material (Ästhetik, Farbe, Körnung, Oberflächen- und Kantenbearbeitung), Verlegung (Gebundene oder ungebundene Bauweise, Fugenbreite), Bauablauf (Lieferengpässe, Zufriedenheit der Anlieger und des Bauherrn). Im Rahmen der Planung sind Verkehrsbelastung und das Verkehrsaufkommen zu berücksichtigen. Dementsprechend muss die Konstruktion konzipiert und der tragende Oberbau bemessen werden.

Bei Gestaltung und Planung von Pflasterflächen muss ein ausreichendes Gefälle angelegt werden. Nur so kann eine Pfützenbildung vermieden werden, die Schäden im Belag verursachen kann. 3 % im Quergefälle und 1,5 % im Diagonalgefälle sollten nicht unterschritten werden. Ein leichter Überbogen hat auch bei einseitigem Gefälle eine stabilisierende Wirkung auf die Pflasterdecke.

Der Begriff Barrierefreiheit steht nicht nur für gute Geh- und Berollbarkeit, sondern auch für visuelle und taktile Leitsysteme. Auch diese Aspekte sollten bei der Planung mitgedacht werden.

Betroffene Anwohner/Eigentümer und Bürger am Planungsprozess beteiligen:

1. Vereine und Verbände von Interessengruppen wie Senioren, körperlich Beeinträchtigte vorab befragen (welche Probleme sehen sie, welche Lösungsmöglichkeiten ggf.?)
2. Bauvorhaben rechtzeitig und verständlich gegenüber allen Bürgern kommunizieren, den Eigentümern/Anliegern einen möglichst genauen Ablaufplan vorlegen und diesen einhalten, um Beeinträchtigungen voraussehbar und gering zu halten
3. Zusätzliche Informationsformate und Aufwertungsmaßnahmen während der Bauphase anbieten (z. B. Baustellenzeitung, kostenlose Fußmatten gegen Verschmutzung, Veranstaltungsprogramm, um trotz Baustelle Besucher anzulocken)

Die Einhaltung des Zeitplans ist für alle Beteiligten und Betroffenen wichtig, daher auf sorgfältige Planung, aber auch auf ausreichende Zeitfenster für die einzelnen Leistungen achten. Auch die Firmen müssen planen und eine Verzögerung zieht leicht weitere nach sich.

In der Planungsphase sollte eine Musterfläche in Auftrag gegeben werden (gegen Bezahlung), um folgende Merkmale der Baumaßnahme zu definieren und zu überprüfen: Farbe (Variationen) und Mineralstruktur, Oberflächenbearbeitung und Kantenbearbeitung, Fugenbreite, Farbe und Rutschfestigkeit bei Trockenheit und Nässe.

4. Ausschreibung und Vergabe

Ausschreibungstexte für die Erstellung von Pflasterungen sollten die Leistungen umfangreich und erschöpfend

darstellen, Jede Teilleistung ist zu beschreiben. Je ausführlicher die Beschreibung der Leistung im Leistungsverzeichnis, je genauer müssen die Anbieter kalkulieren und eine gute Basis für die Bauüberwachung durch die Bauleitung ist gelegt.

Möglicherweise bietet es sich an, Ausschreibungsunterlagen von externen Sachverständigen prüfen zu lassen, um optimale Auslegungen der Richtlinien und Normen zu gewährleisten.

1.6.80	Pflaster 19x14x13cm "Bielefelder Altstadt" versetzen Natursteinpflaster mit den Maßen 19x14x13 cm in Reihen mit einer Fugenbreite von 1 cm in einer ca. 3 cm dicken Pflasterbettung (in verdichtetem Zustand gemessen), verlegen. Das Pflaster einschlänmen, abkehren, säubern und überschüssigen Sand entfernen.	Menge: 50 m ²	EP:	GB:
1.6.90	Pflaster 19x9x10cm "Bielefelder Altstadt" versetzen Natursteinpflaster mit den Maßen 19x9x10 cm in Reihen mit einer Fugenbreite von 1 cm in einer ca. 3 cm dicken Pflasterbettung (in verdichtetem Zustand gemessen), verlegen. Das Pflaster einschlänmen, abkehren, säubern und überschüssigen Sand entfernen.	Menge: 200 m	EP:	GB:
1.6.100	Zulage Bogenbereich Zulage zur strahlenförmigen Pflasterverlegung in Bogenbereichen von Einmündungen.	Menge: 20 m ²	EP:	GB:

Abb. 10: Ausschreibungstexte der Stadt Bielefeld zu Straßenbau, kleinteilige Arbeiten an Pflasterflächen aus Naturstein: Großpflaster „Bielefelder Altstadt“ [9]

1.3.40	Kleinpflaster, aufnehmen und lagern Kleinpflaster, in Sandbettung verlegt, i. M. 14 cm dick, aufnehmen und säubern. Das brauchbare Pflaster innerhalb der Baustelle lagern. Das übrige Aufbruchgut geht in das Eigentum des AN über und ist einer Wiederaufbereitungsanlage für Altbaustoffe zuzuführen.	Menge: 200 m ²	EP:	GB:
1.3.50	Fläche aus Natursteinkleinpflaster herstellen Pflasterdecke aus Natursteinkleinpflaster DIN EN 1342 auf einem ca. 3 cm dicken Pflasterbett (in verdichtetem Zustand gemessen) herstellen. Das Pflaster einschlänmen, abkehren, säubern und überschüssigen Sand entfernen. Anmerkung: Die Lieferung der Steine erfolgt gesondert.	Menge: 200 m ²	EP:	GB:
1.3.60	Gebrauchtes Kleinpflaster vom Lagerplatz holen Gebrauchtes Kleinpflaster von Lagerflächen nach Angabe des AG mit einem Förderweg bis 10 km zur Einbaustelle bzw. Zwischenlagerstätte transportieren und abladen. Das Aufladen erfolgt durch Mitarbeiter des Bauhofes. Das Säubern und Sortieren erfolgt auf der Einbaustelle bzw. dem Zwischenlager. Nicht wieder verwendbares Material ist zu beseitigen. Die Abrechnung erfolgt nach verlegter Pflasterfläche.	Menge: 200 m ²	EP:	GB:

Abb. 11: Ausschreibungstexte der Stadt Bielefeld zu Straßenbau, kleinteilige Arbeiten an Pflasterflächen aus Naturstein: Kleinpflaster in Sandbettung [9]

Im Interesse der Langlebigkeit sollte in hochwertigen Untergrund, hochwertiges Material und hochwertige Handwerksleistungen investiert werden.

Neben den Erkenntnissen aus der vorangegangenen Bestandsuntersuchung sollten auch Erfahrungswerte aus vergleichbaren Bauvorhaben einbezogen werden. Die fachliche Eignung der Firmen birgt erfahrungsgemäß eine der größten Schwierigkeiten, daher ist diese sorgfältig zu prüfen (evtl. durch Praxistest) und nicht allein nach dem Preis zu entscheiden.

Bei Bauvorhaben, die den Bereich des Spaltpflasters betreffen, sowie bei historischen Belägen, entscheidet über

die Qualität grundsätzlich der ausführende Pflasterer/Steinsetzer. Jede Planung, Idee oder Gestaltung diesbezüglich kann nur von entsprechenden Fachleuten zufriedenstellend umgesetzt werden.

Ihre Qualifikation sollte mindestens folgendes gewährleisten:

4.1 Segmentbogenpflasterung (alle Facetten nach F. W. Noll) [7]:

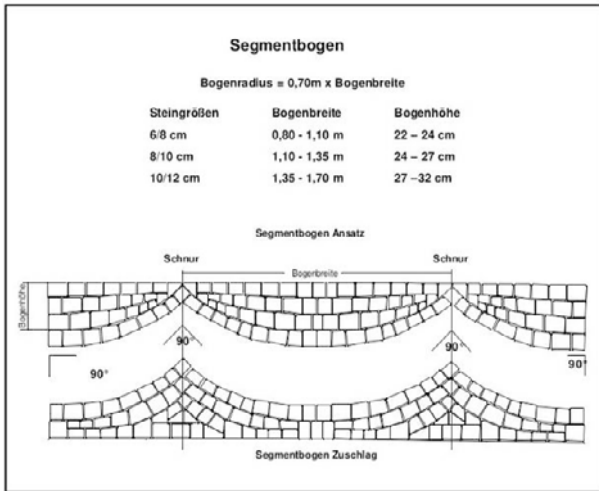


Abb. 12: Beispiel Segmentbogenrößen nach Steinrößen und Bogenbreite und Bogenhöhe (Foto ABZ Mellendorf) [10]

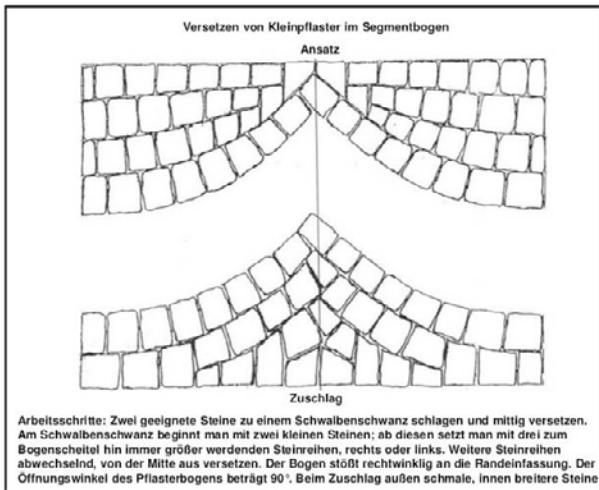


Abb. 13: Anfang und Ende beim Versetzen von Kleinpflaster im Segmentbogen (Foto ABZ Mellendorf) [10]

Ende des 19. bzw. Anfang des 20. Jahrhunderts entwickelte der damalige bayrische Hofpflasterer Meister Friedrich Wilhelm Noll, Buchautor und Dozent an der Pflasterer-Schule München, eine revolutionäre Versetztechnik: den Segmentbogen. Das Segmentbogenpflaster ist eine sehr attraktive und stabile Pflasterung. Durch die

Verzahnung der Bögen können auch große Lasten gut verteilt werden. [7]

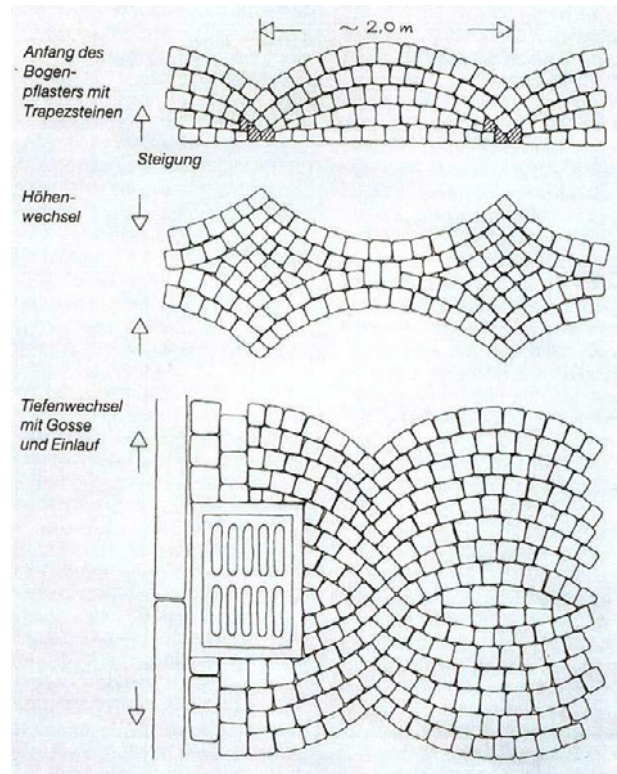


Abb. 14: Beispiele Segmentbogen Tiefenwechsel mit 2-reihiger Gasse und Einlauf (bessere Lösung ist eine umlaufende Saumreihe um die Einlaufroste) und Höhenwechsel – hier mit Raute

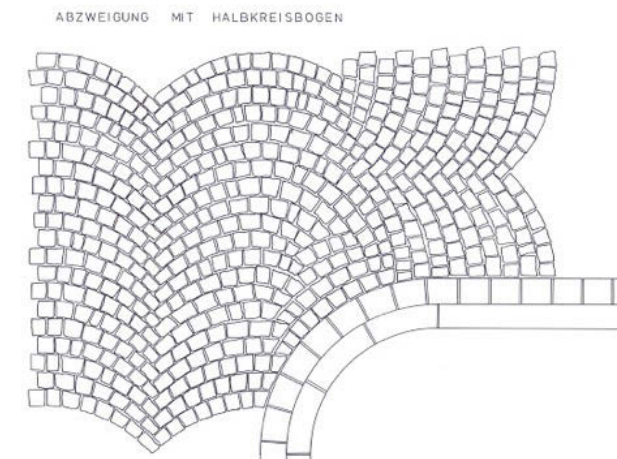


Abb. 15: Segmentbogen – Seitenanschluß – Abzweigung mit Halbkreisbogen [10]



Abb. 16: Segmentbogen – Seitenanschluß – Abzweigung mit sogenanntem Kirchenfensterbogen (Foto Steinkunst Schnitzler) [11]



Abb. 19: Diagonal-Reihenpflaster mit Bindersteinen, Großpflaster aus Sandstein (Foto Straßenbau Beißner)

4.2 Reihenpflasterung:

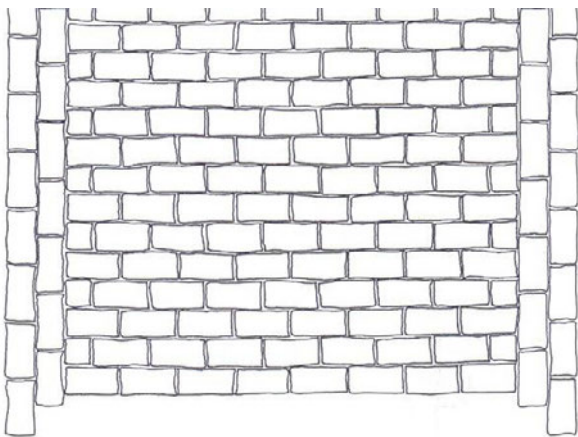


Abb. 17: Reihenpflaster mit Bindersteinen, hier 1/2- Versatz, 1/3-Versatz sollte bei ungleichen Steinlängen erreicht werden [10]

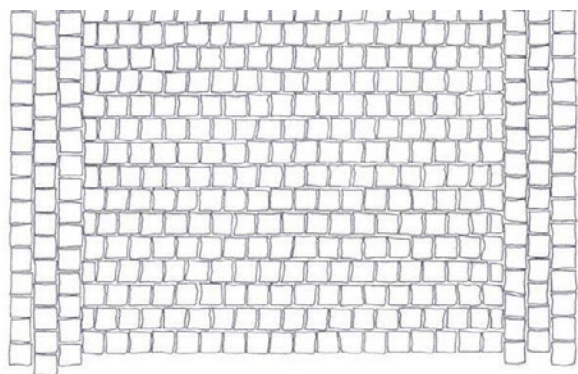


Abb. 18: Reihenpflaster mit ca. Würfelsteinen, hier 1/2- Versatz, 1/3-Versatz sollte bei ungleichen Steinlängen erreicht werden [10]

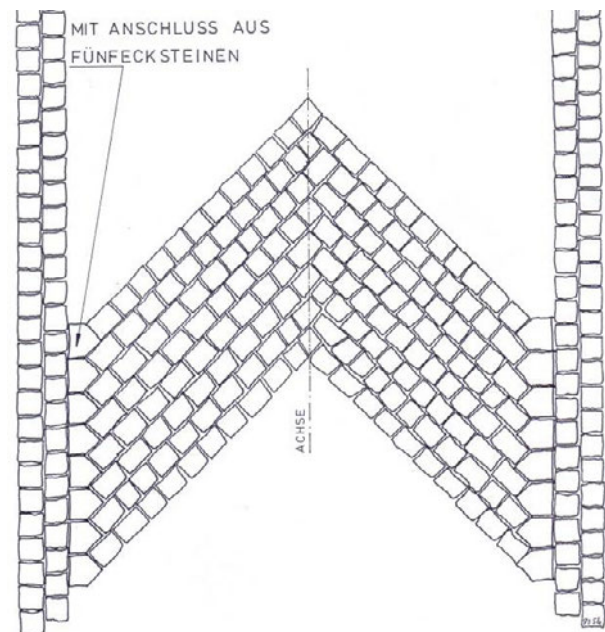


Abb. 20: Diagonal-Reihenpflaster mit Großpflaster und Anschluss mit Fünfecksteinen (Bischofsmütze) [10]

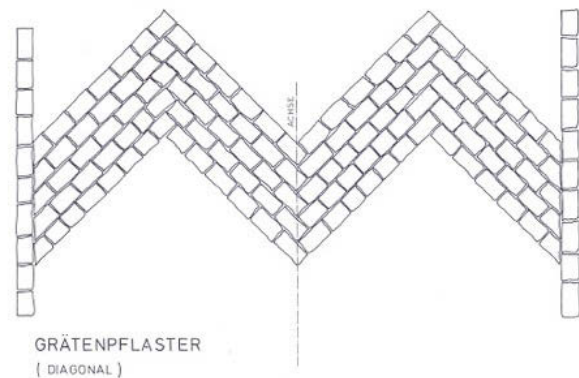


Abb. 21: Diagonal-(Gräten-)Reihenpflaster mit Großpflaster, Anschluss mit Trapezsteinen [10]

4.3 Schuppe/Halbschuppe

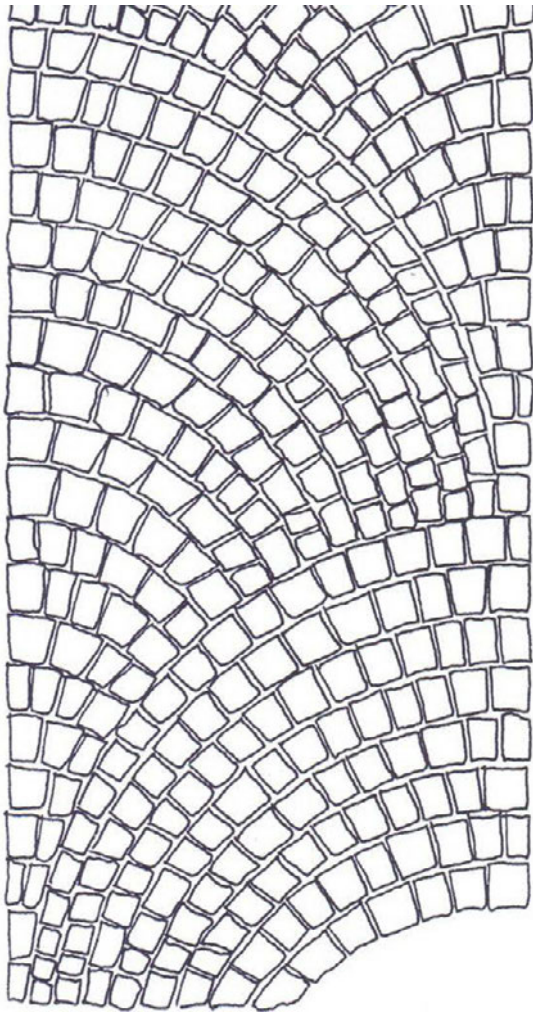


Abb. 22: Schmalen Weg mit Mosaikpflaster - Halbschuppe – [10]

Als schlechtes Beispiel für eine Natursteinpflasterung mit Schuppe hier das Werbefoto eines Naturstein-Fachhandels. Dem Kunden wird ein Schuppenpflaster gezeigt (natürlich wie man es nicht machen soll). Aber versteht das auch Jeder? Denn hier wird es ja als perfekt verkauft.



Abb. 23: Werbefoto über Granit Mosaik-Schuppenpflaster mit Basalt-Mosaikstein als Kontrast [11]

4.4 Wildpflasterung, Feldsteinpflaster, Lesepflaster

Zu den natürlichen Pflastersteinen gehören auch unbebaute Findlinge und Lesesteine, die häufig bei der sogenannten Katzenkopfpflasterung oder Rundsteinpflasterung angewendet werden. Lesesteine werden als „Wilder Verband“ oder Passe-Verband (Steine müssen in die Lücke zwischen zwei Nachbarn) versetzt.



Abb. 24: Wildpflasterung mit Polygonalpflaster z.B. im Wasserbau als Böschungs- und Uferbefestigung oder im ländlichen Wegebau [11]

Die Ausschreibung der Pflasterarbeiten erfolgt nach Material, Farbe, Bearbeitung und Verlegung gemäß Bemusterung (Musterfläche). Ein Foto der Bemusterung kann beifügt werden. Vor der Angebotsabgabe sollten sich die entsprechenden Anbieter die örtlichen Gegebenheiten und die Musterfläche ansehen.

Folgende Unterlagen sollten in der Ausschreibung gefordert und nach Eingang überprüft werden: Leistungsverzeichnis, Leistungserklärungen in deutscher Sprache (zu CE-Kennzeichnung), Prüfzeugnisse gemäß einschlägiger E-Norm. Mit dem Angebot, oder nach Aufforderung, sind zwei Mustersteine je Farbwahl abzugeben, die die Bearbeitung aller Seiten sowie die Eigenheiten in Farbstreuung und Körnung des angebotenen Materials und die Qualität des angebotenen Materials wiedergeben. Gemäß VOB ist eine Nachfrist für fehlende Unterlagen zu gewähren.

5. Material

Bereits gebrauchte Pflastersteine können aufgenommen und wiederverwendet werden. Gebrauchte Steine sind qualitativ in der Regel hochwertig, da sie oft noch mit der Hand bearbeitet wurden und beispielsweise ihre Frostbeständigkeit bereits bewährt haben. Mit der Materialität kann auch die Ästhetik einer bestehenden Pflasterung erhalten werden, auch wenn beispielsweise die Oberflächen im Sinne der Barrierefreiheit überarbeitet werden. Als Bettung sollte bei Natursteinbelägen jedoch kein Recyclingmaterial verwendet werden. Durch abweichende Materialzusammensetzungen kann die Standfestigkeit hier nicht garantiert werden. Für das Versetzen von Spalt-pflaster, sowie für gebrauchte Steine, Lesepflaster usw.

haben sich erdfeuchte, gewaschene Natursande bzw. Kiessandgemische (Rundkorn) 0/2 mm, 0/4 mm bis 0/8 mm in der Praxis seit Jahrhunderten bewährt.

Regional gewonnene oder produzierte Baumaterialien sind nicht unbedingt teurer als importierte, bringen aber verschiedene Vorteile mit sich. Besonders Naturstein kann mit geringem Energieverbrauch gewonnen werden, ein langer Transportweg wirkt sich jedoch negativ auf die CO₂-Bilanz aus. Die Verwendung regionaler Materialien ist also ein Beitrag zum Klimaschutz, das gleiche Material ist für nachfolgende Bauabschnitte oder Reparaturen jederzeit lieferbar, Umplanungen und Sonderformate können schnell berücksichtigt werden. Zudem werden Arbeits- und Ausbildungsplätze sowie die Kaufkraft in der Region gefördert.

Bei der Benennung des Materials darf kein regionaler Bezug, keine Bezugsquelle, kein Hersteller oder Lieferant und kein Handelsname genannt werden. Es ist jedoch möglich, im Ausschreibungstext den maximalen CO₂-Ausstoß festzulegen.

5.1 Bearbeitung und Verlegung

Die Fugenbreiten, Fugenmaterial, Steingrößen und die Steinbearbeitung sind untereinander abzustimmen. Zudem ist die Stabilität durch entsprechendes Material für die Bettung und die Tragschicht zu gewährleisten.

Von der gewählten Bearbeitung (geschnittene Natursteine/Formsteine/Klinker oder Spaltpflaster) und Bauweise (gebundene, Mischbauweise oder ungebundene Bauweise) hängt ab, was bei der Verlegung oder Setzung im Einzelnen zu beachten ist und in der Ausschreibung festgelegt werden sollte, um eine fachgerechte Ausführung sicherzustellen.

Detaillierte Informationen enthalten beispielsweise die Veröffentlichungen des Vereins Qualitätssicherung Pflasterarbeiten, mit Titeln wie „Zehn Qualitätsmerkmale für ungebundene Pflasterflächen aus Naturstein“ auf www.qspflaster.de.

Grundsätzlich sind alle Pflasterflächen mit einem Saumstein einzufassen, d.h. überall dort, wo Pflasterflächen enden, also an Begrenzungen, Mauern, Bordsteinen, Einbauten, sowie an Anschlüssen zu anderen Verkehrsflächen sind Ein- und Zweizeiler als Bund zu versetzen. Die Kosten dafür sind in den Pflasterverlegepreis einzurechnen.

Neben Angaben zu Material und Bearbeitung ist bei Pflasterungen auch zu beachten, welche Werkzeuge entsprechend der Steingrößen bei der Verlegung einzusetzen sind, d. h. welcher Pflasterhammer verwendet wird und ob beispielsweise Handrammen, Explosivrammen oder Rüttelplatten verwendet werden sollen.

Außerdem werden im Ausschreibungstext technische Daten der Pflasterfläche beschrieben: die maximale Wasseraufnahme, Mindestdruckfestigkeit und Biegefestigkeit. Es sollte auch darauf hingewiesen werden, dass im Rahmen der Bauausführung Wasserdurchlässigkeits-

prüfungen als Feldversuch zur Ermittlung der Wasserdurchlässigkeit durch die Bauüberwachung durchgeführt werden.

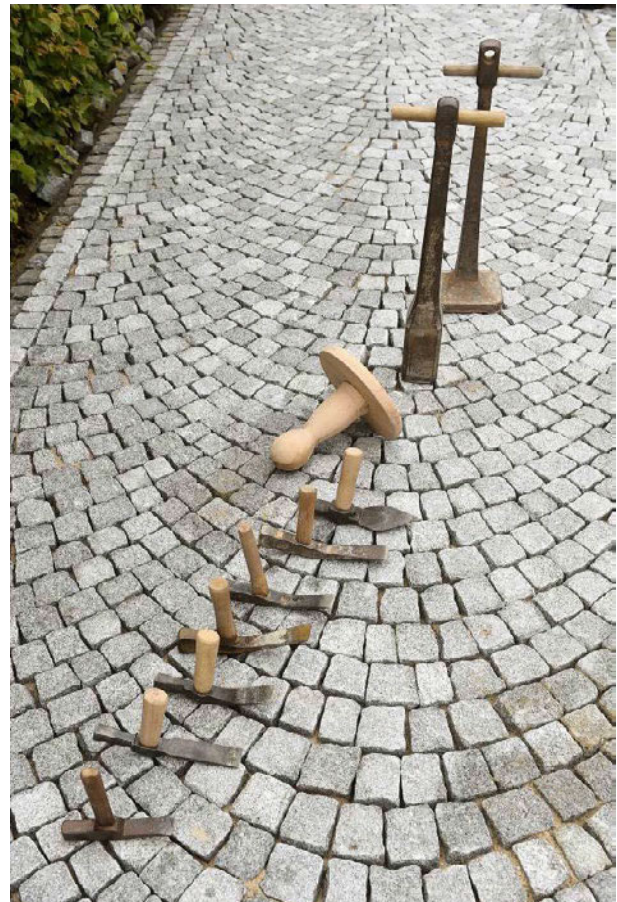


Abb. 25: zum Handwerkszeug eines Steinsetzers gehören: diverse Pflasterhämmer, Pflasterhocker, Rammen sowie: Spalthammer, Fäustel, Meißel, Schnurnagel, Schnur, Wasserwaage, Messband, Zollstock, Pflasterheber – Steinzieher, Besen, Schubkarre und Rüttelplatte (Foto Netzwerk Pflasterbau) [11]

5.2 Baudurchführung und Baubegleitung

Vor Baubeginn sollte ein Vorortgespräch mit allen Beteiligten, d. h. Auftraggeber, Planer, Bauüberwacher, beauftragte Baufirma, erfolgen.

Die Bauüberwachung ist sehr ausführlich auszuführen und zu dokumentieren. Die Baudurchführung sollte in allen Phasen begleitet und die Qualität überwacht werden, um eine mängelfreie Abnahme sicherzustellen.

Bei den Pflasterarbeiten ist darauf zu achten, dass die Vorgaben der Ausschreibung bezüglich Material, Bearbeitung und Verlegung eingehalten werden.

Jeder Nachunternehmer sollte vom vorleistenden Unternehmer die Standfestigkeit des Unter- bzw. Oberbaus prüfen lassen, Asphalttragschichten sind zusätzlich auf Hohlraumgehalt zu prüfen.

Sollten die Baugrundverhältnisse differenziert sein, so sind zusätzlich Tragfähigkeitsprüfungen und Wasserdurchlässigkeitsprüfungen auf dem Planum durchzuführen. Nach dem Einbau der Tragschichten sollten Wasserdurchlässigkeitsprüfungen als Feldversuch vor Ort durchgeführt werden.

Gebunden hergestellte Pflasterflächen sollen zur Vermeidung von Schäden mindestens 12 Tage nicht belastet werden.

Die Fugenverfüllung muss schrittweise über einen längeren Zeitraum fortgeführt werden, überrollende Reifen tragen zur Verdichtung bei.

5.3 Laufende Instandhaltung

Instandhaltungsmaßnahmen sind erforderlich um die dauerhafte Nutzungsfähigkeit zu gewährleisten. Schon bei der Planung sollte bedacht werden, dass diese von Fachpersonal oder einem Fachbetrieb betreut werden müssen.

Es sind regelmäßige Begehungen vor Ort und Dokumentationen durchzuführen. Dabei sollte dokumentiert werden, ob Mängel oder Schäden aufgetreten sind. Rechtlich gesehen, gilt als Mangel, was die Nutzungsfähigkeit nicht oder nur geringfügig beeinträchtigt. Dabei kann es sich zum Beispiel um Spurrinnenbildung handeln. Schäden können die Nutzbarkeit beeinträchtigen.

Grundsätzlich sind die Mängel- und Schadensursachen zu ermitteln. Damit schafft man die Grundlage für eine fachgerechte Sanierung, die einen langfristigen Erhalt der Pflasterflächen ermöglicht.

Nachträgliche Eingriffe in die Pflasterdecke sollten nach Möglichkeit vermieden werden, da reparierte Stellen oft Schwachstellen sind. Dies gilt besonders bei Flächen in gebundener Bauweise. Häufig ist es schwer, qualifizierte Handwerker für solche Kleinaufträge zu gewinnen und die Qualität der Ausführung leidet darunter. Auch für Reparaturarbeiten unbedingt fachgerechte Qualität von Material und Handwerksleistung verlangen, da sonst das gesamte Pflaster im Bereich leidet. Sollten bei bestimmten Schäden Steine ausgetauscht werden, so sind die neuen Steine dem Bestand anzupassen. So wird das Gesamtbild der Fläche nicht beeinträchtigt.

Bei einer maschinellen Reinigung mit Kehr- und Spülmaschinen, Hochdruckreinigern und/oder Spülfahrzeugen ist bei Pflasterflächen in ungebundener Bauweise eine Ausspülung des Fugenmaterials kaum zu verhindern.

Das Nachfüllen ist eine notwendige Instandhaltungsmaßnahme. Besonders bei ungebundener Bauweise mit gesägten Natursteinen oder Formsteinen treten bei ausgewaschenen Fugen schnell Schäden auf.

6. Herstellung von Pflasterflächen [12]

Vor dem Beginn der Arbeit ist die Unterlage zu prüfen. Die Tragschicht muss eine der Nutzung der Straße angemessene Tragfähigkeit, eine ausreichende Wasserdurchlässigkeit sowie die richtige Höhenlage aufweisen.

Der erste Arbeitsschritt ist stets das Herstellen der Einfassungen, der Borde und der Rinnen. Diese Randeinfassungen geben die Randhöhen für die Fläche vor.



Abb. 26: Setzen Naturbordstein und Verfugen der Randeinfassung mit 1-zeiliger Rinne (Foto Schnitzler) [11]

Das Verlegen oder Versetzen der Pflastersteine beginnt in der Regel vom Tiefpunkt, also dem Wasserlauf oder der Rinne, und endet am höchsten Punkt.

Da die Arbeitstechniken des Versetzens von bruchrauem Natursteinpflaster einerseits sowie des Verlegens von Beton- und Klinkerpflaster sowie von formatierten Natursteinprodukten mit ebenen Lager- und Seitenflanken andererseits grundsätzlich unterschiedlich sind, werden diese gesondert betrachtet.

6.1 Versetzen von spaltrauem, bruchrauem Natursteinpflaster

Bruchraues oder spaltraues Natursteinpflaster wird aus dem Pflasterbett versetzt. Der Pflasterer arbeitet rückwärts im Bett, er hat das fertige Pflaster stets im Blick. Die sachgerechte Auswahl und Einbettung des Steines erfordern eine entsprechende Erfahrung und ein geübtes Augenmaß.

Der nächste Arbeitsschritt besteht in der Verteilung eines geeigneten Bettungsmaterials auf die anforderungsgerechte, Tragschicht. Das Bettungsmaterial sollte erdfeucht sein und einen Wassergehalt von 5 bis 8 Masse-% haben.



Abb. 27: Setzen Randeinfassung aus Natursteinpflaster in Beton und Platz- und Weggestaltung mit Kleinpflaster im Segmentbogen mit Rosette in Natursand gesetzt. (Foto Netzwerk Pflasterbau) [11]

Die Lage und die Höhe der Pflasterfläche werden durch Schnüre vorgegeben, wobei die Rammvorgabe von 1,5 bis 3 cm zu berücksichtigen ist. Dazu kann es erforderlich sein, zunächst einige Lehensteine höhengerecht anzuordnen. In Längsrichtung an jeder Querneigungsänderung sowie für jede Reihe wird eine Schnur angeschlagen.

Die Pflastersteine liegen im Haufen hinter dem Pflasterer. Das eigentliche Pflastern beginnt damit, dass der Pflasterer mit der Finne (Kelle) des Pflasterhammers ein entsprechendes Bett formt. Danach greift er einen passenden Pflasterstein, setzt diesen mit der kleineren Fußfläche in das vorbereitete Bett hinter die Schnur und klopft ihn mit dem Pflasterhammer fest (3 Hammerschläge).

Der Rechtshänder arbeitet von links, nimmt mit der linken Hand den Stein und hat in der rechten Hand den Pflasterhammer. Der Pflasterstein soll danach mit enger Fuge in richtiger Neigung zu etwa mind. $\frac{1}{3}$ seiner Höhe im Pflasterbett stehen. Bei erheblichen Unterwinklungen wird Bettungsstoff mit der Finne angefuttert.

Die Güte des Versetzens des bruchrauen Natursteinpflasters wird maßgeblich von der Fugenbreite bestimmt. Generell ist festzuhalten, dass die Verlegequalität und die Nutzungsdauer steigen, wenn die Fugen eine gleichmäßige, geringe Breite aufweisen.

Bei der Verlegung in Reihen müssen in jeder Reihe Steine mit annähernd gleicher Breite versetzt werden, wobei die Steinlänge durchaus unterschiedlich sein kann. Die üblichen Toleranzen der Steine selbst sind so groß, dass keinesfalls die noch anforderungsgerechten schmalsten und breitesten Steine nebeneinanderliegen dürfen. Die Auswahl der Breite erfolgt durch das Augenmaß eines erfahrenen Pflasterers oder besser mit einem Maßstab auf $\frac{1}{2}$ cm Genauigkeit.



Abb. 28: Setzen Großpflaster in Reihe mit sortierten Steinbreiten (Foto Straßenbauer-Innung Braunschweig)



Abb. 29: Kleinpflaster bis zu $\frac{2}{3}$ seiner Höhe in Natursand versetzt (Foto Steinkunst Niesen) [11]

Je dünner die Steine, desto schmaler sollten die Fugen sein. Als Faustregel kann gelten, dass die Fugenbreite maximal $\frac{1}{14}$ bis $\frac{1}{20}$ der Steindicke betragen darf. Größere Fugenbreiten und Unterwinklichkeiten lassen sich allenfalls bei Flächen, die nicht durch Kraftfahrzeuge befahren werden, akzeptieren. Für Flächen mit Fahrzeugverkehr sollte bei 14 cm hohen Steinen die Fugenbreite in Kopfhöhe der Steine das Maß von 10 mm nicht über-

schreiten. Diese Aussage beinhaltet, dass schmalere Fugen von unter 5 mm besser wären. Enge Fugen erfordern einigermaßen passgenaue Steine. Kleinpflaster mit 8 bis 10 cm Höhe sollte Fugen von 5 mm oder weniger aufweisen.

Grundsätzlich verbessern geringe Fugenbreiten die Nutzungsfreundlichkeit der Pflasterfläche. Pressfugen mit Stein-zu-Stein-Kontakt werden wegen möglicher Zerstörungen der Pflastersteine als nicht fachgerecht angesehen. Bei bruchrauen Pflastersteinen, bei denen dieser Kontakt allenfalls punktwise auftreten kann, erhöhen enge Fugen und einzelne Kontaktpunkte die Widerstandsfähigkeit der Pflasterfläche und haben im Gegensatz von zu breiten Fugen nie zu Problemen geführt. Enge Fugen haben zusätzlich den Vorteil einer geringeren Wassereindringung sowie des geringeren Fugenaustrages bei der Reinigung.

In der ZTV Pflaster StB-20 steht unter 3 Ausführung, 3.3 Fugen:

„Pflasterdecken und Plattenbeläge mit Befestigungselementen aus Natursteinen mit gespaltenen Seitenflächen müssen mit nachstehenden Fugenbreiten hergestellt werden:

Pflastersteine bis 60 mm Nennweite	≤ 6 mm
Pflastersteine 60 bis 120 mm Nenndicke	≤ 10 mm
Pflastersteine über 120 mm Nenndicke	≤ 15 mm

...

Spaltraue Natursteine sind möglichst engfugig zu versetzen. Vereinzelt dürfen Steine in der Fläche punktuell Kontaktstellen zum Nachbarstein aufweisen.“ [13]



Abb. 30: Setzen von Großpflaster in Reihe mit sortierten Steinbreiten mit Zuarbeitung – Verhau und Reihenverziehung, da schräger Anschluss an Bestandsfläche. (Foto Straßenbau Beißner, Bielefeld) [11]

Wichtig sind auch annähernd senkrechte Steinflanken. Deshalb muss für Verkehrsflächen die Unterwinkligkeit der Steine begrenzt sein. Sie sollte je Flanke 10 mm, an beiden Flanken zusammen 15 mm nicht überschreiten. Bei hohen Beanspruchungen sind bei 160 mm dicken Steinen die Maße noch weiter auf eine maximale Fugenbreite von 8 mm oben und 20 mm unten einzuschränken. Dieses erfordert grob bearbeitete und sortierte Reihenspflastersteine.

Der nächste Arbeitsschritt beinhaltet das Einfegen oder Einschlämmen des Fugenmaterials auf gesamter Höhe. Danach werden traditionell die Pflastersteine mit der Pflasterramme von 15 kg (Kleinpflaster) bis 25 kg (Großpflaster) Gewicht gerammt. Zuerst erfolgt ein schwacher Schlag (Fühlschlag) aus geringer Höhe. Es folgen mindestens 2 weitere Schläge, die dann jeden einzelnen Pflasterstein auf Höhe bringen. Falls nach dem ersten Rammschlag der Stein seitlich ausweicht, ist der folgende Rammschlag genau auf der entgegengesetzten Seite des Steines bzw. leicht schräg anzusetzen. Das sehr arbeitsaufwändige Rammen ist das traditionelle und beste Verfahren.



Abb. 31: Abrammung Mittelmosaikpflaster im Segmentbogen versetzt (Foto Netzwerk Pflasterbau) [11]

Die Alternative besteht im Rütteln mit einer schweren Rüttelplatte bei Großpflaster. Zu tief eingerammte Steine sind mit der Zange zu ziehen, zu unterfütern und erneut auf Höhe zu rammen. Mosaikpflaster wird nur

hammerfest versetzt und mit einer leichten Rüttelplatte abgerüttelt. Nur moderne Rüttelplatten mit veränderbarer Rüttelkraft und Amplitude erreichen eine gleichmäßige Verdichtung. Am besten ist es, beide Verfahren nacheinander durchzuführen, um eine tragfähige Pflasterfläche zu erhalten. Rammen und Rütteln bringen eine Verdichtung der Bettung von 1,5 bis 3,0 cm.

Durch das Rammen oder Rütteln hat sich auch das Fugenmaterial verdichtet, die Fuge ist wieder offen. Der letzte Arbeitsschritt besteht im Einschlämmen von Fugenmaterial mit erheblichem Wassereinsatz. Ziel ist eine feste Lagerung der Pflastersteine und eine hohe Lagerungsdichte des Pflastersandes, und zwar sowohl der Bettung als auch der Fuge.

Das Einschlämmen erfordert - wie alle Arbeitsgänge beim Pflastern - eine hohe Sorgfalt.

Ein Sprichwort lautet: „Gut geschlämmt ist halb gerammt.“

7. Abnahme von Bauleistungen

Mit einer Abnahme-Checkliste für das Gewerk: Pflasterdecken und Plattenbeläge, Einfassungen – DIN 18318 sollten die Profilhöhe, die Abmessungen, Beschädigungen, Verband, Fugen, Bettung, Einfassungen, Rinnen und Pflasterflächen in gebundener Bauweise überprüft und dokumentiert werden.

Literaturangaben

- [1] „Altstadtpflaster ganzheitlich gestalten“, Arbeitshilfe, 2018 Arbeitsgemeinschaft Historische Stadt- und Ortskerne in NRW, www.hso-nrw.de
- [2] „RStO 12“, Richtlinien für Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen, FGSV-Verlag, Köln
- [2] „Pflaster Atlas“ 5. Auflage, Dr. Ing. Horst Mentlein, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. KG
- [3] „ZTV-Wegebau“, 2013, Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen für den Bau von Wegen und Plätzen außerhalb von Flächen des Straßenverkehrs, FLL e.V.
- [4] Verein Qualitätssicherung Pflasterbauarbeiten e.V. Geschäftsstelle: Grosswallstädter Straße 7a, 63843 Niedernberg
- [5] Zeichnungen SLG, aus Vortrag: „Regelgerechte Herstellung von Betonpflasterbauweisen“ (FCN-Academy 2019, Betonverband Straße, Landschaft, Garten e.V. (SLG) Ditmar Ulonska, Schloßallee 10, 53179 Bonn
- [6] „Die Kunst des Pflasterns mit Natursteinen“, Siegfried Vogel, TUSA Natursteine GmbH, Freudenstadt 2003
- [7] „Flächenbefestigung im privaten und öffentlichen Bereich“, Sopro Planer 9.0, Kapitel 13; www.sopro.com
- [7] „Kleinpflaster Verlegen und Gestalten“, Friedrich Wilhelm Noll, Originalausgabe von 1911, Reprint-Verlag Leipzig
- [8] Forum Natursteinpflasterarbeiten e.V., Claus-Peter Spuhn, 17291 Prenzlau, Neubrandenburger Str. 11
- [9] Stadt Bielefeld, Amt für Verkehr August-Bebel-Str. 92, 33602 Bielefeld
- [10] „Weißer Ordner“ Lernbuch Handlungsorientierte Bau-Ausbildung, Bau-ABC Rostrup
- [11] Netzwerk Pflasterbau, IG Deutscher Pflasterer und Steinsetzer e.V., Berkumer Weg 2, 31226 Peine
- [12] „ZTV Pflaster-StB 20“, FGSV, Köln
- [13] „ATV DIN 18318“, VOB Teil C, Ausgabe 2019

Randeinfassungen aus Bordsteinen

Dipl.-Ing. (FH), Franz Knobling

QSP – Pflasterpraxisseminar

Randeinfassungen aus Bordsteinen



Dipl.-Ing. (FH), Auditor, Franz Knobling
Leiter QSP-Arbeitsgruppe Präsentation des Vereins in
Verbänden, Ausschüssen, Vereinen, Normenausschuss,
Techn. Ausschuss



02/12/2020 Dipl.-Ing. (FH) Franz Knobling, Auditor

Randeinfassungen
aus Bordsteinen
Ein vergessener Bauteil ?

Aus der Praxis - für die Praxis



02/12/2020 Dipl.-Ing. (FH) Franz Knobling, Auditor

Randeinfassungen, es tut sich was ,M RR'


- Rinnen und Einfassungen sind Bauteile, die mit einem vergleichsweise hohen Anteil an handwerklichen Leistungen erstellt werden.....
- Das Merkblatt Randeinfassungen und Rinnen ist insbesondere auf der Grundlage **baupraktischer Erfahrungen** Maßstab für fachgerechtes Verhalten bei der Planung und Ausführung. (Entwurf 7-2020) Die Planungsphase ist sehr wichtig, genaue Beschreibung, Forderungen.....



02/12/2020 Dipl.-Ing. (FH) Franz Knobling, Auditor 3

Randeinfassungen aus Bordsteinen

- 3 Fotos zur Einstimmung




02/12/2020 Dipl.-Ing. (FH) Franz Knobling, Auditor 4

Mängelbeispiele zur Einstimmung



©2012/2000 Dipl.-Ing. IPH Franz Knobling, Auditor 5

Mängelbeispiele zur Einstimmung



©2012/2000 Dipl.-Ing. IPH Franz Knobling, Auditor 6

Mängelbeispiele zur Einstimmung



©2012/2000 Dipl.-Ing. IPH Franz Knobling, Auditor 7

Auswirkungen von Mängeln

- Was bedeutet dies für eine Baufirma, insbesondere innerhalb der Gewährleistung?

©2012/2000 Dipl.-Ing. IPH Franz Knobling, Auditor 8

Auswirkungen von Mängeln

- Ortstermine
- Schriftverkehr
- Imageschaden
- Kosten
- Zusätzliche Zeit
- Jetzt muss auch der Chef mit ran
- Was hält uns davon ab, gleich

➔

©2012/2000 Dipl.-Ing. IPH Franz Knobling, Auditor 9

Randbefassungen aus Bordsteinen

- **sind** auf mindestens 20 cm dickes Fundament mit Rückenstütze aus Beton zu versetzen.
- Die Druckfestigkeit des Betons von Fundament und Rückenstütze am fertigen Bauteil **muss** mindestens 8,0 N/mm² betragen, bei Bord- oder Einfassungssteinen, die überfahren werden, 15 N/mm².
- **Neue ZIV-Pflaster: 12 MPa (Prüfalter 28 Tg.)**
- Was kommt in der neuen DIN 18318 hierzu ?
- **Beton C 20/25 gefordert, ohne Festigkeit am fertigen Bauteil.**
- **Der Beton ist zu verdichten.**
- Die Rückenstütze **ist** ... in **Schalung** herzustellen.

©2012/2000 Dipl.-Ing. IPH Franz Knobling, Auditor 10

Randbefassungen aus Bordsteinen

- Die DIN 18318 reine Theorie?
- **Viele Praktiker meinen es gäbe eh keine Schäden am Bettungs- und Rückenstützenbeton; daher Forderung nach bestimmten Festigkeiten nicht notwendig.**
- Verschiedene AG's schreiben inzwischen keine bestimmte Betonqualität vor, aber Festigkeiten **für alle Bereiche** mit 15 N/mm².

©2012/2000 Dipl.-Ing. IPH Franz Knobling, Auditor 11

Leistungsverzeichnis

- **sehr guter Ausschreibungstext !?**

©2012/2000 Dipl.-Ing. IPH Franz Knobling, Auditor 12

Randbefassungen aus Bordsteinen

- Hochbord (HB) 120/150/250**
 Randbefassungen aus Betonhochbordsteinen 120/150/250 mm, liefern und versetzen. Die Bordsteine müssen DIN-EN 1340 und DIN 483 entsprechen. Dehnungsfuge nach Positionsbeschreibung. Dehnungsfugen liefern und einbauen, Rückenstütze aus Beton nach DIN EN 206-1, C 20/25, Konsistenz C1, Körnung 0/16, bis 10 cm unter OK Bordstein 15 cm breit herstellen. Rückenstütze senkrecht abschalen. Radianschalung einkalkulieren. Unterbeton C 20/25, Konsistenz C1, Körnung 0/16, in verdichtetem Zustand mind. 20 cm dick, herstellen. Beton während Transport und Lagerung vor Verdunstung schützen, z.B. mit dicht anliegender Folie. Nachbehandlung nach DIN 1045-3. Feuchteverlust, Frosteinwirkung, Erschütterungen.

02/14/2000 Dipl.-Ing. (FH) Franz Knobling, Auditor 13

Bauausführung

02/14/2000 Dipl.-Ing. (FH) Franz Knobling, Auditor 14

02/14/2000 Dipl.-Ing. (FH) Franz Knobling, Auditor 15

Bauausführung

- Neue ZTV-Pflaster 3.6 (Abs. 3):**
 Ab BK 1,8 gem. RSTO und regelmäßig Schwerverkehr: Haftvermittler auf der Unterseite der Bauteile herstellen.

02/14/2000 Dipl.-Ing. (FH) Franz Knobling, Auditor 16

Überstand Pflaster-Bordstein ??

02/14/2000 Dipl.-Ing. (FH) Franz Knobling, Auditor 17

Randbefassungen aus Bordsteinen

02/14/2000 Dipl.-Ing. (FH) Franz Knobling, Auditor 18


Randbefassungen aus Bordsteinen

02/14/2000 Dipl.-Ing. (FH) Franz Knobling, Auditor 19

Bauausführung

02/14/2000 Dipl.-Ing. (FH) Franz Knobling, Auditor 20

Bauausführung



© 2012/2010 Dipl.-Ing. (FH) Franz Knöbbling, Auditor 21

Verdichtung Schuhgröße 42 ?



© 2012/2010 Dipl.-Ing. (FH) Franz Knöbbling, Auditor 22

Verdichtung Schippe ???



© 2012/2010 Dipl.-Ing. (FH) Franz Knöbbling, Auditor 23

Bauausführung



© 2012/2010 Dipl.-Ing. (FH) Franz Knöbbling, Auditor 24

ZTV-Pflasterbauarbeiten, DIN 18318

- Die Breite von Rückenstützen sollte zu unbefestigten Flächen hin mindestens 15 cm betragen.
- Für Rückenstützen, die häufig höheren mechanischen Belastungen ausgesetzt sein können, z. B. in Kreisverkehren oder Ein- und Ausfahrten mit engen Radien, können auch größere Breiten und höhere Druckfestigkeiten erforderlich sein.

© 2012/2010 Dipl.-Ing. (FH) Franz Knöbbling, Auditor 25

Bauausführung



© 2012/2010 Dipl.-Ing. (FH) Franz Knöbbling, Auditor 26

Randbefassungen aus Bordsteinen

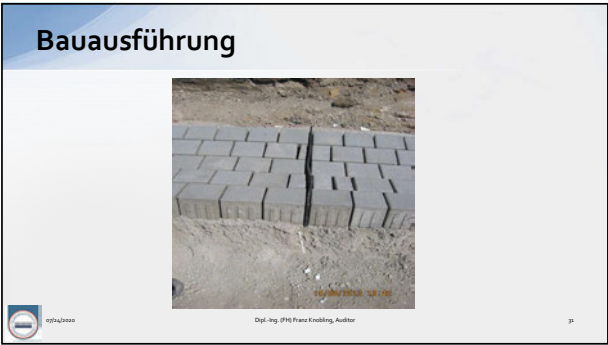


© 2012/2010 Dipl.-Ing. (FH) Franz Knöbbling, Auditor 27

Bauausführung



© 2012/2010 Dipl.-Ing. (FH) Franz Knöbbling, Auditor 28



Bauausführung



02/02/2020 Dipl.-Ing. (FH) Franz Knobling, Auditor 37

Bauausführung



02/02/2020 Dipl.-Ing. (FH) Franz Knobling, Auditor 38

Bauausführung




02/02/2020 Dipl.-Ing. (FH) Franz Knobling, Auditor 39

Bauausführung




02/02/2020 Dipl.-Ing. (FH) Franz Knobling, Auditor 40

Bauausführung




02/02/2020 Dipl.-Ing. (FH) Franz Knobling, Auditor 41

Bauausführung



02/02/2020 Dipl.-Ing. (FH) Franz Knobling, Auditor 42

Bauausführung




02/02/2020 Dipl.-Ing. (FH) Franz Knobling, Auditor 43

Bauausführung



02/02/2020 Dipl.-Ing. (FH) Franz Knobling, Auditor 44

Bauausführung



©2012/2020 Dipl.-Ing. (FH) Franz Kriebling, Auditor 45

Bauausführung



©2012/2020 Dipl.-Ing. (FH) Franz Kriebling, Auditor 46

Bedenken angebracht, angemeldet ?



©2012/2020 Dipl.-Ing. (FH) Franz Kriebling, Auditor 47

Randeinfassung fehlt



©2012/2020 Dipl.-Ing. (FH) Franz Kriebling, Auditor 48

Fehlende Randeinfassung ?



©2012/2020 Dipl.-Ing. (FH) Franz Kriebling, Auditor 49

Bauausführung

- Wie viele Meter Bordsteine sollten heute nach Bauzeitenplan* gesetzt werden?
- Wann sollte der Sub mit wie vielen Mitarbeitern auf der Baustelle sein? Wann kam er?
- Wann kommt der Beton, welche Menge, Sorte
- Betonhaufen abdecken, Schutz gegen Sonne und Wind
siehe ZTV-Pflaster 2020, Pkt. 3.6, Abs. 1+2 mit Randstrich I

©2012/2020 Dipl.-Ing. (FH) Franz Kriebling, Auditor 50

Bauausführung

- Thema: Beton-Verzögerer
 - Verlängert die Verarbeitungszeit des Betons
 - Das zum Abbinden (Hydration) erforderliche Wasser wird erst später gebunden, d. h. das Wasser verdunstet in der Zwischenzeit.
 - Damit steigt die Gefahr des Verdunstens des Betons erheblich.

©2012/2020 Dipl.-Ing. (FH) Franz Kriebling, Auditor 51

Bauausführung



©2012/2020 Dipl.-Ing. (FH) Franz Kriebling, Auditor 51

Regelungsbedarf ?

- Bewegungsfugen (Raumbfugen) bei Randbefassungen und Entwässerungsrinnen
- Herstellung durch Fugenfüllstreifen, Dehnscheiben aus recyceltem Gummigranulat, Neukautschuk
- Frage nach der Stauchfähigkeit ?
- Wie sind die Fugen zu schliessen und abzudichten?

© 2012/2020 Dipl.-Ing. (FH) Franz Knobling, Auditor 53

Regelungsbedarf

- Aktueller Stand:
- Die Breite der Bewegungsfuge sollte mind. 8 bis 15 mm betragen. Bewegungsfugen sind vollständig mit einem beständigen, frostsicherem stauch- und vollständig rückstellfähigem Unterfüllmaterial abzustellen. Das Material der Fugenfüllung sollte eine Verformung von min. 5mm bzw. mind. 50% der Fugenbreite ohne schädliche Spannung im Bauteil ermöglichen.


© 2012/2020 Dipl.-Ing. (FH) Franz Knobling, Auditor 54

Bittere Konsequenzen

- ...Im Hinblick auf die Tatsache, dass die Werte sehr deutlich den geforderten Druckfestigkeitswerten von 15 N/mm² unterschreiten (4,8 – 8,6 N/mm²), fordern wir Sie auf, die Bordsteinanlage auszubauen und durch eine ordnungsgemäß hergestellte Bordsteinanlage entsprechend den vertraglichen Vereinbarungen und den DIN-Normen zu ersetzen.....>> und nun ?????

© 2012/2020 Dipl.-Ing. (FH) Franz Knobling, Auditor 55

Randbefassungen



© 2012/2020 Dipl.-Ing. (FH) Franz Knobling, Auditor 56

Bauausführung

- **Qualität** ist nicht alles, aber alles ist nichts ohne **Qualität**

© 2012/2020 Dipl.-Ing. (FH) Franz Knobling, Auditor 57

Geotextilien im Pflasterstraßenbau unter den Gesichtspunkten der Oberbaumechanik

Alexander Eichler

Lithonplus GmbH & Co. KG, Elchingen, Deutschland

Zusammenfassung

Im Vortrag wird auf die praktische Umsetzung und Grundfunktionen von Geokunststoffen im Pflasterstraßenbau eingegangen. Geokunststoffe werden in der Pflasterbauweise in unterschiedlichsten Funktionen mit der Hauptaufgabe – trennen und filtern - eingesetzt. Als neue Produktgruppe werden Aquatextilien vorgestellt. Die Aquatextilien erfüllen die Grundeigenschaften von Geotextilien - trennen, filtern, sichern - und bauen zusätzlich vom Straßenverkehr über das Niederschlagswasser eingetragene Kohlenwasserstoffe ab. Sorgen also zusätzlich für eine Reinigungsfunktion. Die Inhalte des Vortrages basieren auf anerkannten wissenschaftlichen Erkenntnissen und aktuellen Begutachtungen langjährig verbauter Flächenbefestigungen mit Pflasterdecken.

1. Oberbaumechanik – Scherfuge durch Geokunststoffe?

Die häufigste Anwendung von Geokunststoffen dürfte in der Überdeckung offenerporiger Strukturen von Dränbeton bzw. Drainspalttragschichten liegen. In dieser Lage könnte aufgrund einwirkender Horizontalspannungen eine Scherfuge entstehen. Überlegungen zur Oberbaumechanik untermauern die Annahme einer Scherfuge durch eine mögliche Reduktion der Reibung zwischen den Schichten.

Diese Modellrechnungen basieren auf klassischen und validen Ansätzen aus dem Erd- und Grundbau, sowie der Halbraumtheorie.

Als Zwischenschicht (Geokunststoff – zwischen Bettung und Tragschicht) bestünde so die theoretische Gefahr, dass sich eine Scherfuge ausbilden könnte. Allerdings wurde nach den Untersuchungen der Ruhr Universität Bochum festgestellt, dass bei allen Versuchsaufbauten mit Geotextilien keine zusätzliche kritische Scherfuge entstand. In der Materialprüfungs- und Versuchsanstalt, MPVA Neuwied, wurden 2019 Untersuchungen zum Verschiebewiderstand durchgeführt. Neben unterschiedlichen Fugen- und Bettungsmaterialien, wurden Steindicken und Verbände variiert sowie Geokunststoffe in diversen Schichten – unter Pflaster bzw. unter der Bettung - angeordnet. Geokunststoffe hatten immer einen sicht- und/oder messbaren Einfluss auf die Aufnahme von Horizontalkräften, wobei die Reibungsbeiwerte der untersuchten Aufbauten mit Geokunststoffen in jeder Konstellation - auch als Schichttrennung zwischen Stein und Bettung - in der versuchsüblichen Schwankungsbreite von Pflasterdecken ohne Geokunststoffe lagen.

Insofern bestätigen auch diese Untersuchungen die Ergebnisse der Ruhr Universität Bochum. Die Annahme einer zusätzlichen Scherfuge ist auch nach praktischen Beobachtungen zu vernachlässigen.

2. Geokunststoffe

2.1 Geotextilien

Geotextilien sind wasserdurchlässige, textile Baustoffe mit flächenhafter Ausprägung, deren normative Zuordnung mit einer Anwendung gekoppelt ist. Die DIN EN 13249 „Geotextilien und geotextilverwandte Produkte – Geforderte Eigenschaften für die Anwendung beim Bau von Straßen und sonstigen Verkehrsflächen (mit Ausnahme von Eisenbahnbau und Asphaltoberbau)“ behandelt den Einsatzbereich „filtern, trennen und bewehren“. Die Anforderungen dieser Norm beziehen sich jedoch meist auf die Funktion „bewehren“. In Pflasterdecken sind die maßgeblichen Parameter „filtern und trennen“. Aufgrund einer allgemeinen und diffusen Normenlage für den Einsatzbereich in Pflasterkonstruktionen, ist es empfehlenswert, die technischen Anforderungen auf Basis wissenschaftlicher Erkenntnisse und Erfahrungswerte festzulegen.

2.2 Aquatextilien

Aquatextilien sind eine eigene Produktgattung, die als technische Modifikation und Weiterentwicklung von Geotextilien betrachtet werden kann. Diese, den Verbundstoffen zuzurechnenden Textilien, reinigen in ihrer

primären Funktion das Niederschlagswasser und werden so zum gezielten Abbau von Kohlenwasserstoffen eingesetzt. Die Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW) werden über den Straßenverkehr eingebracht und das belastete Niederschlagswasser wird in den Oberbau infiltriert. Die MKW's werden von den in den Oberbauschichten vorhandenen Bakterien abgebaut. Diese Reinigungsfunktion wird über zwei polymere Schichten gesteuert. Eine Lage hat oleophile Eigenschaften sowie ein hohes Retentions- und Speichervermögen für in den Oberbau eingedrungene Öle. Eine hydrophile Schicht bietet aufgrund der offenen Struktur des Filaments den Bakterien dauerhaften Lebensraum. In dieser Schicht werden Nährstoffe und Feuchtigkeit gespeichert.

2.3 Ausführungsarten der Geokunststoffe

Vliesstoff

Vliesstoffe sind einschichtige Textilien und entstehen durch die Verfestigung von Matten aus regellos angeordneten Filamenten (endlose Fasern). Die Verfestigung kann mechanisch (Vernadelung), adhesiv (Verkleben) oder kohäsiv (Verschmelzen) erfolgen. Vliesstoffe werden meist als Trennschicht und Filter eingesetzt.

Gewebe

Ein Gewebe besteht aus sich rechtwinklig kreuzenden Fadensystemen und unterscheidet sich durch die Art der Garne und deren Verwebung. Gewebe werden meist in Bereichen eingesetzt, in denen eine bewehrende Wirkung gefordert wird.

Verbundstoffe

Verbundstoffe sind mehrschichtige Textilien und bestehen aus miteinander flächenhaft zusammengesetzten Vliesstoffen, Geweben oder anderen Flächengebilden. Die Verbundstoffe unterscheiden sich in ihrer Struktur und ihrer technischen Nutzung. Verbundstoffe werden überwiegend bei sich überlagernden Anforderungen, wie Filtern von Bettungsmaterial und Ableitung von Wasser in der Ebene, eingesetzt.

3. Grundfunktionen

Geotextilien im Pflasterstraßenbau sind klassischen Aufgabenbereichen zuzuordnen. Die Funktionen - trennen, sichern und filtern - sind strenggenommen sehr eng verwandt und bedingen einander.

- Trennen
- Filtern
- Reinigen

3.1 Trennfunktion

Geokunststoffe werden im Pflasterstraßen- und Wegebau vorrangig zur Trennung von Schichten mit ausgeprägten Hohlraumgehalten (z.B. offenporige Tragschichten) eingesetzt, um das Eindringen von Feinkornanteilen in hohlraumreichere Strukturen signifikant zu verringern. Dabei sollten Geo- und Aquatextilien mit einer Überlappung von etwa 50 cm verlegt werden. Ein Vernähen oder Verschweißen ist im Pflasterstraßenbau unüblich.

3.2 Filterfunktion

Geokunststoffe halten als Filter abhängig von ihrer Lage Bettungs- oder Fugenmaterialien zurück. In der Pflasterdecke wirkenden dynamischen Kräfte und eindringendes Wasser bewirken Umlagerungen von Kornfraktionen und den Transport von Feinteilen. Fließt Wasser aus einer Schicht in eine andere mit höherer Durchlässigkeit, kann der Strömungsdruck des fließenden Wassers Feinanteile oder Stützkorn aus dem einen Baustoffgemisch in die Porenräume des wasserdurchlässigeren Baustoffs transportieren.

In Pflasterkonstruktionen ist jedoch von geringen hydraulischen Kräften auszugehen. Als Filter reduzieren Geokunststoffe die Erosion. Kolmationsneigungen werden nach Begutachtungen langjährig verbauter Pflasterflächen, insbesondere wenn sich ein Sekundärfilter aufbaut, auf ein unschädliches Maß begrenzt. Kornumlagerungseffekte können wie folgt umschrieben werden.

Suffosion

Hierunter sind die Umlagerung und der Transport feiner Fraktionen eines Mineralstoffes durch den vorhandenen Porenraum auch unter Einfluss von Wasser zu verstehen.

Erosion

Erosionsvorgänge sind durch die Umlagerung und den Transport nahezu aller Fraktionen an der freien Oberfläche oder im Inneren des Baustoffgemisches infolge frei fließenden Wassers oder durch Sickerwasser gekennzeichnet.

Kolmation

Kolmation beschreibt die Ablagerung von feinen Partikeln aus dem Sickerwasser an der Oberfläche eines porösen Mediums oder in den Poren bzw. Hohlräumen desselben. Voraussetzung für das Auftreten einer Kolmation in der Pflasterdecke ist immer die Suffosion bzw. die Erosion des Bettungs- oder Fugenstoffs.

3.3 Reinigende Funktion

Aquatextilien verbinden die Grundeigenschaften von Geotextilien mit einer Reinigungsfunktion. Kohlenwasserstoffe des in den Oberbau infiltrierten Niederschlagswassers werden zurückgehalten und abgebaut. Die zweilagigen Textileinlagen sind aufgrund ihrer unterschiedlichen Basisfunktionen den mechanisch verfestigten Verbundstoffen zuzurechnen. Eine oleophile Schicht nimmt die Kohlenwasserstoffe auf, während eine weitere Schicht Feuchtigkeit speichert. In diesem auch mit Nährstoffen angereicherten Lebensraum werden im Erdreich vorhandene anaerobe Bakterien zum Abbau der Kohlenwasserstoffe aktiviert. Als Abfallprodukte entstehen mit H₂O und CO₂ ungiftige Produkte. Die Abbauraten und das Rückhaltevermögen, sind als sehr hoch einzuschätzen. So übertreffen Systeme mit Aquatextilien nach Untersuchungen der KIWA – eine europäische Institution für Prüfung, Inspektion und Zertifizierung - die Anforderungen an Klasse 1 Abscheideranlagen für Leichtflüssigkeiten nach DIN EN 858-1 [9] mit einem zulässigen Restölgehalt im Wasser von < 5 mg/l. In Versuchsständen mit Pflasteraufbauten konnten bei Verwendung von einem Aquatextil unter dem Pflaster ein Restölgehalt von < 2 mg/l nachgewiesen werden. In einer weiteren Konstruktion wurden ein Aquatextil unter der Pflasterdecke und ein weiteres unter der Tragschicht zum Einsatz gebracht. In diesem leistungsfähigen Aufbau konnte nur noch ein Restölgehalt von < 1 mg/l nachgewiesen werden.

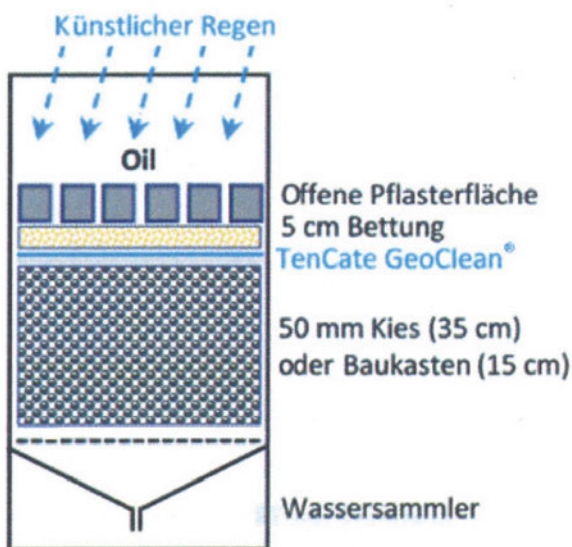


Bild 1: Prüfeinrichtung zur Messung der Ölbindekapazität (Quelle Kiwa)

4. Geotextilrobustheitsklasse

Die wichtigsten Auswahlparameter im Pflasterstraßenbau sind die Filterbedingungen, die Wahl der Geotextil-

robustheitsklasse (GRK) und die Wasserdurchlässigkeit. Die Bemessung der Vliese ist im Wesentlichen abhängig von der Korngrößenverteilung, der zu entwässernden Schicht sowie der hydraulischen und der mechanischen Belastung. Zur Sicherung der dauerhaften Durchlässigkeit sollte in Pflasterdecken auf eine Begrenzung der abschlämmbaren Bestandteile insbesondere in der Bettungsschicht geachtet werden, da davon auszugehen ist, dass sich unter mechanischer Beanspruchung Sekundärfilter nicht immer stabil und flächendeckend ausprägen können.

Die Wahl der Geotextilrobustheitsklasse (1 = niedrigste; 5 = höchste GRK) hängt von unterschiedlichen Anwendungsfällen ab. Die Geotextilrobustheitsklassen werden anhand der Beanspruchung durch das Schüttmaterial (in diesem Falle Bettungsmaterial) unterschieden und abhängig vom Einfluss der Beanspruchung durch Einbau und Baubetrieb eingeteilt. Im Erdbau des Straßenbaus werden mindestens Geotextilien ab GRK 3 eingesetzt. Im Pflasterstraßenbau können Geotextilrobustheitsklassen nicht eindeutig zugeordnet werden, da es sich um einen Sonderfall handelt.

Nach den Beanspruchungsklassen des M GeoK steht einer Einordnung der Geokunststoffe in Pflasterdecken mit GRK 3 nichts entgegen. Weder das Schüttmaterial noch die Einbaubedingungen stellen eine besondere Beanspruchung dar. In Untersuchungen der Ruhr Universität Bochum wurden Geotextilien der GRK 4 und GRK 5 ausgewählt, da neben einer mutmaßlich hohen Beanspruchung unter der Pflasterdecke, dickere Geokunststoffe aufgrund besserer Durchlässigkeitsbedingungen vorteilhaft sein könnten.

Nach den Untersuchungen sollte auch die Durchlässigkeit des Filters über die gesamte Betriebsdauer größer sein als die Durchlässigkeit der zu entwässernden Tragschicht. Es dürfe zu keinem Zeitpunkt zu einem Wasser-rückstau kommen, auch wenn die Filterwirksamkeit mit der Zeit durch Einlagerungen von Feinkorn im Filter oder Anlagerungen an der Oberfläche sinkt. Bei dieser Annahme bleibt jedoch das real - in den Oberbau eingeleitete - Fugenwasser unberücksichtigt. Wenn man den „ungünstigen“ Einsatzbereich von versickerungsfähigen Verkehrsflächen mit bestimmungsgemäß zugeführten Niederschlagswasser betrachtet, liegen die Durchflussraten von Geokunststoffen bzw. der offenporigen Tragschichten deutlich höher als die bemessungsrelevante Durchlässigkeit mit $> 5 \times 10^{-5}$ m/s. In der konventionellen Bauweise ist bei fachgerechter Ausführung und Unterhaltung mit deutlich geringeren Wassermengen zu rechnen. Daher können Durchlässigkeitsbeiwerte $> 1 \times 10^{-3}$ m/s für fachgerecht eingesetzte Geo- und Aquatextilien unabhängig von der Tragschicht als ausreichend angenommen werden.

Grundsätzlich gibt es zwei Filtermodelle: Das eindimensionale Modell, welches von einer Siebwirkung des Filters ausgeht, und das dreidimensionale, bei dem Tiefenfiltration vorausgesetzt wird. Im eindimensionalen

Modell wird ein Sekundärfilter ausgebildet. Modelle mit Sekundärfilter, welches eher mit Geotextilien bis zu GRK 3 zu erwarten ist, sind nach Einschätzungen der Ruhr Universität Bochum nicht für den Einbau bei Wechselbeanspruchungen geeignet. Die wechselnden Belastungen können ein Zusammenbrechen der Sekundärfilterstruktur bewirken, sodass es zu instabilen Filterverhältnissen kommt. Das dreidimensionale Modell, welches eher für dickere Geotextilien der GRK 4 und GRK 5 zutrifft, lässt die Durchwaschung oder Anlagerung feiner Gesteinskörnungen in den Filterporen zu. Das Wasser kann, durch die mehrschichtige Struktur des Geotextils um die „verstopften“ Poren herum fließen, so lange noch ausreichend offene Poren zum Wasserabfluss zur Verfügung stehen. Praktische Erfahrungen hingegen zeigen, dass auch dünnere Geotextilien zuverlässig eingesetzt werden können. Im Innenstadtbereich von Ulm wurden vom Verfasser Flächenbefestigungen begutachtet. Die mit großformatigen Steinen gepflasterten Verkehrsflächen können aufgrund von Belastungsspitzen der Belastungsklasse Bk 1,0 zugerechnet werden. Verlegt wurden die Pflastersteine in Bettungsmaterial der Korngruppe 0/5 auf einer Drainbe-

tontragschicht. Als Schichttrennung wurden Vliese, der Geotextilrobustheitsklasse GRK 3, aus Polypropylen mit 2,5 mm Dicke und einem Flächengewicht von $> 175 \text{ g/m}^2$ eingesetzt. An zahlreichen Stellen wurden Steine entnommen und die verbauten Geotextilien augenscheinlich auf Beschädigungen überprüft und die Wasserdurchlässigkeit qualitativ nachgewiesen. Beschädigungen des Geotextils waren an keiner Stelle sichtbar und die Wasserdurchlässigkeit war immer nachweisbar. Das eingebrachte Wasser versickerte in Sekundenschnelle. Eine Ausnahme war ein temporär hoch belasteter Kreuzungsbereich. Dort konnten augenscheinlich sichtbare Kolmationseffekte beobachtet werden. Eine Infiltration war vorhanden, jedoch auffällig langsamer als in den weiteren untersuchten Bereichen. Diese augenscheinlichen Effekte würden die Theorie einer mangelnden Ausprägung eines Sekundärfilters unter starker Belastung unterstützen. Nach Sicht des Verfassers können bei abgestimmten Bettungsmaterialien Geokunststoffe GRK 3 verwendet werden.

Quellennachweis auf Anfrage

Sonderbauweise: Versickerungsfähige Pflasterflächen als Chance zur Beeinflussung des Mikroklimas in den Städten

Siegfried Bolz

Sachverständiger Bolz, Meßkirch, Deutschland

Zusammenfassung

Der Klimawandel ist da. Die Sommer werden heißer und die Winter werden milder. Die Niederschläge verlagern sich. Die Städte heizen sich im Sommer immer mehr auf. Um dem zunehmenden Erhitzen in Innenstädten entgegen zu wirken werden immer neue Konzepte aufgestellt. Dies fängt an bei der Ausrichtung der Straßen. Beinhaltet die Begrünung der Städte und geht weiter über die Ableitung des Oberflächenwassers. Welche Rolle kann bei diesen Punkten nun das Versickerungsfähige Pflaster oder Versickerungsfähige Pflastersysteme übernehmen?

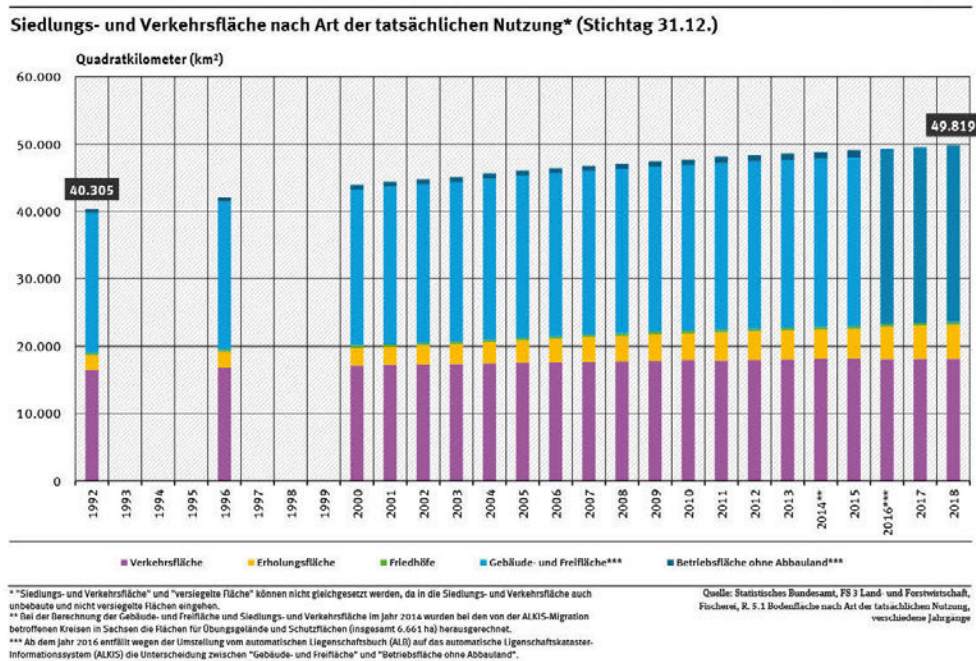
Fakt ist, dass in Städten die meisten Flächen als Verkehrsflächen genutzt werden. Diese gilt es so umzugestalten, dass sie dem Verkehrsaufkommen noch Stand halten können. Das heißt, diese müssen genauestens auf ihre Verkehrslast untersucht werden und dann in die Städtebauliche Planung aufgenommen werden. Die Herausforderung ist, diese Flächen Verkehrsgerecht zu gestalten.

1. „Sonderbauweise: Versickerungsfähige Pflasterflächen als Chance zur Beeinflussung des Mikroklimas in den Städten“

In Deutschland werden stetig neue Flächen für Arbeiten, Wohnen und Mobilität belegt. Nach Angaben des Statistischen Bundesamts hat sich die Siedlungs- und Verkehrsfläche von 1992 bis 2018 von 40.305 auf 49.819 Quadratkilometer (km²) ausgedehnt. Damit ist die Sied-

lungs- und Verkehrsfläche in den letzten 26 Jahren um 9.514 km² bzw. 23,6 % angestiegen (siehe Abb. „Siedlungs- und Verkehrsfläche nach Art der tatsächlichen Nutzung“). Rechnerisch entspricht dies einem Zuwachs von durchschnittlich 104 ha oder etwas mehr als 1 km² pro Tag. Mit Blick auf die Teilflächen dehnte sich die Siedlungsfläche um 33,1 % und die Verkehrsfläche um 9,8 % aus. [3]

Tabelle 1



Die Sommer werden heißer und die Winter werden milder. Die Niederschläge verlagern sich, die Niederschlagsmenge im Winter erhöht sich, im Sommer wird es immer weniger. Die Städte heizen sich im Sommer immer mehr auf. Um dem zunehmendem Erhitzen in Innenstädten entgegen zu wirken werden immer neue Konzepte aufgestellt. Dies fängt bei der Ausrichtung der Straßen an. Beinhaltet die Begrünung der Städte und geht weiter über die Ableitung des Oberflächenwassers. [1] Aber die Städte sind nun mal schon da, sind über Jahrhunderte entstanden und haben sich nach und nach mit immer mehr Menschen und Gebäuden gefüllt. Welche Rolle kann bei diesen Punkten nun das Versickerungsfähige Pflaster oder Versickerungsfähige Pflastersysteme übernehmen?

1.1 Einfluss der Farbe

Wie wohl bekannt ist nehmen dunkle Farben mehr Wärmestrahlung auf als helle. Die Farbe der Pflastersteine spielt aus diesem Grund eine sehr wichtige Rolle bei der Auswahl der Flächengestaltung. Zum Beispiel wurden die Gleise in Würzburg mit weißer Farbe gestrichen. Das hat einen Temperaturunterschied von bis zu acht Grad Celsius zu den normalen Gleisen ausgemacht. [4] Gerade in windgeschützten Bereichen ist es wichtig sich besonders intensiv damit zu beschäftigen. Hier kommt es zu geringem Wärmeaustausch, somit staut sich die Wärme erhitzter Pflastersteine besonders lange. Bei dunklen Steinen wird bis zu 20 % mehr Wärme absorbiert als bei hellen Steinen. Im Umkehrschluss heißt das, wenn wir helle Pflastersteine benutzen, erhitzt sich die Fläche nicht

so stark. Dies wiederum verringert die Temperatur oberhalb der Pflasterfläche. Einen kleinen Einfluss kann also schon die Farbwahl des Pflastersteins haben, um das Mikroklima zu beeinflussen.

1.2 Einfluss des Wassers und der Bepflanzung

Der zweite Einfluss ist sehr viel weitreichender. Versickerungsfähiges Pflaster und Pflastersysteme sind in erster Linie dazu da, Oberflächenwasser in den Untergrund abzuleiten, um die Kanalisation zu entlasten. Es dürfen aber nur Flächenbeläge mit der Zulassung des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt), die in der Lage sind, in sehr hohem Maße Stoffe zurückzuhalten, verwendet werden, sobald das Verkehrsaufkommen zu hoch wird.[2] In der Vergangenheit wurde aber auch noch ein zweiter Aspekt bei diesen Systemen festgestellt. Die Verdunstung von Wasser über diesen Flächen ist höher als bei andern Verkehrsflächen. Dies führt auch zu einer niedrigeren Temperatur. Die Verdunstung ist Abhängig von der Beschaffenheit der Steine, der Speicherfähigkeit des Untergrundes, der Fugengröße und dem Fugenmaterial. Das bedeutet um das Mikroklima zu beeinflussen müssen wir uns diese Faktoren genau anschauen. Die Speicherfähigkeit des Untergrundes muss sich mit der Tragfähigkeit dessen gut vertragen. Dies setzt jedoch voraus, dass die Verkehrsflächen nicht zu hoch belastet werden dürfen. Oder es müssen neue Wege beschritten werden. Die Tragfähigkeit und die Versickerungsrate müssen besser angepasst werden. Meine persönlichen Beobachtungen bei stark frequentierten Pflasterflächen mit Versickerungssystem sind dahin-

gehend meist negativ. (Parkflächen vor Einkaufszentren) Oft kann man hier beobachten, dass die Bettung und der Untergrund zu geschlämmt sind und kein Wasser mehr versickern kann. Verstärkt tritt diese Erscheinung auf, an Stellen, die mit geringem Gefälle ausgebildet worden sind. Oder an Flächen die auch bei Niederschlag stark beansprucht werden und die Versickerungsrate zu gering ist. Hier haben die Feinanteile Zeit sich abzusetzen und die bestehenden Hohlräume zuzusetzen. Bild 1



Bild 1

Somit ist das Versickerungsfähige System in sich gescheitert. Die Pflasterfläche löst sich auf. In den meisten Fällen lässt sich die Versickerungsrate, auf dem Untergrund, mit einfachen Mitteln nicht wieder herstellen. Daher gilt es erst einmal zu testen, in wie weit es Möglich ist den Untergrund tragfähig und gleichzeitig speicherfähig zu machen.

Ich denke bis zur Bauklasse 3,2 haben wir schon Möglichkeiten Versickerungsfähige Pflasterflächen herzustellen, die den geringeren Belastungen Stand halten können. Bild 2



Bild 2

Die Ziele des Bundes sind jedoch ehrgeizig. Die Bundesregierung will den Flächenverbrauch bis 2020 auf 30 ha pro Tag und bis 2030 auf weniger als 30 ha pro Tag senken. Das integrierte Umweltprogramm des BMU formuliert für 2030 ein Ziel von 20 ha pro Tag. [3]

Um dieses Ziel zu erreichen sind auch in der Pflasterbauweise neue Wege nicht verzichtbar. Es müssen tragfähige Systeme erforscht werden die auch über die BK 3,2 hinaus funktionieren und versickerungsfähig sind.

Diese Systeme müssen jedoch auch noch reinigend sein um das Grundwasser nicht zu verunreinigen.

Immer mehr Sachverständige sind inzwischen der Meinung, dass unter Pflasterflächen der Nullanteil an Feinteilen sehr gering oder sogar ausgeschlossen werden soll. Dies würde ein zu schlämmen der Hohlräume hinauszögern oder vielleicht sogar verhindern. Somit wäre die Wasserdurchlässigkeit vom Untergrund gesichert.

Nun muss nur noch der Eintrag und das Absetzen von Feinanteilen verringert oder verhindert werden. Dies könnte mit Hilfe eines Filterfließ geschehen. Diese können auch durch ihre reinigende Wirkung zum Schutz von Fremdstoffen in das Grundwasser beitragen. Dazu müssten Aquafliessen verwendet werden. Im Straßenbau sprechen wir hier von Geotextilrobustheitsklasse GRK 3 oder höher. Diese Vliese werden zum Zeitpunkt in verschiedenen Bauprojekten beobachtet. (Bsp.: Ulm Münsterplatz) [5]

Es existieren auch schon Pflastersysteme mit haufwerksporigem Kern, mit Zulassung des DIBt die versickerungsfähig und reinigend sind. Ich könnte mir aber auch vorstellen Pflasterflächen aus Naturstein auf Drainsphal oder Drainbeton, mit einem versickerungsfähigen Fugenmaterial herzustellen.

Mit Verwendung von Aquafliessen könnte die notwendige Reinigung gewährleistet werden.

Auch Ausweichflächen können dazu beitragen Wasser vor Ort versickern zu lassen. Wenn es aufgrund der Belastung nicht direkt auf der befahrenen Fläche möglich ist, das Wasser versickern zu lassen, muss dies in unmittelbarer Nähe geschehen. Dies kann auf angrenzenden Parkflächen geschehen. Diese sollten dann mit Rasenfugenpflaster angelegt werden. Sie haben eine erhöhte Versickerungsrate und können aufgrund der bewachsenen Substrate mehr Wasser speichern als ein Versickerungssystem ohne Begrünung. Die Reinigung durch das Substrat ist sehr gut. Auch sollte der Planer mehr Grün für die Stadtgestaltung mit einbeziehen. Hierbei sollte man beachten, dass Pflanzen verwendet werden die den Stress mit der Hitze und Trockenheit gut vertragen.

Um sich den geänderten Niederschlägen anzupassen müssen aber auch andere Maßnahmen ergriffen werden. Hier sind Retentionsrinnen die das aufgefangene Wasser langsam in den Untergrund versickern lassen. eine weitere Möglichkeit.

Die Herausforderung, Umweltbewusster und Nachhaltiger mit unserer Welt um zu gehen ist nicht gering. Doch sollten wir allen Möglichkeiten die wir haben ausnutzen diese Herausforderung zu meistern.

Literaturangaben

- [1] <https://www.bi-medien.de/artikel-15782-gb-extremwetter-herausforderung-wassermanagement.bi>
- [2] <https://www.bi-medien.de/artikel-17762-gb-belaege-wasserdurchlaessigkeit-verdunstung.bi>

- [3] <https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/flaeche/siedlungsverkehrsflaeche#anhaltender-flachenverbrauch-fur-siedlungs-und-verkehrszwecke>
- [4] <https://www.br.de/nachrichten/wissen/hitze-in-der-stadt-mit-mehr-weiss-gruen-und-blau-verringern,RXKYznH>
- [5] Geokunststoffe im Straßenbau Fachaufsatz Alexander Eichler

LTR-Verlegung – Pflaster-Terrazzo

Bernd Burgetsmeier
Keltenstr.24, 86316 Friedberg

www.pflaster-terrazzo.de



Patent angemeldet: LTR-Verlegung – Pflaster-Terrazzo kugelgestraht

Mit einem neuartigen Ablauf beim Einbau von gebundenen Pflastersystemen wird die Ausführungsqualität verbessert und zusätzlich lärmindernde Effekte (**LTR**) erzielt. Die Tausalzbeständigkeit der Fuge wird signifikant erhöht (**LTR**). Zudem kann die Rutschhemmung (**LTR**) individuell auf die Oberfläche und Nutzung eingestellt werden. Hervorzuheben sind noch andere positive Effekte auf die Beständigkeit der Fugen wie Schmutzempfindlichkeit, Reinigungsfähigkeit etc. sowie größere und neue Gestaltungsvarianten.

Verfahrensbeschreibung:

Die aktuell in den technischen Regeln beschriebene gebundene Bauweise (kurz: gebBw) legt den Focus auf eine hohe Funktionalität, stellt aber einen Kompromiß

von weiteren, aber auch begründbaren Ansprüchen dar. Zu nennen sind da in erster Linie optische Eigenschaften, Geräuschemission, Tausalzbeständigkeit sowie die Rutschfestigkeit.

Bisher wurden nach den aktuellen Regelwerken Pflastersteine aus Naturstein, Klinker oder Beton mittels Haftschrämlage auf einen Drainagemörtel versetzt und mit abgestimmtem Fugenmörtel ausgefugt. Nach Beginn der Ansteiffase wurde abschließend die Oberfläche manuell oder mittels Schwammputzmaschine abgewaschen. Aufgrund der erforderlichen Reinigungswirkung entstanden oftmals ungewollte Fugenvertiefungen. Zudem wurde oft beobachtet, dass sich durch das Abwaschen der Wasserzementwert in der Fugenoberfläche verschlechterte. Dies führte bereits in den ersten Betriebsjahren durch

Witterungseffekte und mechanische Beanspruchungen zu einem verstärkten Verschleiß der Fugenfüllung.

Bei der gebW haben die verschiedenen Mantelflächen des Pflastersteins (Quader: Oberseite, 4 Seitenflächen, Unterseite) unterschiedliche Anforderungen zu erfüllen. Während die Oberseite gestaltungs-/nutzungsabhängig ist, müssen die Seitenflächen eine gute Haftzugfestigkeit zum Fugenmörtel eingehen und die Unterseite in Verbindung mit der Haftschlämme eine gute Haftzugfestigkeit mit der Bettung.

Pflaster Terrazzo

Das neuartige Verfahren verzichtet nach dem Anstarren auf den Abwaschvorgang. Es wird lediglich der Fugenmörtel im frischen Zustand mittels Gummi- bzw. Schaumstoffschaber abgezogen. Nach Aushärtung des Fugenmörtels wird die Oberfläche durch Kugel- oder Sandstrahlen, Flammstrahlen, Stocken und/oder Schleifen gereinigt und zugleich veredelt. Es wird also die restliche Zementschlämme abgetragen und gleichzeitig die gewünschte Oberflächenqualität durchgängig an Stein und Fuge hergestellt.

Die Pflastersteinoberflächen können daher unabhängig von den Produktionsstätten einfacher und günstiger produziert werden (z.B. Naturstein mit gesägter Oberfläche, Beton mit Vorsatz als Rohling). Alle veredelnden Oberflächenverfahren können so im Nachgang zielgerichteter auf Stein und Fuge gleichzeitig realisiert werden – Pflaster-Terrazzo.

Dadurch können aber auch die Seitenflächen und die Unterseite individueller an das System angepasst werden. Es kann bei Betonstein die Fertigung mit reduziertem w/z-Wert erfolgen, wodurch die angeformten Abstandshalter qualitativ leiden, also nicht mehr sauber ausgebildet werden können. Diese Abstandshalter sind aber für die gebundene Bauweise ohne Bedeutung, da die Fugenbreite sowieso vergrößert werden muß. Der Vorteil liegt an der rauheren Seitenfläche der Betonsteine, die zu einer höheren Haftzugfestigkeit in der gebW führt. Bei Naturstein können entsprechende Profilierungen ebenso die Haftzugfestigkeit signifikant erhöhen.

Auch bei den Steinunterseiten können entsprechende Vorgänge leistungssteigernd auf das Gesamtsystem eingesetzt werden, z.B. Profilierungen, z.B. LP 5, 5f oder VS 5.

Vorteile:

- Höhere Ebenheit, da glatte/gesägte Steine genauer versetzt werden können.
- Beseitigen von ganz leichten Überständen benachbarter Pflastersteine, sog. Überzähne durch das nachträgliche Bearbeiten der Oberfläche.
- Höhere Fugenfestigkeit, da die Fuge bei unbearbeiteter Steinoberfläche, also ungefasten Steinkanten oben senkrecht zur spitzen Steinkante endet. Bei bearbeiteten Steinen ergibt sich zwangsläufig eine Kantenabrundung (Steinfase), wodurch die Fuge am oberen Ende eine Aufweitung bewirkt, deren Stabilität gemindert ist. Kerbspannungen werden also verringert. Die klassische gebundene Bauweise mit Abwaschvorgang erreicht üblicherweise eine Fugentiefe von 3-5mm und neigt zum Abwittern in der Folgezeit.
- Verwendung spezieller Fugenmörtelrezepturen mit optimierter Druckfestigkeit und E-Modul.
- Erhöhung der Frost-/Tausalzbeständigkeit, weil die oberflächennahe Zone der Fuge nicht durch den Abwaschvorgang verwässert/verdünnt wird.
- Bessere Anpassungsmöglichkeiten hinsichtlich Rutschfestigkeit (alles möglich nach Kundenwunsch und Anforderung).
- Bessere Anpassungsmöglichkeiten hinsichtlich Rautiefe, die sich auf die Lärmreduktion auswirkt (sh. Merkblatt für Lärmarme Pflasterbauweisen in ungebundener Ausführung, M LP FGSV 621). Es ist eine Unterschreitung der Werte des M LP anzustreben und erreichbar (noch leiser als dort beschrieben, weil die Fugenvertiefung wegfällt oder reduziert wird).
- Zudem höhere Lärmreduktion wegen der Ebenheit zwischen Stein und Fuge.
- Identische Rautiefe von Steinoberfläche und Fugenoberfläche.
- Bessere Anpassungsmöglichkeiten hinsichtlich Schmutzempfindlichkeit von Stein und Fuge – es bleibt kein Schmutz in der Fugenvertiefung.
- Hohe Tausalzbeständigkeit (es werden in der Praxis die Laborwerte der Produkthersteller nahezu erreicht). Durch die fehlende Fugenvertiefung kann kein Salzwasser in der Fuge stehen bleiben und schädigend einwirken. Hoher Abwascheffekt bei Regen und Befahrung.
- Minderkosten – günstiger als die klassische gebW, da die Oberflächenveredelung der Steine und der Abwaschvorgang des Verlegers wegfallen. Beides wird in einem Vorgang am Ende erledigt.

Vorgehensweise:

Die Planung, Bestellung und Verlegung als Regelbauweise erfolgt prinzipiell genauso wie in der klassischen gebundenen Pflasterbauweise gemäß ATV DIN 18318 Sep. 2019, TL Pflaster StB '06/15, M FPgeb 2018. Es bedarf einer detaillierten Fachplanung und Abstimmung aller Komponenten.

Zur regelgerechten Realisierung von höheren Belastungsklassen (Bk 1,8; Bk 3,2; Bk 10 bis hin zu Bk 32) können sowohl bei Betonpflaster als auch bei Naturstein und Klinker spezielle Verfahren produktionsseitig ergänzt werden, will man erhöhte Qualitäten/Risseminimierung bzw. höhere Haftzugfestigkeiten erreichen. Entsprechende Eignungsprüfungen für die LTR-Verlegung liegen dem Unterzeichner für Beton und Naturstein vor.

Ausführung:



Versetzen von 5-seitig kugelgestrahlten Granitsteinen, Oberseite gesägt.



Verfugen/Einschlämmen mit Zementmörtel
Abbinde-/Aushärtungszeit > 28 Tage, Nachbehandlung

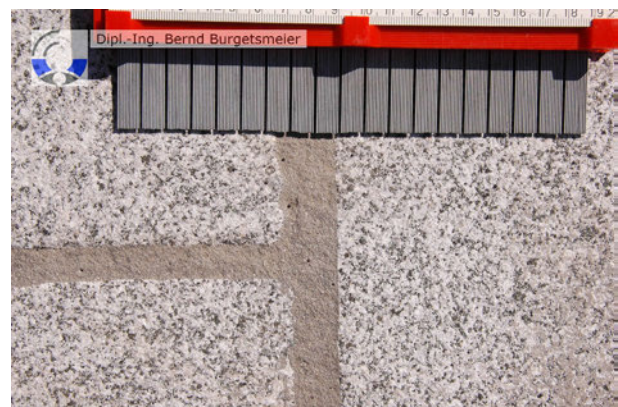
LTR-Verlegung, Oberfläche kugelgestrahlt



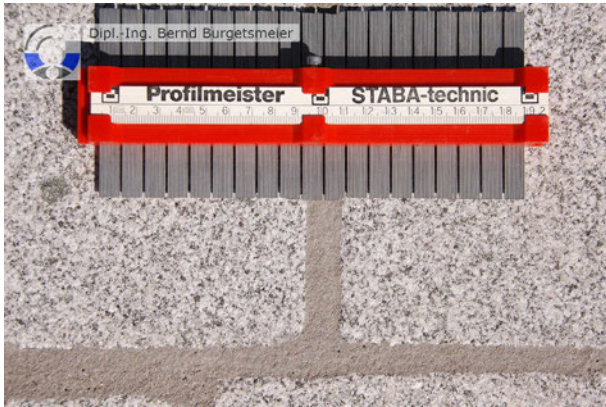
Vor Strahlvorgang



Strahlvorgang



Fugenvertiefung minimal < 1mm sh. Profilabtaster



Fugenvertiefung minimal < 2mm sh. Profilabtaster



Vergleich herkömmliche Bauweise zu LTR-Verlegung – Pflaster-Terrazzo



Pflaster-Terrazzo ^{kugelgestrahl}: Flächenfertige Rauhigkeit nach Bedarf auf Stein und Fuge

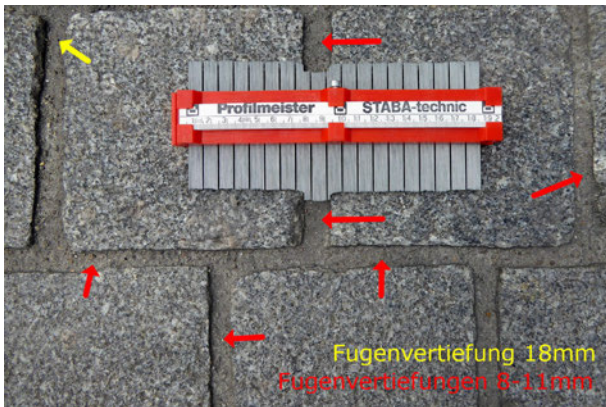
Prognostisch sind mit Betonpflastersteinen voraussichtlich noch ebenere Flächen zu erzielen, da der Festigkeitsunterschied zwischen Stein und Fuge besser egalisiert werden kann.

Ausführungsbedingungen für den Strahlvorgang:

- Ausgehärtete Fläche muß trocken sein.
- Ausführungstemperaturen: -20°C bis +40°C



Vergleich herkömmliche Bauweise zu LTR-Verlegung – Pflaster-Terrazzo



Fugenvertiefung herkömmliche gebBw 5-7mm, nach einigen Jahren auf > 10mm abgewittert wegen Tausalzbelastung, die im Fugenraum stehen bleibt und nicht abläuft.

Bei Rückfragen wenden Sie sich bitte an mich.
Dipl.Ing. (FH) Bernd Burgetsmeier



BIM in der Planung

Implizite 5D-Volumenmodelle für die modellbasierte Leistungsmeldung beim Bau der A7 (PPP)

Dr. rer. nat. Klaus Tilger

A+S Consult GmbH, Schaufußstraße 19, 01277 Dresden

Zusammenfassung

Es wird ein Ausschnitt eines praktischen Workflows dargestellt, mit dem aktuell das PPP-Projekt A7 der VIA-IMC durchgeführt wird. Die VIA-IMC ist einer der Innovationsführer beim Einsatz neuer Planungs-, Bau-, Abrechnungs- und Vermessungsmethoden. Gemeinsam mit A+S wurde und wird ein passgenauer Workflow für das ausführungsbereite Planen und Bauen mit BIM entwickelt. Die Workflows und Lösungen werden sofort in der Praxis sowie am Projekt eingesetzt, validiert, entsprechend reguliert und schließlich standardisiert. Im Vortrag wird der Schwerpunkt auf den technischen Aufbau des SOLL- und IST-Modells mit dynamischen Mengen gelegt. Dazu wird das Infrastructure Information Modelling eingeführt. Das Nachnutzen sowie Zusammenspiel zwischen Planer und Baustelle ist nicht Vortragsbestandteil.

1. Theorie: IIM

BIM im Hochbau unterscheidet sich von BIM in der Infrastruktur. Konzepte des Hochbaus sind Teil der Konzepte in der Infrastruktur. Der Fokus verlagert sich auf verteilte heterogene linienhafte Planung mit essenziellem Daten- und Informationsbezug.

Projekte werden mit BIM ganzheitlich und vernetzt im Team geplant, gebaut und betrieben. Alle Leistungen

werden auf Grundlage fachmodellbasierten Arbeitens sowie auf Grundlage eines gemeinsamen Datenmodells erbracht.

Was bedeutet fachmodellbasiertes Arbeiten? Wann, wie und in welcher Tiefe werden Fachmodelle zum Planungsinstrument? Die möglichen Antworten darauf liefern zwei unterschiedliche Ausrichtungen und somit Sichtweisen auf die Aufgabe und spätere Anwendung von Fachmodellen:

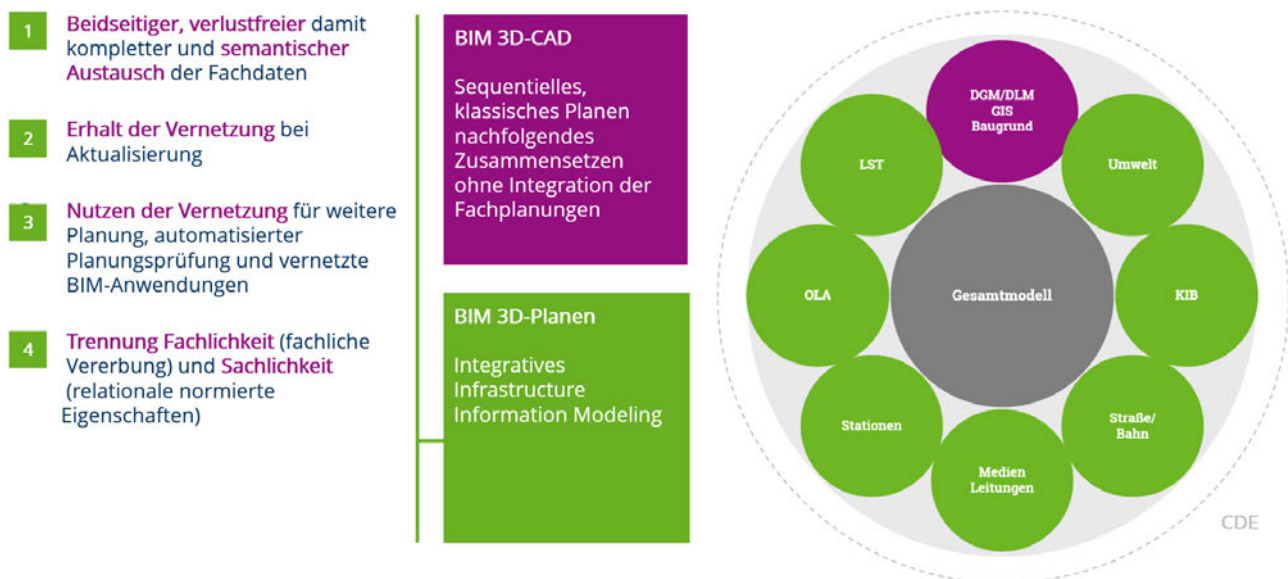


Abbildung 1: Zwei unterschiedliche BIM-Strategien im Umgang mit Modellen, [1]

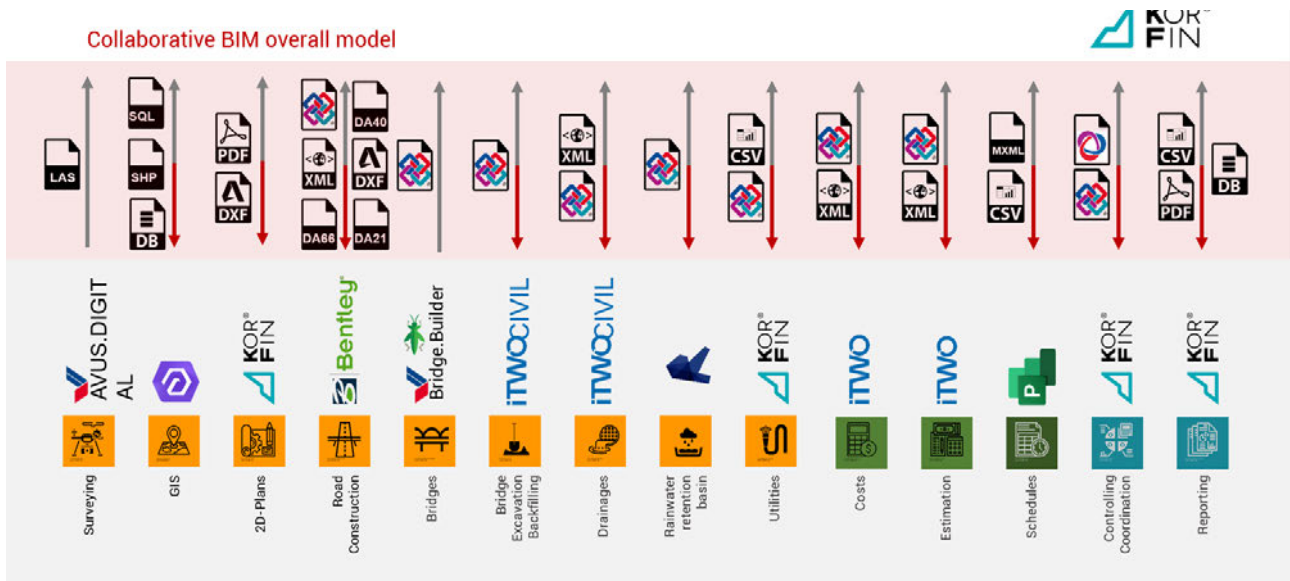


Abbildung 3: Beidseitige praktisch eingesetzte Schnittstellen A7, [2]

1.1 Aufbau impliziter 5D-Planungsmodelle

Linienhafte Fachobjekte erstrecken sich über einen langen Bereich der Infrastruktur. Diese bilden trotz ihrer Ausmaße genau einen Fachplanungsgegenstand. Später beim Planen der Realisierung oder beim Bauen müssen diese in Segmenten (also kleine Scheiben) betrachtet werden. Diese Segmente existieren nicht in der Fachplanung. Zum Lösen dieses Dilemmas wird die Volumensegmentierung eingeführt.

Explizite Volumensegmentierung

Die explizite Volumensegmentierung generiert feste und in der Planungsphase fixierte Segmente. Das geschieht

in vielen Fällen extern, in dem jedem Segment ein Fachobjekt zugewiesen wird. Das führt zur fachlichen Zerlegung eines Fachplanungsgegenstands innerhalb eines Fachobjekts (Damm, Forstschutz, etc.). Damit ist die segmentierte Ansprache möglich, jedoch die Planungsnetzwerk zerstört.

In der hier beschriebenen Anwendung wird die Volumensegmentierung vom Verhalten des Fachobjekts intern durchgeführt. Die 1-zu-1-Relation zwischen Fachplanungsgegenstand und Fachobjekt bleibt erhalten. Die Segmente bleiben durch Fachintelligenz ebenfalls ansprechbar.

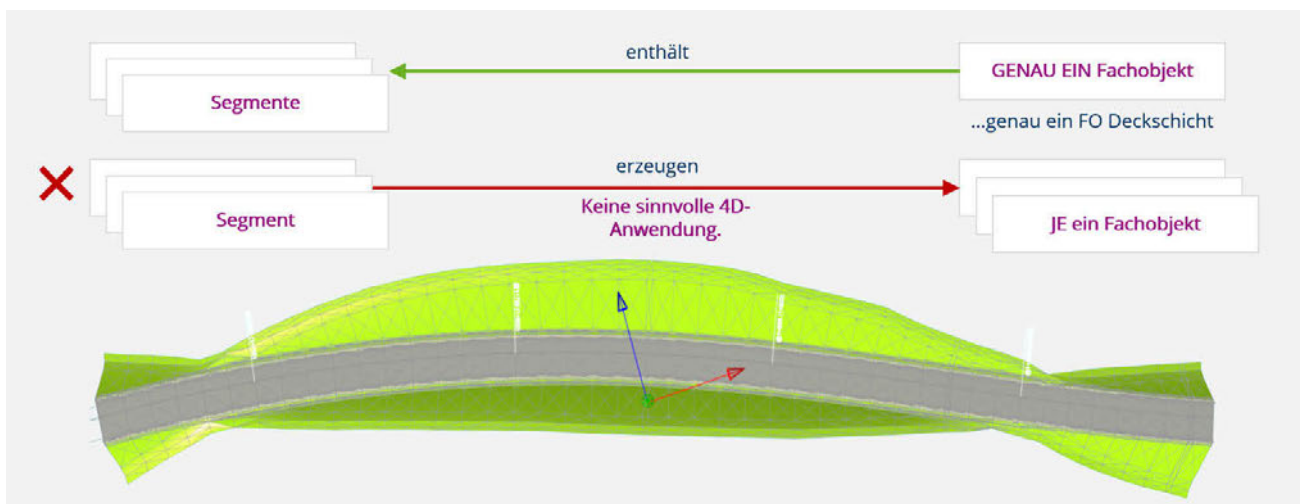


Abbildung 4: Explizite Volumensegmentierung, [1]

Implizite Volumensegmentierung

Im weiteren Planungsverlauf entstehen Segmente, die der Planer nicht vorhersehen kann. Diese Segmente existieren daher nicht bei der ursprünglichen expliziten Volumensegmentierung. Um die unbekannt Segmente ebenfalls im Modell und damit in Workflows zu integrieren, wird das Konzept der impliziten Volumensegmentierung eingeführt.

Die nachträgliche Interpolation von Querprofilstellen und damit das nachträgliche Teilen von Volumen ist für die 4D-Planung oder den späteren Bauprozess notwendig. Diese nachträgliche Volumensegmentierung geschieht nach fachlicher Parametrik in der 4D-Ebene oder in einer Phase, in der die Planung abgeschlossen ist. In beiden Fällen darf die Planung der 3D-Ebene nicht verändert werden. Die Teilung muss mit der gegebenen fachlichen Parametrik also so erfolgen, dass sie das Endergebnis des Fachobjekts (Gesamtvolumen) nicht beeinflusst.

Die implizite Volumensegmentierung benötigt eine interne Segmentierung und ist Voraussetzung für die Definition einer individuellen und dynamischen, erst später beim Baufortschritt bekannten Segmentierung des Fachobjekts.

entstehen Datenredundanzen. Um das intelligente sowie fachlich spezialisierte Verhalten von Fachobjekten abbilden zu können, ist die Vernetzung essenziell. Sie wird demnach auch bei der impliziter Volumensegmentierung benötigt.

1.2 Integration expliziter Fachmodelle

Die Arbeitsweisen von BIM haben sich etabliert. Auch wenn die Fachlichkeit durch fehlende Vernetzung, Parametrik oder durch Zersplitterung verloren geht, müssen die Ergebnisse im 3D-Planen verwendbar und integrierbar sein. Demnach wird im Folgenden die Migration in das 3D-Planen beschrieben.



Abbildung 5: Implizite Volumensegmentierung, [1]

Fachobjekte linienhafter Volumina sollte also durch ihr fachliches Verhalten (Fachintelligenz) in der Lage sein, dynamische Teilungen so vorzunehmen, dass ihre interne Segmentierung die Schnittbereiche der 4D-Planung oder der Ausführung individuell bedient. Dabei bleibt die Einheit des Fachobjekts bestehen und zerfällt nicht in weitere Fachobjekte.

Vernetzung zwischen Fachobjekten und Informationen

Die Vernetzung von Fachobjekten und Informationen sind essenzielle Merkmale von intelligenten Modellen für den Einsatz im Informationsmanagement und damit essenzielle Merkmale von BIM.

Ohne Vernetzung verbleiben lediglich geometrische Repräsentationen von Fachplanungsgegenständen mit ausgewählten alphanumerischen Eigenschaften ohne Bezug zur originären Fachplanung und zu Abhängigkeiten sowie ohne fachliches Verhalten; im schlechtesten Fall

Von Fachplanungen abgeleitete Fachmodelle werden zunächst als unspezifische Fachobjekte mit unspezifischen Eigenschaften interpretiert. Diese unspezifische Fachobjekte müssen dann

Anforderung	Nutzen
über einen Lifecycle eindeutig identifiziert sein,	Möglichkeit zur externen Anreicherung und Vernetzung im Gesamtmodell.
eine eindeutige Typisierung tragen und	Zuweisung zu einem eindeutigen fachlichen Planungsinhalt.
alle Eigenschaften in ein datentechnisch widerspruchsfreies normalisiertes Datenmodell übertragen.	Möglichkeit der normalisierten Auswertung und zukünftigen KI-Anwendungen.

Es ist darauf zu achten, dass auch die Qualitätssicherung der Geometrien erfolgt.

Mit diesem Workflow lassen sich Fachmodelle aus nicht BIM-fähigen Werkzeugen (konventionelle Planung) oder abgeleitete Fachmodelle direkt nutzen. Den bearbeiteten Fachobjekten wird so rückwirkend die fachliche Intelligenz wieder hinzugefügt (Workflow des reverse Engineerings).

Ergebnis einer Übertragung von Bauwerken und Baugruben im Projekt A7:

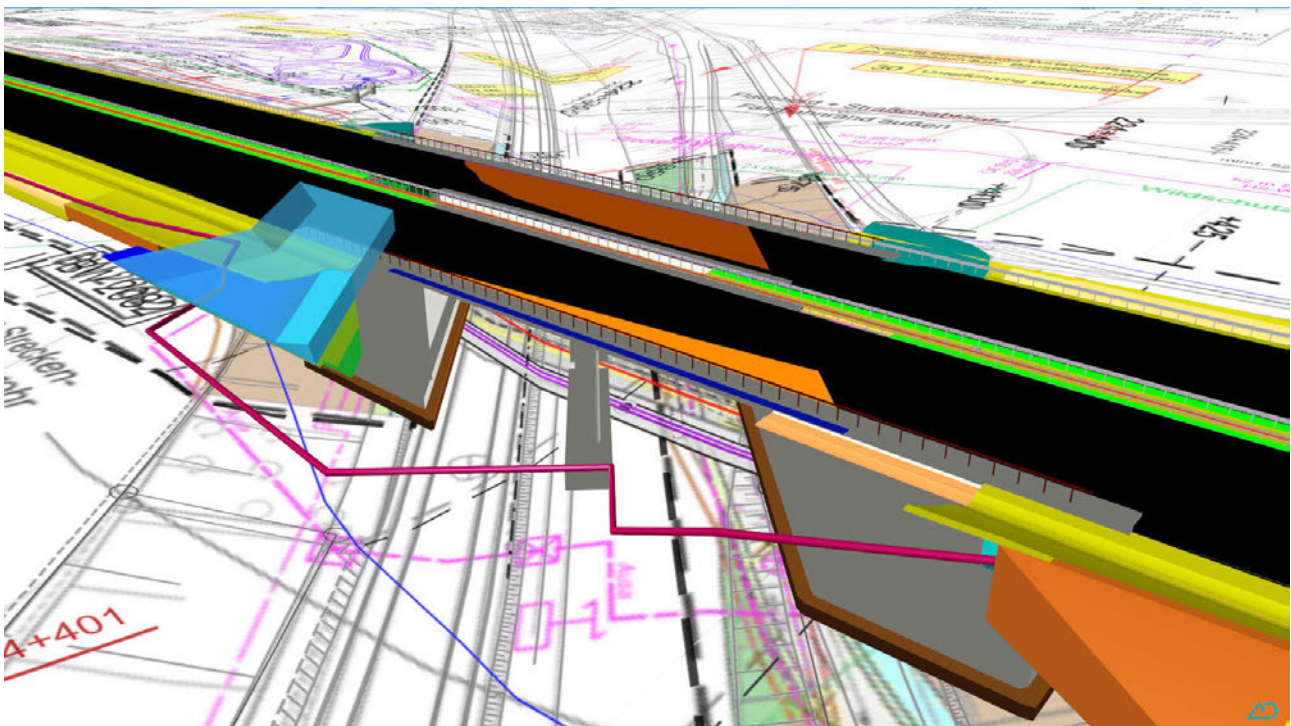


Abbildung 6: Reintegriertes Bauwerk aus BIM-3D-CAD, [3], [4]

2. Praxis: Dynamisches Gesamtmodell A7

Das SOLL-Modell für die Bauabrechnung entsteht aus fester Bestandsvermessung, Luftbilder des Bestands sowie aus impliziten Volumina des Ober- und Erdbaus wie ungebundene und gebundene Deckschichten, Tragschicht sowie Auf- und Abtrag des Oberbodens. Alle Volumina sind vollständig über der Planung parametrisiert und keine statischen Planungsvolumen. Durch Vernetzung zu einem Terminplan entsteht das 4D-SOLL-Modell. Melden von gebauten Teilen der dynamischen Volumina oder ganzer Fachobjekte (wie Entwässerungsschächte) führen zum digitalen Erfassen des Baufortschritts und damit zum IST-Modell.



Abbildung 7: 5D-SOLL-Modell A7, [3], [4]

Darstellung der Features mit Open-BIM-Schnittstellen:

Feature	Beschreibung	Open-BIM-Schnittstellen
Trassierung	Vollständige Integration und Vernetzung der Trassierung als parametrische Grundlage davon abhängiger Fachobjekte (Achse, Gradiente, Querneigungen).	040, S21, LandXML, TRA/ GRA, OKSTRA, ...
interne sowie implizite Segmentierung	Rekonstruktion der Volumina auf Basis der Fachplanung durch Modellierung an beliebigen diskreten Stationen und somit Realisierung der internen sowie impliziten Segmentierung	D66, CARD/1-PRO, VES-TRA-QPEX, LandXML, OKSTRA
Lifecycle	Vollständiger Lifecycle aller Fachobjekte – auch von Importen oder aufgesetzter Fachmodellierung.	ISYBAU, CSV, XML, IFC, ...
Vernetzung	Vernetzung für Bildung von fachlichem Verhalten spezieller Fachobjekte (parametrische Vernetzung), innerhalb von Eigenschaften und für die fachliche automatisierte Qualitätssicherung.	(offene normalisierte relationale Datenbank)
Pläne	Integration und Georeferenzierung von Plänen.	PDF, ECW, JPG, ...
Leistungsmeldung	Bildung und Umsetzung des Workflows zur Leistungsmeldung und damit qualitätssicherer Aufbau des IST-Modells. Ableiten von abrechenbaren IST-Mengen.	(CSV)
SOLL/IST	Automatisierte Gegenüberstellung von SOLL und IST sowie Berechnung der jeweiligen Differenzen in Bezug auf Fachobjekte, (Teil-)Mengen und Zeitpunkten.	Export IFC

Grundlegende Vermessung und DGM

Zur Erstellung des DGM wurde eine Befliegung per Drohne der Gesamtstrecke durchgeführt. Diese Aufnahmen galten der großflächigen Bestandserfassung mit Berechnung des vermaschten DGM für notwendige Auf- und Abträge. Die Aufnahmen und Auswertungen erfolgten durch die Plattform AVUS.DIGITAL der VIA IMC. KorFin erstellt aus dem DGM ein dichtes Höhenetz, welches die Vermessung in Echtzeit auswertet. Die Luftbilder dienen als Dokumentation und fließen als hochaufgelöste texturierte Oberfläche in das Gesamtmodell ebenso ein.

2.1 3D-Modellierung

Per Vernetzung zu externen Achsen, Gradienten und deren Querprofilen werden alle Volumina der Planung und Abrechnung parametrisch – somit implizit – definiert. Das bedeutet, dass bei externer Änderung einer Abhän-

gigkeit die Planungsvolumina automatisch nachgeführt werden.

Ausgangspunkt sind Querprofilflächen oder Querprofillinien mit oder ohne Punktsemantik, die einzeln oder kombiniert Querprofilflächen ergeben. Damit wird zwischen zwei Querprofilflächen innerhalb eines Segments genau ein gültiger Volumenkörper gebildet, der stets einen positiven Volumenwert besitzt. Der gesamte Prozess der Volumenberechnung ist mathematisch validiert und garantiert die Belastbarkeit der Volumenwerte.

Die Segmente werden innerhalb genau eines Fachobjekts mit eindeutiger fachlicher Klassifikation gehalten. Ergebnis der schichtweisen vollständig baufähigen geplanten Volumina:

In dieser Phase können die Ergebnisse mit Volumenberechnung und Klassifizierung als IFC, CPIXML oder in einer Datenbankstruktur ausgegeben werden. Ein direktes Fortfahren in externen Workflowpipelines ist garantiert.

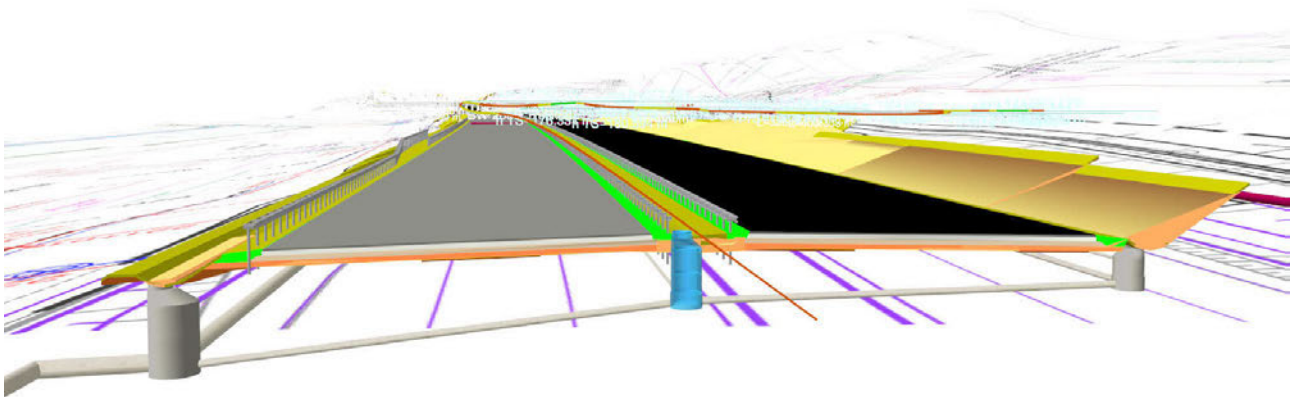


Abbildung 8: Fachobjekte des Erd- und Oberbaus (Straße) mit interner impliziter Segmentierung, [3], [4]

2.2 Querprofile und freie Modellschnitte

Querschnitte müssen an jeder beliebigen Stelle einer Trassierung berechenbar sein. Innerhalb dieser Querschnitte müssen die Querprofile der Planung sowie die Schnitte aller Fachobjekte an diesem Querschnitt vorhanden sein.

Durch Überlagerung der Fachplanung (Trassierung und Querprofile) mit der Ableitung der Planung (Volumenkörper der Segmente) wird die Qualitätssicherung im Querschnitt durchgeführt:

Damit sind auch algorithmische Entscheidungen zur Vermaschung und Einteilung von positiven und negativen Volumenkörpern sowie die Überlagerung von externen Fachmodellen wie Baugruben und KIBs ersichtlich.

2.3 4D-SOLL-Modell

Werden die Fachobjekt mit stabilem Lifecycle mit 4D-Vorgängen des Terminplans vernetzt, entsteht das 4D-SOLL-Modell. Die Vernetzung geschieht über virtuelle Teilmodelle des Gesamtmodells:

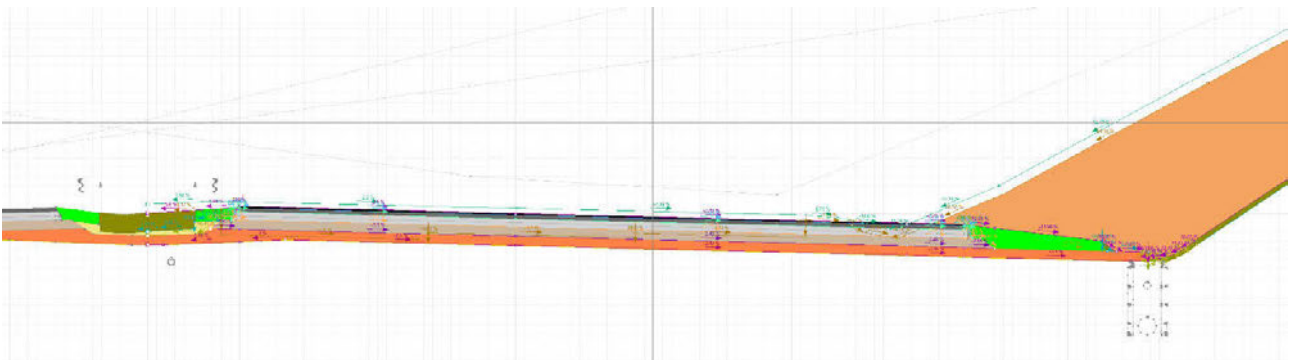


Abbildung 9: Querprofil innerhalb des Gesamtmodells mit Fachplanung und Modellschnitt, [3], [4]

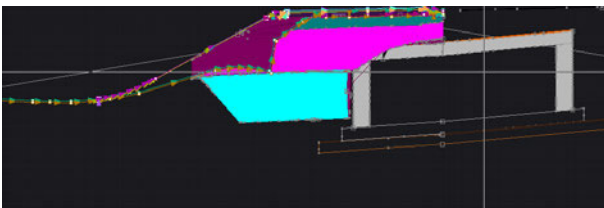


Abbildung 10: Kombination von externen Fachmodellen im Querschnitt, [3], [4]

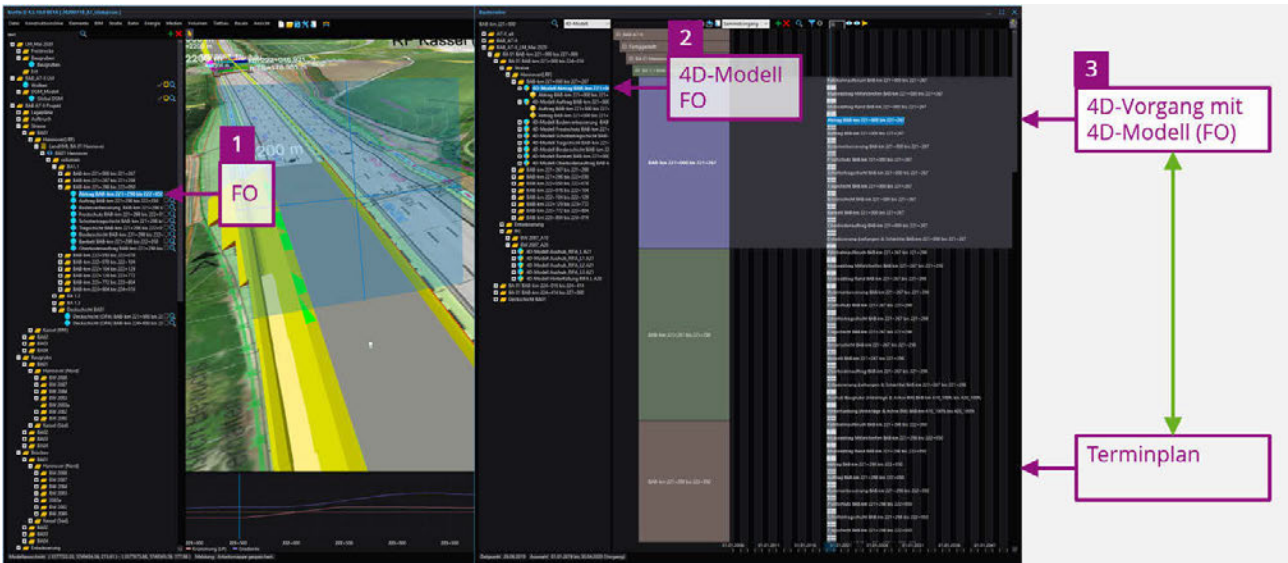


Abbildung 11: Prinzip der Vernetzung von 3D-Ebene mit 4D-Ebene, [1], [4]

2.4 Vernetzte 3D-, 4D- und 5D-Auswertung Straße

Modellbasierte Mengen sind Maße, die direkt aus den Fachobjekten mit ihren modellierten Geometrien abgeleitet werden. Sie entsprechen damit stets der in Fachmodelle umgesetzten Fachplanung. Geschieht die Umsetzung dynamisch, sind damit auch die modellbasierten Mengen konsistent zur Fachplanung und in ihrer Berechnung qualitätsgesichert.

Das 5D-Gesamtmodell hat durch die integrierte Vernetzung Zugriff auf alle Teilaspekte der gesamten Planung. Die Informationen sind jeweils eindeutig und konsistent. Es können nun zeitbasierte Auswertungen erfolgen: Damit geschieht die Berechnung der Volumen- und Volumenteilwerte on-the-Fly. Der Volumenteil wird aus dem 4D-Zeitverhalten der vernetzten 4D-Vorgänge und unter

Berücksichtigung impliziter Segmente durch den aktuellen Zeit- und Ausführungsstand sowie ausschließlich auf der Planungsparametrik bestimmt. Damit ergeben sich modellhafte Mengen zu Volumenteilwerten sowie Stationsbereiche, die zu bestimmten Zeitbereichen gebaut sein sollten (SOLL).

4D-Modellteil	
Anteil Teilvolumen [%]	45.33949149
Lokale Nummer	23991
Modellteil	Schottertragschicht BAB-km 246+956 bis : 246+975 - 247+062.500
Teilbereiche (Bau)	
Teilvolumen	281.3427428
Vorgang	BA 5 RF Ha Ungebundener Oberbau STS
Zeitbereiche (Bau)	2020.03.02 - 2020.03.03, 19:12

Figure 13: Details eines 4D-Modellteils, [3]

BA 5 RF Hannover
Station 242+970 bis
Station 250+170

Schotter Tragschicht 3D-Modell:
Gesamtleistung
22387 m³

Schotter Tragschicht 4D-Modell:
Teilvolumen: 99,9% fertig
Fertig: 2371 m³
Offen: 15.6 m³

Abbildung 12: 5D-Auswertung über gegebenes Zeitintervall A7, [3], [4]

2.5 4D-IST-Modell (mit Mengen)

Eine Leistungsmeldung ist erforderlich, um den angefallenen geplanten Mengen und Kosten (SOLL) die tatsächlichen Leistungen (IST) gegenüberstellen, eine belastbare kurzfristige Ergebnisrechnung erstellen sowie damit das operative Baustellenergebnis ausweisen zu können. Neben dem SOLL (aktuell bekannt) und IST (tatsächlich festgestellt) kann das Budget kontrolliert und ggf. eine Prognose (Forecast) abgegeben werden.

Die VIA IMC meldet modellbasiert den IST-Zustand über das Gesamtmodell. Damit wird die IST-Information von der Baustelle im Gesamtmodell erfasst.

Neben Fachobjekten und Teilmengen werden auch Vorgänge fertiggemeldet. Wird kein Vorgang angegeben, ergibt sich der SOLL-Zeitpunkt der Bauleistung aus dem vernetzten Vorgang zum jeweiligen Fachobjekt.

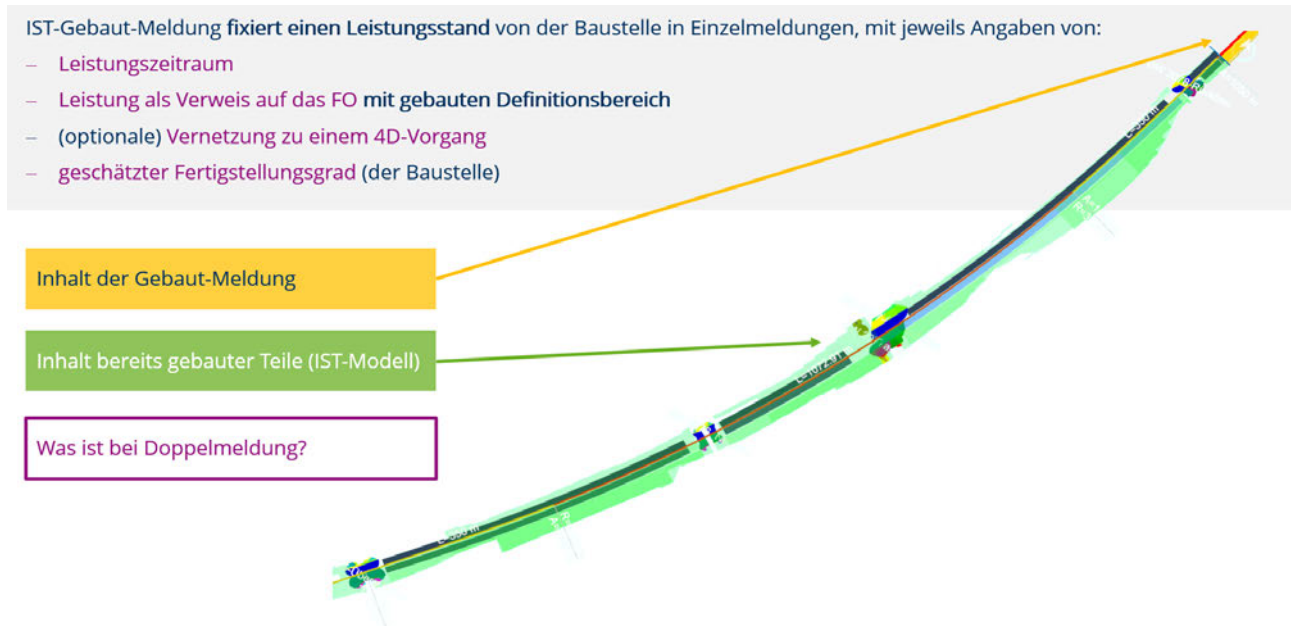


Abbildung 14: Prinzip: IST-Gebaut-Meldung (Leistungsmeldung), [1]

IST-Gebaut-Meldung: Praxisbeispiel

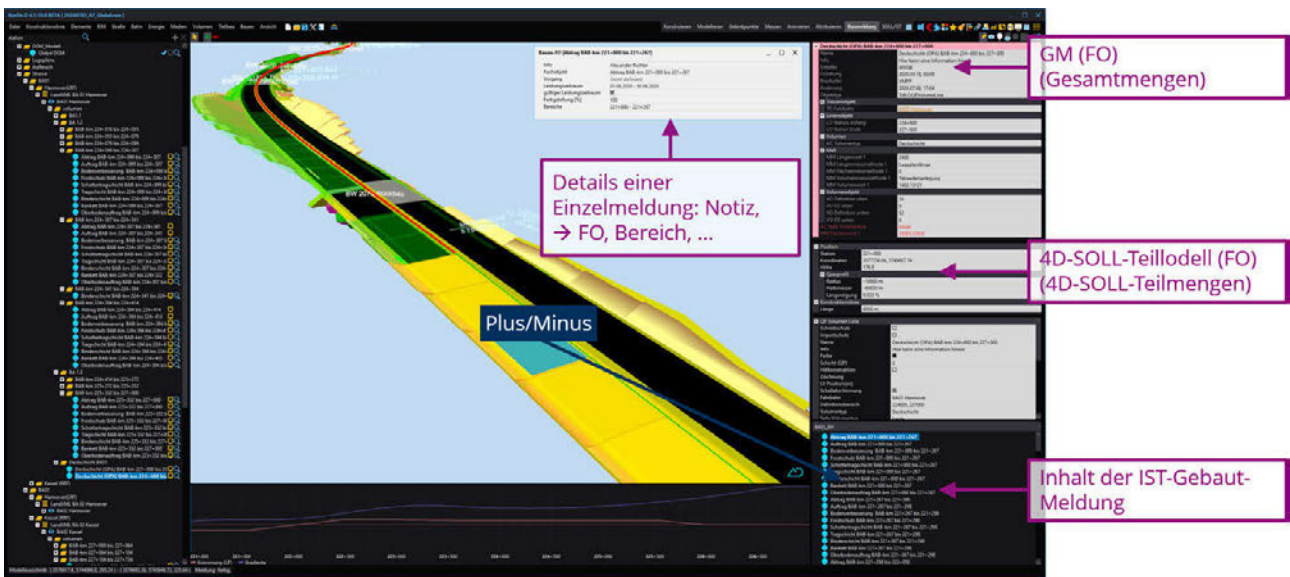


Abbildung 15: Praktische IST-Gebaut-Meldung (Leistungsmeldung), [1], [4]

Der „Melder“ wählt die entsprechenden Segmente der entsprechenden Fachobjekte (Plus/Minus in der Abbildung) direkt im SOLL-Gesamtmodell. Die Auswahl einer Gesamtmeldung ist gelb, bereits gemeldete Teile sind grün, doppelt gemeldete Teile sind rot.

2.6 SOLL-/IST-Vergleich

Der Benefit eines technisch korrekten SOLL-Modells zusammen mit der Erfassung eines regelmäßigen IST-Zustands ergibt sich nun sofort aus der maschinellen Gegenüberstellung von SOLL und IST. Im Ergebnis werden SOLL-Modell, IST-Modell (grün), Modell der Bauverzögerungen (rot) und Modell der zukünftig schon erbrachten

Leistungen (gelb) zu einem beliebigen vergangenen, aktuellen oder zukünftigen Datum in Echtzeit visualisiert.

Nur IST-Auswertung: Beispiel

Die Fertigstellung wird für jedes Planungsvolumen an einem vergangenen oder zukünftigen Datum ausgewertet. Diese Fertigstellung wird aus den Mengen bezüglich gebauter Längen, Flächen oder Volumen berechnet oder aus der Einschätzung des Bauleiters ermittelt.

Da der IST-Bereich der Fertigstellung nicht dem SOLL-Bereich der Planung entsprechen und trotzdem eine belastbare Aussage zu Teilvolumina ermittelt werden muss, muss zwangsläufig eine implizite Segmentierung verwendet werden.



Abbildung 16: Auswertung IST-Modell, [3], [4]

Anwendungsfall SOLL/IST-Vergleich

Es werden geplante Aktivitäten, geplante Teilmengen und geplante Teilkosten den tatsächlich durchgeführten Aktivitäten, verbauten Teilmengen und darauf beruhenden tatsächlich anfallenden Kosten gegenübergestellt.

Eine Analyse je Fachobjekt stellt die vernetzten Informationen zur Planung (SOLL-Gesamtvolumen), mittels Terminplan und Zeitverhalten (SOLL-Teilvolumen) sowie tatsächlichem IST (IST-Teilvolumen) gegenüber. Das Ergebnis ist eine Aussage zum möglichen Rückstand.



BA 2 RF Hannover & Kassel
Station 230+331 bis Station 232+000

© VIA IMC, PPP A7, Bauvorbereitung



Abbildung 17: Beispiel SOLL/IST Auswertung eines Auftrags, [3], [4]

3. Zusammenfassung

Das Gesamtmodell resultiert aus der Zusammenführung verschieden konstruierter Teilplanungen. Die Fachobjekte der Planungsvolumina (Frostschuttschicht, Entwässerung, etc.) basieren direkt auf der Fachplanung und realisieren die neue innovative implizite Segmentierung. Damit ist es auch nach der Planung möglich, auf zu realisierende Teilvolumen beim Bauen reagieren zu können. Diese Innovation stellt die direkte Weiterentwicklung implizit definierter, intelligenter Fachobjekte in der Infrastruktur dar.

Durch zeitliche Vernetzung der Fachobjekte kennt jedes Planungsvolumen seinen geplanten Herstellungszeitraum. Dabei verfügt jeder Herstellungszeitraum über ein eigenes separates Zeitverhalten und somit über den genauen Ablauf der Bauarbeiten für das gesamte Planungsvolumen. Die Technologie des internen Zeitverhaltens stellt ebenso einen wichtigen Meilenstein dar.

Das SOLL-Gesamtmodell wird unmittelbar für komplexe 5D-Auswertung im Echtzeitumfeld oder für Exporte zu einem geplanten Zeitpunkt genutzt. Der Export vollzieht sich mit IFC und normierten Attributen.

Die VIA IMC meldet modellbasiert den IST-Zustand über das Gesamtmodell. Damit wird das Gesamtmodell durch die IST-Informationen von der Baustelle erweitert. Es entstehen ein kontinuierliches SOLL- und IST-Modell zu beliebigen vergangenen, aktuellen oder zukünftigen Zeitpunkten.

Die IST-Auswertung listet den aktuellen Stand der gemeldeten Fertigstellungen oder aus den gemeldeten Einschätzungen des Bauleiters auf. Für jedes Fachobjekt ist

somit der Fertigstellungsgrad bezüglich gebauter Längen, Flächen oder Volumina an beliebigen Zeitpunkten auswertbar. Diese Auswertung stellt somit den modellhaften abrechenbaren Leistungsstand des Projekts dar.

Der SOLL/IST-Vergleich setzt abschließend den gemeldeten Fertigstellungsgrad mit dem SOLL-Modell in Verbindung und berechnet die Differenzen zwischen Planung und aktuellem Stand. Der SOLL/IST-Vergleich über monatliche Leistungsmeldungen unterstützt die Budget- und Risikoplanung des Bauprojekts.

In Zukunft sollen weitere Auswertungen automatisiert und mit dem vernetzten Gesamtmodell erfolgen. Dazu soll die Meldung via Befliegung mit Drohnen ausgebaut werden und Rückschlüsse zur Bildung und Anpassung von Bauprozessen erfolgen.

Literatur:

- [1] Appelt, Veit; Bartnitzek, Jens; Tilger, Klaus: BIM in der Verkehrsinfrastruktur IIM – Infrastructure Information Modelling, Vorlesungsskripte, Dresden, 2020
- [2] A+S Consult GmbH, VIA IMC GmbH: buildingSMART International 2020 Awards Finalist: Construction: PPP infrastructure project management using BIM, Dresden/Berlin, 2020
- [3] KorFin 4.5: A+S Consult GmbH, Dresden, 2020
- [4] VIA IMC GmbH: PPP Projekt A7, Berlin, 2020

Digitalisierung: Wie digital sind und können Prozesse im Straßenbau werden?

Andreas Dieterle
RIB Deutschland GmbH

Zusammenfassung

Die vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) forcierte Digitalisierung im Bauwesen schreitet voran. Es ist zu erwarten, dass auf Grund der aktuellen Pandemie-Situation dieser Prozess durch unterschiedliche Einflüsse verstärkt an Fahrt gewinnen wird.

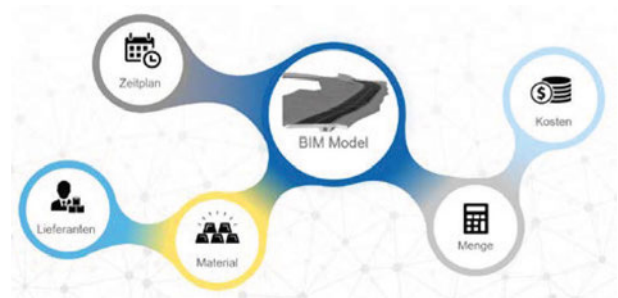
Für das Bauwesen bedeutet es die Digitalisierung in die Strukturen der eigenen Firma und in Bauprozesse Schritt für Schritt zu integrieren. Im Vortrag wird aufgezeigt, welche digitalen Daten im Straßenbau entstehen und wie diese genutzt werden können, zum Beispiel Punktwolken oder die fachübergreifende Nutzung von Modelldaten.

1. Veränderungen durch Digitalisierung

Daten beinhalten Informationen und diese werden über Kommunikationswege ausgetauscht. Neben dem persönlichen Austausch war vor 100 Jahren die Zeitung, Bücher, Papierdokumente und eingeschränkt das Radio ein wesentliches Medium zur Informationsbeschaffung und Austausch von Wissen. Durch Computertechnologie und das daraus hervorgegangene World Wide Web entstanden ganz neue Möglichkeiten zum Austausch von Informationen und Daten.

Heutzutage erfolgt häufig die Bereitstellung von Daten über einen Clouddienst und der Abruf der Informationen von unterschiedlichen Endgeräten. In nahezu allen Wirtschaftszweigen hat diese Technologie Einzug erhalten. Die Komplexität der Datenstrukturen steigt, Technologien ändern sich stetig. Das schnelle Suchen und Finden von Informationen wird immer wichtiger. In 2020 werden nach einer Statistik von VisualCapitalist in jeder Minute 500h Videomaterial weltweit hochgeladen.

Die Digitalisierung ist längst auch auf den Baustellen in Deutschland angekommen. Unternehmen arbeiten mit BIM-Modellen (Building Information Modelling), die 3D-Geometrie sowie Zeit- und Kosteninformationen durchgängig verbinden. Bauleiter und Poliere nutzen für die Kommunikation vor Ort und mit dem Büro Smartphone und Tablet und erfassen Personal- und Geräteinformationen mit modernen Apps.



Mehrwerte durch Vernetzung

Damit ein dezentrales Arbeiten ermöglicht werden kann, sind intelligente Vernetzungen und Cloud-Technologien erforderlich.

2. Punktwolken im Straßenbau

Das Scannen von Fassaden und Innenbereichen bei Gebäuden aller Kategorien oder auch für Erdbauwerke sind schon lange in der Praxis im Einsatz. Für langgestreckte Objekte, wie beispielsweise im Straßenbau, sind Scanner auf einem Stativ nur begrenzt tauglich. Durch Drohnentechnologie, die sich rasant entwickelt, hat sich das geändert. Es entstehen hochwertige Daten, die in allen Prozessschritten der Bauausführung genutzt werden können. Jeder Vorteil hat auch seine Tücken. Es entstehen gigantische Datenmengen, die genutzt werden können und sollen. Diese Datenmengen können nicht auf die Schnelle als Anhang verschickt werden und können schnell eine Festplatte an die Speicherkapazitätsgrenze bringen.



RIB iTWO civil: Projektarbeit auf Basis einer Punktwolke

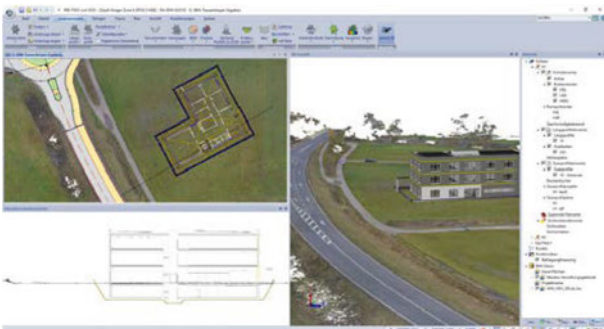
Daher sind zum Beispiel Lösungen, die Befliegungen von langen Straßenbaukörpern in einer Cloud gekachelt zum Abruf bereitstellen, zielführend. So werden nur die Daten aus den Befliegungen als Punktwolke in ein CAD-System übernommen, die tatsächlich gebraucht werden.

3. BIM-Datenmodelle fachübergreifend nutzen

BIM-Modelle (Building Information Modelling) gelten heutzutage in vielen Disziplinen als Grundlage. In Architektur und Tragwerksplanung gewinnen BIM-Prozesse verstärkt an Relevanz, weshalb die Informationen von Gebäuden, Brückenbauwerken oder auch Entwässerungsanlagen aktuell bereits oft im IFC-Format (Industry Foundation Classes) vorliegen.

Dennoch werden Architekten- und Ingenieurpläne durchaus auch heute noch als 2D-CAD-Plan, PDF-Dokument oder gar nur in ausgedruckter Form an Projektpartner weitergereicht, die diese Informationen zu weiteren, ergänzenden Berechnungen von zum Beispiel Baugruben oder zur Erschließung eines neuen Baugebiets als Referenz weiterverwenden wollen.

Dabei wäre es in Zeiten des digitalen Planens und Bauens einfacher und ginge auch deutlich schneller, die digitalen Modelldaten direkt als Referenz weiterzuverwenden.



RIB iTWO civil: IFC-Gebäudemodell in Tiefbau-CAD

Nur ein Bruchteil der Informationen aus einem Hoch-, Brücken- oder Grundbauplan sind zum Beispiel für die Berechnung einer Baugrube wirklich von Relevanz. So sind Gebäudemodelle mit kompletten Innenausstattungen versehen – von Türen über Treppen bis hin

zu sanitären Anlagen – die für anstehende Prozesse im Straßen- und Tiefbau keine Rolle spielen. Dazu kommt, das Datenvolumen ist riesig und erfordert zur weiteren Bearbeitung sowohl enorme Rechenpower als auch Speicherplatz. Hierfür bedarf es spezifischer Werkzeuge, die dabei helfen, den für Infrastrukturprojekte überflüssigen Ballast schnell und leicht abzuwerfen.

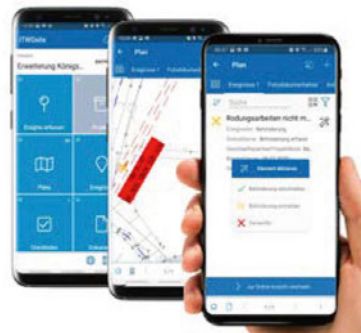
Mit einer intelligenten Softwarelösung sollte der Ingenieur zunächst eine Vorqualifizierung vornehmen können, bei der Treppenhäuser und andere irrelevante Elemente entfernt werden, damit er das Modell anschließend optional oberhalb des Erdgeschosses abschneiden kann. Übrig bleiben dabei nur diejenigen Informationen, die als Grundlage für eine zu erstellende Baugrube dienlich sind.

4. Daten für die Bauausführung

Ausführungsdaten von Erdbauwerken und Straßenkörpern können auf die Baustelle, die mit GNSS-gesteuerten Baumaschinen, wie zum Beispiel Bagger, Raupen oder Gradern ausgerüstet ist, übertragen werden.

Neben den Modellen auf den Baumaschinen sollten auf der Baustelle Ereignisse, die für den Bauprozess relevant sind, erfasst werden können.

Werden beispielsweise von einem Mitarbeiter per Smartphone Mängel am Bau fotografiert, so sollten diese für alle Verantwortlichen klar im Plan bzw. Modell ersichtlich sein. Sieht der Bauleiter den Fehler auf seinem mobilen Endgerät, braucht er gleichzeitig die Info, welcher Partner diesen verantwortet und er muss wissen, welche Art von Fehler vorliegt und wie dieser zu beheben ist.

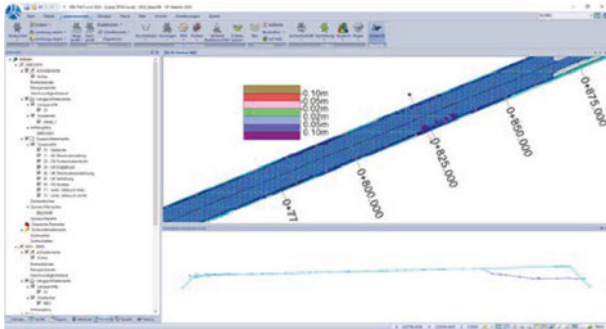


RIB iTWO site: mobile Erfassung

Ganz wichtig ist auch die Aufgabenverteilung: Wer muss was tun, um einen Mangel zu beseitigen? Optimalerweise stehen ihm dabei die Kontaktdaten der Partnerunternehmen, am besten mit allen Verantwortlichen, zur Verfügung. Nur so kann er schnellstmöglich Kontakt aufnehmen und die Behebung umgehend in die Wege leiten. Für ein dezentrales Arbeiten an immer aktuellen Daten werden Clouddienste und Web-Applikationen alternativlos.

Ein weiterer Schritt in die Digitalisierung ist es, AsBuilt Daten von der Baustelle für weitere Prozesse direkt zu nutzen. Alle beteiligten gesteuerten Maschinen über-

mitteln automatisch alle relevanten Daten der Bauausführung in ihr Cloudsystem. Die Resultate werden intelligent innerhalb des definierten Auftrags zusammengeführt. Daraus ergibt sich ein Gesamtergebnis mit detaillierten Fertigungsständen zu jeder Zeit, das gezielt abgefragt werden kann



RIB iTWO civil: As-Built-Daten

Erfolgreiche Projekte mit EPLASS BIM-Collaboration



Benjamin König

Dipl.-Wirtschaftsingenieur (FH)
EPLASS project collaboration GmbH
97080 Würzburg
Deutschland

Zusammenfassung

Eine qualifizierte CDE, von versierten Mitarbeitern gesteuert, ist für den erfolgreichen Einsatz von BIM Collaboration bei Bau-Projekten unerlässlich.

„Wer immer tut, was er schon kann, bleibt immer das, was er schon ist.“

Henry Ford

Holen Sie alle Projektbeteiligte ins Boot, um effizient arbeiten zu können und gemeinsam den digitalen Wandel voranzubringen. Mit EPLASS BIM Collaboration.

1. Vorwort

Digitalisierung, BIM, Ressourcenmanagement, Home-Office und Video-Konferenzen sind so wichtig wie nie zuvor. Planbesprechungen finden meist nicht mehr an einem zentralen Ort statt. Viele Projektbeteiligte befinden sich an unterschiedlichen Orten oder bei internationalen Projekten in verschiedenen Zeitzonen. Neue Technologien, die vor zehn Jahren noch graue Theorie waren, sind heute unsere bevorzugten Werkzeuge, welche das berufliche Leben wesentlich erleichtern. Dies setzt jedoch auch entsprechend qualifizierte Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern voraus! Neben den beruflichen Herausforderungen stehen wir im Jahr 2021 auch gesellschaftlichen Herausforderungen gegenüber, die Einfluss auf unsere Berufstätigkeit nehmen. Nach Möglichkeit nutzen viele Arbeitnehmer das Home-Office. Infolgedessen werden Planbesprechungen oder wöchentliche Jour-Fixe in digitaler Form abgehalten. Die Plan- bzw. Modellprüfung findet in den meisten Fällen ebenfalls digital statt. Damit überhaupt digital geprüft werden kann, müssen verschiedene Voraussetzungen geschaffen werden. Allen voran, die Einrichtung eines sogenannten Common Data Environment (CDE).

Wie eine CDE aussehen kann und welche Funktionalitäten benötigt werden, möchte ich Ihnen an praktischen Beispielen gerne erläutern.

2. Unternehmensvorstellung

Alles begann 1996 mit einem Ideenwettbewerb der Deutschen Bahn für die Neubaustrecke Nürnberg-Ingolstadt. Dieser hatte das Ziel, den gesamten Prüf- und Genehmigungsprozess des Projektes digital abzubilden. Mit dem Gewinn war die Idee auf einem Stück Papier geboren und so entstand 1999 als SEIB Informations Technologie Consult GmbH (SEIB ITC) unser Unternehmen.

Im Laufe der letzten 20 Jahre entwickelten wir uns zu einem international tätigen Unternehmen und es kamen zum ursprünglichen Planmanagementsystem weitere Produkte, wie beispielsweise BIM-Collaboration, Einwendungs- und Auflagenmanagement sowie Dokumenten-, Mängel- und Protokollmanagement u.v.m. im Bereich der internetbasierten Zusammenarbeit hinzu. Um einheitlich auf dem Markt auftreten zu können, wurde die Firma im Jahre 2012 in das bereits bekannte Produkt EPLASS (Elektronisches PlanmanagementSystem SEIB) umbenannt.

Mit mehr als 20 Jahren Erfahrung im digitalen Planmanagement stellt EPLASS das professionelle Know-how zur Steuerung von Bauprojekten und Infrastrukturmaßnahmen jeder Größe unter Beweis. Ob Klein- oder Großprojekt, Infrastruktur, Public Private Partnership oder öffentliche Bauherren – je komplexer die Prozesse, desto größer der Nutzen von EPLASS. Zu unseren Großpro-

jekten der Deutschen Bahn dürfen wir u.a. VDE8, S21, Hamburg/Bremen-Hannover, Tunnel Rastatt, Rhein-Ruhr-Express, ABS 48, ABS 38, ABS Hanau-Gelnhausen u.v.m. zählen. Für alle Kunden stellen wir unsere Expertise im Bereich Consulting und Digitalisierung des Prüf- und Genehmigungsprozesses in der Baubranche zur Verfügung.

3. Cloudbasierte Common Data Environment (CDE)

Damit eine CDE ihr volles Potenzial entfalten kann, müssen verschiedene Rahmenbedingungen geschaffen werden. Im folgenden Abschnitt greifen wir verschiedene Themen auf, die wir in unserer zwanzigjährigen Projekterfahrung gesammelt haben. Im Vordergrund steht der digitale Prüf- und Genehmigungsprozess, sowohl im Planmanagement (2D), als auch im BIM-Bereich (3D, 4D und 5D).

3.1 Digitale Verarbeitung

Alle Pläne/Dokumente/Modelle müssen digital vorhanden sein. Die Verwaltung und Bearbeitung der Pläne/Dokumente/Modelle findet ausschließlich in der CDE-Umgebung (Cloud) statt. Es stellt sich die Frage, warum sollte die Verwaltung und Bearbeitung ausschließlich auf der CDE stattfinden? Dafür sprechen mehrere Gründe, u.a. wird so der Manipulation der Pläne/Dokumente/Modell vorgebeugt. Wobei hier auch noch weitere Mechanismen zum Einsatz kommen müssen, wie bspw. ein integriertes Versionsmanagement oder ein Ausschluss der Bearbeitung von Daten auf der CDE, i.S.v. Änderung am Plan/Dokument/Modell selbst. Ein weiterer Grund wäre das Thema Revisionssicherheit. Gerade als Auftraggeber (AG) hat man das vorwiegende Interesse eine lückenlose Dokumentation der Schritte, die ein Plan/Dokument/Modell erfahren hat, zu erhalten.

3.2 Integrierter Viewer

Ein integrierter Viewer dient als gemeinsame Kommunikationsgrundlage sowohl im 2D-, als auch im 3D Bereich für alle Projektbeteiligten. Der Viewer muss Bestandteil des Produktes/CDE sein und sollte bspw. im BIM-Bereich die offenen Formate IFC, CPIXML und BCF unterstützen. Das Zusammenführen von mehreren Teilmodellen zu einem Koordinationsmodell muss ebenfalls zum Standardrepertoire des Viewers gehören. Attribute sollten ebenfalls im Viewer angezeigt werden. Außerdem muss eine 3D-Redlining-Funktion zur Kommentierung vorhanden sein.

3.3 Plan- bzw. Modellläufe

Workflows und Prozesse, insbesondere die Standardprozesse nach ISO 19650/PAS 1192-2, sowie die Gestaltung eigener Workflows (mit dem Ziel eines vollständigen

digitalen Prüf- und Genehmigungsprozesses) müssen nach unserer Erfahrung vollständig individuell auf den Kundenwunsch / das Projekt zugeschnitten werden. Der möglichst automatisierte Prüf- und Genehmigungsprozess steht dabei immer im Vordergrund.

Die Dokumente sollten in Abhängigkeit von Plancodierung oder anderen Metadaten automatisiert an bestimmte Workflowrollen weitergeleitet werden bzw. diese nach Bedarf überspringen. Eine Weiterleitung an bestimmte Prüfer in Abhängigkeit von der Plancodierung oder anderer Metadaten sollte dabei zum Standardrepertoire gehören. Manchmal wünscht der AG auch eine manuelle Auswahl des/der nächsten Prüfbeteiligten. Egal, ob die Auswahl manuell oder von der CDE über Filter getroffen wurde, sollte sich die CDE um alles weitere kümmern: die Pläne/Modelle werden den nächsten Prüfstellen als Aufgabe zugewiesen und müssen innerhalb der vorgegebenen Termineinstellungen erledigt werden. Eine manuelle Nachverfolgung sollte nicht erforderlich sein.

3.4 Redlining

Die Redlining-Funktion ist integraler Bestandteil bei EPLASS. Wir haben einen eigenen Viewer, der umfangreiche Redliningfunktionen mitbringt. Neben den Standards wie Freitexteingabe, Linien, Pfeile, Kreise, Wolken und Rechtecke kann der Nutzer sich auch eigene Stempel erstellen und wiederverwenden. Im 3D-Viewer können sogenannte Viewpoints erstellt werden, die mit Kommentaren versehen werden können (3D-Redlinings). Diese Daten können später als BCF exportiert werden. Der Workflow spielt, wie weiter oben beschrieben, eine zentrale Rolle in EPLASS. Die Nachverfolgung (in welcher Aufgabe/Status) der aktuellen Viewpoints, findet workflowbasiert statt.

Dabei bleibt in EPLASS die Originaldatei stets unverändert. Es wird ein sogenannter „Layer“ über den Plan/Dokument gelegt und gespeichert.

3.5 Freigabe per „elektronischer Unterschrift“

Die Freigabe erfolgt über die elektronische Signatur. Die CDE muss neben der einfachen Signatur (z.B. mit Passwort) auch die fortgeschrittene Signatur (z.B. mit Signpad) und die qualifizierte Signatur (mit Signaturkarte und PIN) nach dem Vertrauensdienstegesetz (vormals Signaturgesetz) erfüllen. Im Workflow/Prozess können die verschiedenen Signaturarten auch gemischt eingesetzt werden.

3.6 Verlinkung der 2D-Welt in die 3D-Welt

Beim Thema Verknüpfung von Bauteilen in Modellen zu anderen Dateien in der EPLASS-Datenbank (z.B. Pläne, Fotos, Prüfberichte, etc.) arbeitet EPLASS mit intelligenten Suchen auf Attribut-Ebene, sodass bei einer neuen Version des (Teil-) Modells nicht alle Verlinkungen neu

gesetzt werden müssen. In den bisherigen BIM-Projekten von EPLASS hat sich diese Art und Weise der Verlinkung als die bessere Variante herausgestellt und wird vielfach genutzt. Der große Vorteil ist auch, dass Dokumentenersteller (Nutzer, die bspw. Fotos oder Dokumente hochladen) nicht auch einen Link ins Modell erstellen müssen, sondern EPLASS automatisch anhand von Dateinamen, Ordnerstruktur, Metadaten, etc. die Verlinkung über die intelligente Suche herstellt.

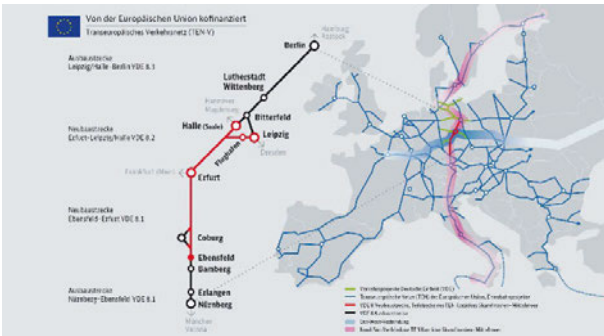
3.7 Schnittstellen zu anderen Systemen

Die CDE muss als Bindeglied zwischen den einzelnen Autorensystemen dienen. Das hat zur Folge, dass die CDE leicht mit anderen Systemen kommunizieren sollte z.B. über automatisierten Datenimport bzw. -export. per REST-API.

4. EPLASS CDE in der Praxis

Die im vorherigen Abschnitt genannten Voraussetzung für den digitalen Prüf- und Genehmigungsprozess setzt EPLASS seit über 20 Jahren in diversen Projekten der DB Netz AG, DB PSU GmbH, DEGES, Autobahndirektion Nord- & Südbayern, sowie vielen weiteren Landesbehörden für Straßenbau und Verkehr um.

4.1 VDE 8



Übersicht VDE 8; Foto: DB Netz AG

Die VDE 8 (Verkehrsprojekt Deutsche Einheit Nr.8) ist eines der Großprojekte der Deutschen Bahn. Es wurden über 230 Kilometer Schiene neugebaut, darunter 27 Tunnelbauwerke und 37 Talbrücken. Die EPLASS CDE kam 2003 zum Einsatz und befindet sich bis heute bei einigen Streckenabschnitten nach wie vor im Einsatz. Es wurden in dieser Zeit über 770.000 einzelne Pläne und Dokumente geprüft und über 2.000 User hatten Zugriff auf unsere CDE.

Meilensteine der VDE 8 waren u.a.:

- Entwicklung der Schnittstelle DOWEBA <-> EPLASS ans Eisenbahn Bundesamt (EBA)
- Entwicklung des EPLASS Nachtragsmanagements
- Entwicklung des EPLASS Einwendungsmanagements
- Verkürzung der Prüfzeiten im Vergleich zur konventionellen Prüfung (Papier) um ca. 5-10 Tage
- Drastische Senkung der Fehlerquote in der Abwicklung (Prüflauf), in Richtung Null-Fehler-Quote
- Datenzugriff/-bearbeitung ist von jedem Ort, zu jeder Zeit und mit jedem Endgerät möglich

4.2 Stuttgart 21 mit NBS Wendlingen-Ulm



Visualisierung Stuttgarter Hbf. (Visualisierung: Aldinger & Wolf)

Die DB Projekt Stuttgart – Ulm GmbH hat zum Jahreswechsel 2014/2015 das gesamte Planlaufmanagement auf EPLASS Professional umgestellt. EPLASS löste dabei ein anderes System ab. Die Umstellung im laufenden Planungsbetrieb wurde von einem Team aus DB PSU Mitarbeitern, sowie von Experten der DB International, THOST Projektmanagement und der EPLASS GmbH über mehrere Monate vorbereitet. Alle Planfeststellungsabschnitte (PFA) des Projekts haben eigene, maßgeschneiderte Workflows für ihre Prüfungsprozesse definiert, die anschließend in EPLASS umgesetzt wurden. Ab sofort steuern diese Workflows die hochkomplexen Prüfprozesse vollautomatisch. Über die in EPLASS enthaltene DOWEBA Schnittstelle zum Eisenbahnbundesamt werden Planungsdokumente ab sofort qualifiziert digital signiert an das EBA übergeben. Über die in EPLASS integrierten Prüfmöglichkeiten per sog. Redlining und den Wegfall des Postweges konnten

die Prüfzeiten signifikant reduziert werden. Die Möglichkeiten des EPLASS Terminmanagements nach einzelnen Prüffristen und Meilensteinen, gewährleisten den Planlaufmanagern und den Terminsteuerern verlässliche Informationen über den Planungsstand sowie spezielle Berichte für das Management.

„Was uns am System EPLASS in der Bedienung sehr gut gefällt, ist die logische und verständliche Oberfläche sowie die Möglichkeit, über eigene Filter jede abgelegte Information individuell abzurufen und damit auch steuern zu können. Die Beratung und Mitwirkung der Firma EPLASS war stets professionell, motiviert und hoch fokussiert.“

Dr. Florian Bitzer, Leiter Technische Fachdienste (I.GT(T))

„EPLASS hat uns geholfen, die Planungscoordination zu optimieren und die Freigaben zu beschleunigen. Es war definitiv ein Schlüssel, um die komplexen Herausforderungen eines innerstädtischen Mega-Projektes zu meistern.“

Michael Ditandy (Großprojekt Stuttgart-Ulm, Teamleiter Los 2b - HP Feuerbach)

4.3 Havellandautobahn A10/A24 (ÖPP)



Luftaufnahme Havellandautobahn (Bild: Ingo Pahl)

BIM-Pilotprojekt

Das Projekt Verfügbarkeitsmodell A10/A24 wurde als erstes nationales ÖPP-Pilotprojekt zur Integration des BIM-Ansatzes von der Planung über die Ausführung, bis hin zur Erhaltung ausgewählt. Die Anwendung der BIM-Methode im Projekt „Verfügbarkeitsmodell A10/A24“ erfolgt für die BIM-Vertragsstrecke. Die BIM-Vertragsstrecke umfasst den Bauabschnitt 4 der A24 und damit den Streckenabschnitt von km 222+675 bis km 228+175. Der Leistungsumfang auf dem 5,5 km langen Bauabschnitt umfasst neben dem Streckenbau zwei Ingenieurbauwerke, sowie eine Tank- und Rastanlage. Der BIM Planungsprozess startete im August 2018 mit der Mock-Up-Phase (Prototypische Testumgebung zur Verifizierung der projektspezifischen BIM-Arbeitsweise) und

dauert bis Ende 2021. Vorab wird ein Grundlagenmodell mit einem Modelldetaillierungsgrad LOG 100 (engl. Level of Geometry) erstellt, welches den Bestand des Geländes, ein auf Basis von Erkundungen und bestehenden Baugrundinformationen abgeleitetes Baugrundmodell, die Abbildung des Streckenbaus, den Bestand der Tank- und Rastanlage und den Bestand der Ingenieurbauwerke darstellt. Das Grundlagenmodell wird in das Entwurfsmodell, Ausführungsmodell sowie in das Übergabemodell integriert.

Die Entwurfsplanung ist im Entwurfsmodell (LOG 200) abgebildet. Aus diesem Modell werden z. B. die RAB-Ing-Entwürfe der Ingenieurbauwerke abgeleitet. Für die Ausführung wird ein Ausführungsmodell (LOG 400) erstellt, welches der Ausführungsplanung der Strecke und der Ingenieurbauwerke entspricht. Das Übergabemodell wird in der Erhaltungsphase für verschiedene Anwendungen genutzt.

4.4 BIM Pilotprojekt A99



A99 BW 27/1; Foto: ABDS

Ersatzneubau einer Brücke der A99

Das Pilotprojekt beinhaltet den Abbruch und den Ersatzneubau des Unterführungsbauswerks 27/1, welches im Zuge des 8-streifigen Ausbaus der A99 zwischen dem AK München-Nord und der AS Aschheim / Ismaning in den Jahren 2018 / 2019 gebaut wird. Im Zuge des 8-streifigen Ausbaus der A99 nordöstlich von München sind mehrere Brückenbauwerke zu erneuern. Dazu gehört das Bauwerk 27/1, das die S-Bahnlinie S 8 der Deutschen Bahn überbrückt. Das Bauvorhaben soll als Pilotvorhaben zur Umsetzung der Methodik des Building Information Modeling dienen. Sowohl die Entwurfs- als auch die Ausführungsplanung werden BIM-gestützt ausgeführt.

Anwendung von BIM

Die Planung soll von Beginn an über alle Planungsphasen ausschließlich mit der BIM-Methode erfolgen. Auch die Betriebs- und Erhaltungsphase werden in das Projekt miteinbezogen. Die 2D-Planableitung soll ausschließlich

aus den Modellen erfolgen. Besonderes Augenmerk wird auf den Datenaustausch und die Verwendung von Schnittstellen gelegt. Deren aktuelle Funktionstüchtigkeit für den Ingenieurbau wird dabei getestet. Die Modelle werden sowohl visuell als auch teilautomatisiert überprüft. Für die Leistungsphasen Entwurfsplanung, Ausführungsplanung und Baudurchführung wurden Auftraggeber-Informationen-Anforderungen (AIA) erstellt, die wiederum als Grundlage für die Erstellung der BIM-Ablaufpläne (BAP) dienen. Eine Verknüpfung des 3D-Modells mit dem Bauablauf und den Baukosten ist angedacht.

„Bei der Projektabwicklung von Ingenieurbauwerken der Autobahndirektion Südbayern wird seit Jahren Standardmäßig das Planmanagement EPLASS eingesetzt. Im Rahmen dieses Projektes wird EPLASS für BIM-Projekte erweitert und EPLASS-Archiv für den digitalen Bauwerksakt eingesetzt. Dabei stellt EPLASS seine individuelle Flexibilität wieder einmal eindrucksvoll unter Beweis.“

Prof. Dr. Willberg (Abteilungsleiter Brücken-, Ingenieurbau; Autobahndirektion Südbayern)

Mechanismen und Methoden zur Integration von BIM und GIS im Straßenbau

Andreas Hesterkamp

HOCHTIEF Infrastruktur GmbH, Essen, Deutschland

Dr. Andreas Carstens

ESRI Deutschland GmbH, Hannover, Deutschland

Zusammenfassung

Die Integration von Software Tools schreitet voran und bietet eine gute Basis für die Zusammenarbeit von Fachdisziplinen für den Bereich des Straßenbaus. Fachbezogene Themen werden durch ein definiertes einheitliches manifestiertes Projektkoordinatensystem in ein übergreifendes Gesamtmodell zusammengefasst. Durch die Verbindung zu einer Ganzheit werden, für die zu durchlaufenden Projektphasen (Konzeption – Planung – Umsetzungsplanung unter zeitlich wirtschaftlichen Gesichtspunkten – anschließender Realisation und der über einen längeren Zeitraum durchzuführenden Bewirtschaftung) eines Infrastrukturprojektes, Mehrwerte geschaffen, welche zur Reduktion von Kommunikationsverlusten sowie zur Beschleunigung von Prozessen dienen.

Die Gewerke werden durch definierte Workflows auf einem Common Data Environment abgelegt und mit weiteren Informationen / Attributen angereichert. Nach Fertigstellung des Designs werden Ansätze zur Realisierung des Vorhabens erörtert. Diese Vorgehensweise generiert eine Anzahl von Realisierungsvarianten aus denen die Zeit- und kostenoptimierten gewählt werden. Die abschließende erfolgreiche Variante wird nun in räumlichen und zeitlichen Abschnitte aufgegliedert, mit Codierungen versehen (WBS, PBS) um die fortschreitende Realisierung zu tackten und damit die Beschaffung die nötigen Materialien einstellen kann.

Nach der Realisierung werden die Elemente aus dem Datenbestand an die Bewirtschaftung übergeben. Durch eine Betrachtung der gebauten / erstellten Gewerke (mit Dokumentation) aus Sicht der Bewirtschaftung ergeben sich neue Aspekte für das Modell, welchen mit zusätzlichen Attributen und Analysefunktionen Rechnung getragen wird. Die BIM- und GIS Software-Integration wird von Autodesk und Esri seit 2017 intensiv vorangebracht. Für Nutzer dieser Systeme ergeben sich dadurch sowohl mit der Übernahme von Revit-Modellen in GIS als auch für die web-basierte bzw. plattformgestützte Zusammenarbeit wesentliche Erleichterungen für die praktische Arbeit. Beide Anwendungen werden kurz vorgestellt. Ergänzend werden die zukünftigen Entwicklungen der BIM-GIS-Integration für Workflows und Prozesse betrachtet.

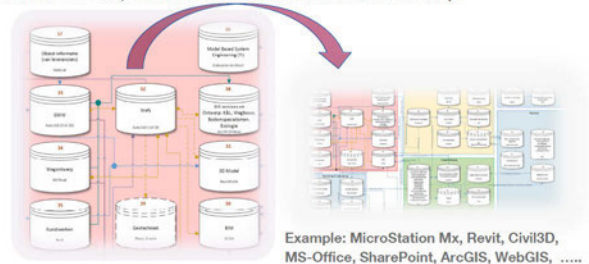
1. Datenbeschaffung für Infrastrukturprojekte

Infrastrukturprojekte erstrecken sich über große geographische Räume und haben damit einen eigenen Charakter. Um die Dimensionen eines Infrastrukturprojektes zu fassen, bedarf es moderner Softwaretools und einer integrierten IT-Landschaft, welche den Nutzern beim Beschaffen und Verarbeiten der Daten des Projektes umfangreiche Unterstützung bietet und Problemlösungsvorschläge unterbreitet und diese durch genormte Workflows abbildet.

BIM+GIS Integration methods for an Infrastructure Project

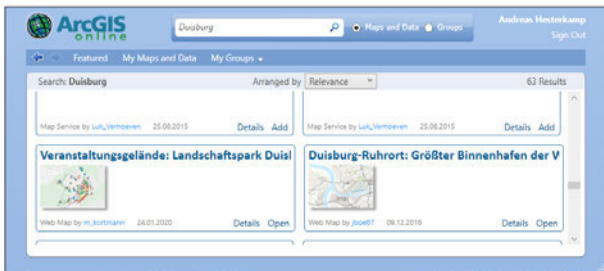
Representation of the IT infrastructure and Interfaces for the preparation phase (partly)
Analysis of demands

-> Number of Users, Software > Cost estimation for the entire IT setup



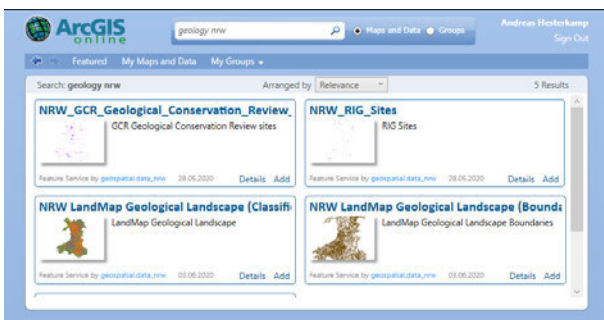
1.1 Geo-Daten

Infrastrukturprojekte haben einen direkten Bezug zur Real-Welt. Zur Planung von Infrastrukturprojekten ist zunächst die geographische Lage und Ausdehnung von Bedeutung. Durch die Definition eines einheitlichen Raumbezugssystems (z. B.: Lagesystem 489, ETRS 89/UTM_32 und Höhensystem 160, DHHN / Höhen ü. NN) (WKID: 25832 Authority: EPSG, WKID: 102329 Authority: Esri (8 Stellen)) für die Projektausdehnung können existierenden Geo-Daten auf den von den Behörden zur Verfügung gestellten Portalen abgefragt werden und projektbezogen kostenfrei oder gegen Gebühren geladen/erworben werden.



ArcGIS – Online Service Suche (allgemein)

Der Sachverhalt der definierten Raumbezugsbasis impliziert diverse Möglichkeiten zum Sammeln von existierenden Geo-Daten. Es können Luftbilder, Katasterinformationen, Natur und Landschaftsschutzgebiete, Geländeformationen und für Infrastruktur-Projekte wichtige geologische Sachverhalte zusammengestellt werden. (z. B. <https://www.bohrungen.nrw.de/bohrungen.html?lang=de>)



ArcGIS – Online Service Suche (Geologie)

Aus der Kenntnis der vorhandenen Informationen können Strategien für die noch zu ermittelnden Verdichtungsforderungen der auf dem Projekt vertretenen Fachdisziplinen erstellt werden. Die Strategie zur Verdichtung von Sachinformationen wird durch projektbezogenen Untersuchungen, Proben und Messungen erzielt, welche

ebenfalls auf Basis des einheitlichen Raumbezugssystems erstellt und dokumentiert werden.

Somit sind die Untersuchungen und die hieraus abgeleiteten Erkenntnisse direkt verortet und können in ein Projektkoordinierungssystem eingebracht werden. GIS (Geographische Information Systeme) beinhalten Technologien und Routinen welche ein direktes geo-referenzieren der Analyseresultate ermöglichen.

GIS as Support Tool for BIM
 Simple Example: (Use Case: Geologic investigation)

Task:
 Which kind of soil classes are covered by the Tunnel segments – create 3D Solids (+Attributes)

Data:
 Geologic Investigation as Raster Data, BIM Model of Tunnel

Workflow: Raster data (GIS) to 3D Solid (BIM)

- Raster data Read and Classify
- Transform Raster to Vector data
- Transfer BIM via IFC to GIS
- Multiple Intersections by Vector data
- Volume Calculation based on tunnel-segments sorted by Soil classes
- Presentation of Sections in MS-Excel -> Geo Processing
- Transfer to Solids (BIM) 3D Solids with Attributes

The diagram illustrates the workflow from GIS data to BIM. It starts with 'Geologic Investigation as Raster Data' and 'BIM Model of Tunnel'. The process involves reading and classifying raster data, transforming it to vector data, and transferring BIM via IFC to GIS. This leads to multiple intersections by vector data, volume calculation based on tunnel segments sorted by soil classes, and presentation of sections in MS-Excel. The final step is transferring the data to 3D solids (BIM) with attributes.

Aufgabenstellung: Art und Menge der Geologischen Materialien in den Tunnelsegmenten (GIS-BIM) Real Welt

Neu zu ermittelnden Informationen werden in Geo-Datenbanken abgelegt und sind somit für alle Projektbeteiligte lesbar und zur weiteren Nutzung für die Weiterverarbeitung offen. Übergreifende Projektanalysen und Analysen zwischen den Fachdisziplinen sind hierdurch leicht möglich. Rückschlüsse aus den gesammelten Daten werden für die Baumaßnahme und die zu erstellenden Elemente getroffen und somit haben diese einen direkten Einfluss auf die Erstellung der BIM Modelle. Durch die Vereinbarung des Raumbezugssystems können standardisiert Geoprosesse erstellt werden, die für ähnlich gelagerte Projekte in der Zukunft herangezogen werden können.

BIM+GIS

Main Advantage: BIM+GIS

Setup a Geo Processing Chain

Unique Identification

Export to common formats > MS Excel, on demand

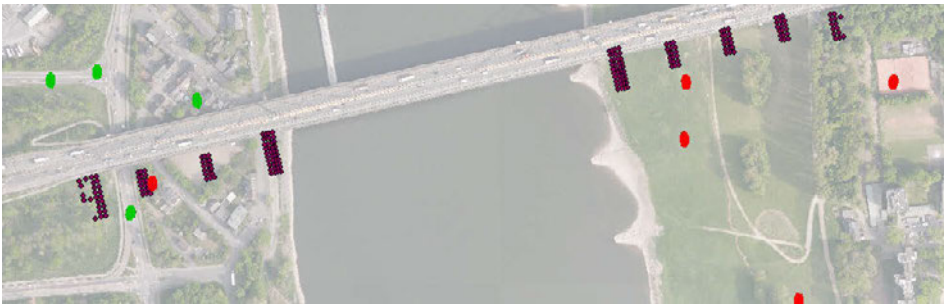
Transfer of defined Codes for tunnel segments and soil classes to the realit

Volume calculation
 Output: Soil Volumes by Construction Segments

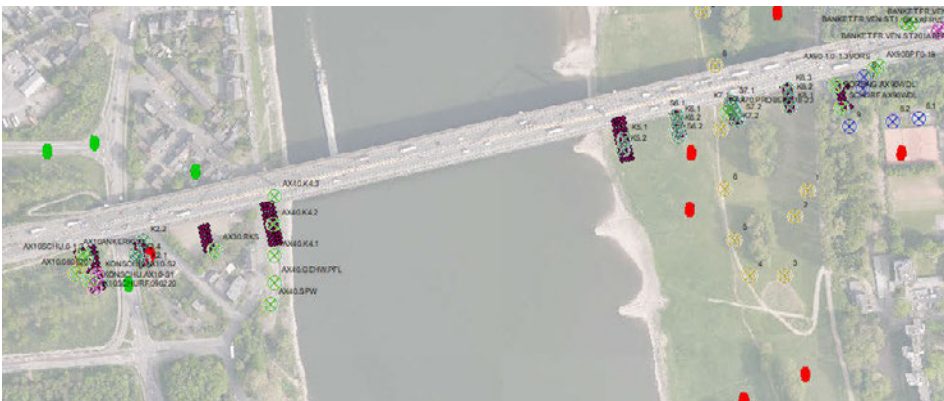
3D Solids

The diagram shows the BIM+GIS workflow. It includes a 'Layout' window, a 'Workflow GeoProcess Tool' window, and a '3D Solids' window. The workflow involves setting up a Geo Processing Chain, unique identification, exporting to common formats (MS Excel), and transferring defined codes for tunnel segments and soil classes to the real world. The final output is a volume calculation of soil volumes by construction segments, resulting in 3D solids.

Schema für georeferenzierte Analysen (BIM-GIS)



Geo-Portale (Luftbild Stadt Duisburg, Bohrung NRW)

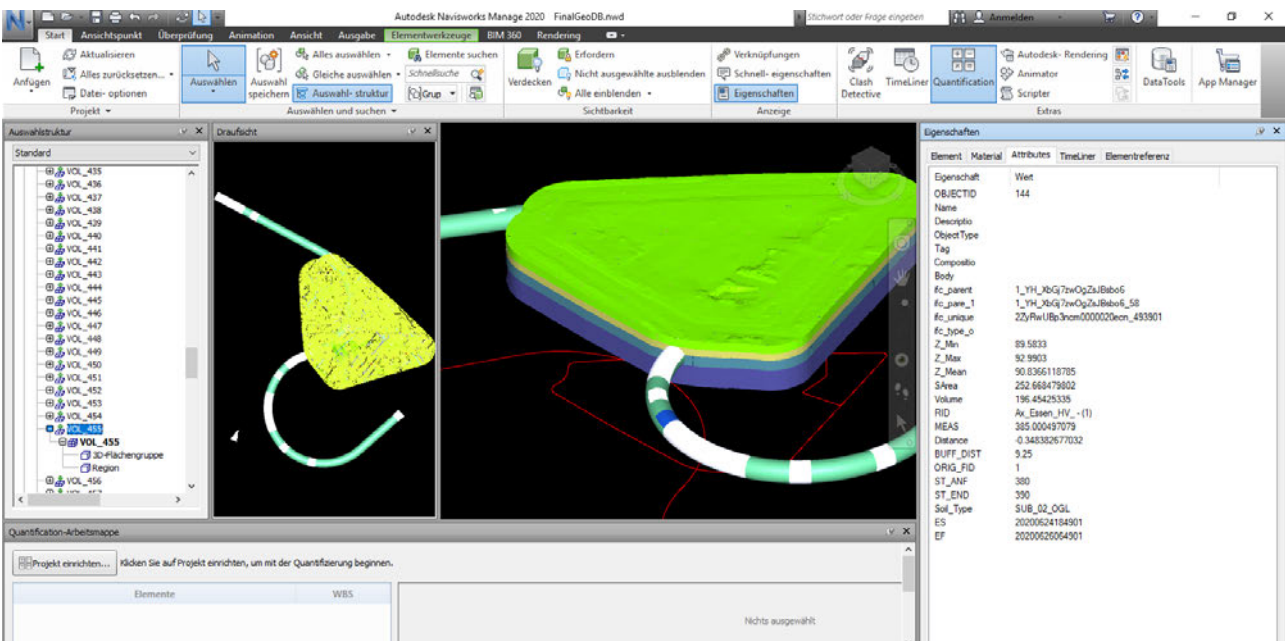


Verdichten durch projektbezogene Messungen/Erhebungen

1.2 Planungsdaten für Bauwerke

In vielen Infrastrukturprojekten hält zurzeit die Umsetzung des Stufenplanes Digitales Planen und Bauen Einzug. Hier ist BIM als anzuwendendes Planungsinstrument die Voraussetzung. Das Bestreben der Gesamtheit der Bauindustrie ist die Schaffung von Modellen und Methoden um den Prozess des Planen – Bauen und späteren Betriebs von Infrastruktureinrichtungen zu straffen. Eine Forderung ist die Erstellung von 3D Abbildern des

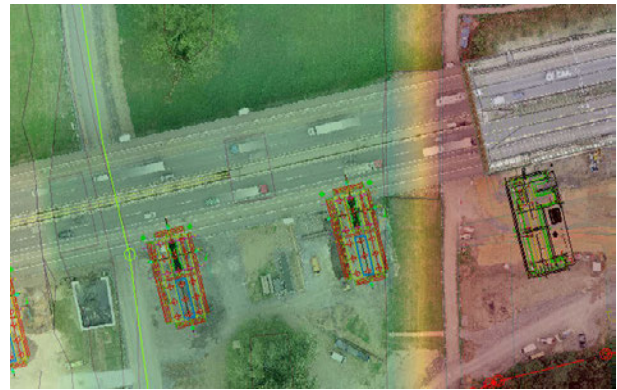
Bauvorhabens (Digitaler Zwilling) mit steigender Granularität je nach Planungsphase (LOD 100 – LOD 500). Eine Vielzahl von Softwareprodukten steht für die Herstellung der 3D Modelle mit der entsprechenden Detailtiefe bereit. Je nach Produkt sind weitere beschreibende Attribute an den einzelnen Modellelementen gespeichert (Material, Beschaffenheit, Wärmebeständigkeit, etc.). Die Organisation dieser 3D Modelle bei der Herstellung und die anschließende Integration in ein Gesamtmodell Fachmodelle -> Koordinierungsmodell)



Volumen der geologischen Schichten (Tunnelsegment)

stellt eine Aufgabe für sich dar. Zunächst sind Vereinbarungen über den Inhalt der Modelle und der Zeitpunkt der Lieferung durch das Erstellen einer Auftraggeber-Informationen-Anforderungen (AIA) festzulegen. Weiterhin ist ein BIM Abwicklungsplan (BAP) zu erstellen indem die Verantwortlichkeiten geregelt sowie die Intervalle an denen die Fachmodelle zusammengeführt werden, angegeben sind. Der BAP sollte grob folgenden Inhalt haben:

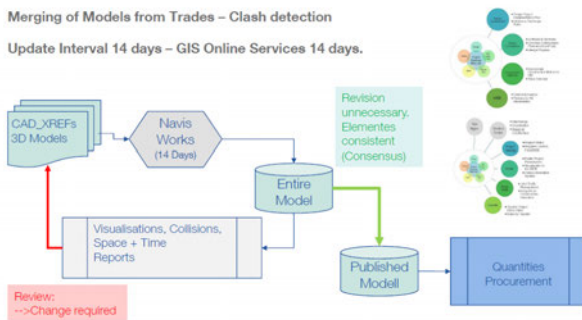
- Lages des Projektes
- Modellierungsrichtlinien (Templates)
- Software und Versionsstand
- Inhalt der Modelle (Festlegung der Einheiten, Material, Mengen, ...)
- Genauigkeitsanforderung
- Terminplan für die Lieferung der Teilmodelle
- Definition der Intervalle für Updates
- Interner Aufbau der Modelle – Parameter getrieben
- Austauschformat (Native Modelle oder IFC)



Georeferenzierte Ausführungspläne

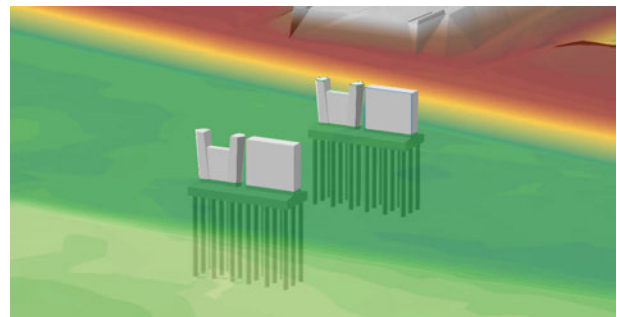
Für die Lieferung von Modellen für Infrastrukturprojekte kann das IFC (neben nativen Daten) für die Bauwerke wie Brücken, Tunnel und sonstigen Anlagen gut herangezogen werden.

BIM+GIS Integration methods for an Infrastructure Project



BIM Update der Fachmodelle (14 tägig)

Sind diese Vorgaben definiert und sollen die Daten ausgetauscht werden, so hat sich international für die Weitergabe von Modelldaten der Teil-Bauwerke das IFC etabliert – Softwarehersteller bieten Schnittstellen hierzu an. Das Zusammenführen der Fachmodelle und die Integration in projektübergreifende Organisations- und Verwaltungssysteme kann ebenfalls mit Hilfe von IFC durchgeführt werden. Der Vorteil des Formats ist die Unabhängigkeit vom Autorensystems des Modells.

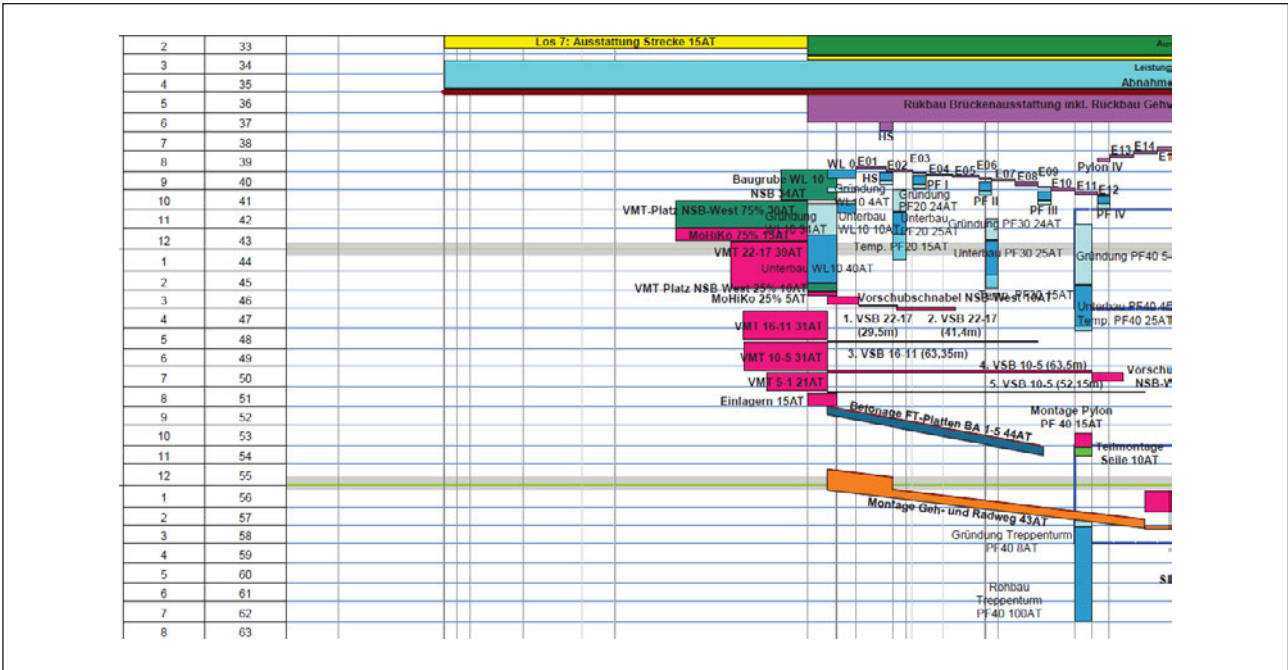


Übernahme der Modelldaten ins GIS (ETL Funktion)

Für den Linienbau / Streckenbau sind die IFC Versionen 4 und 5, in der Vorbereitung (IFC Road, IFC Tunnel; IFC Railway). Zurzeit läuft der Austausch für diese Modelle über verschiedene vorgeschriebene Schnittstellen (REB, OKSTRA oder auch LandXML, CPIXML, etc.)

2. Bauausführung des Infrastrukturprojektes

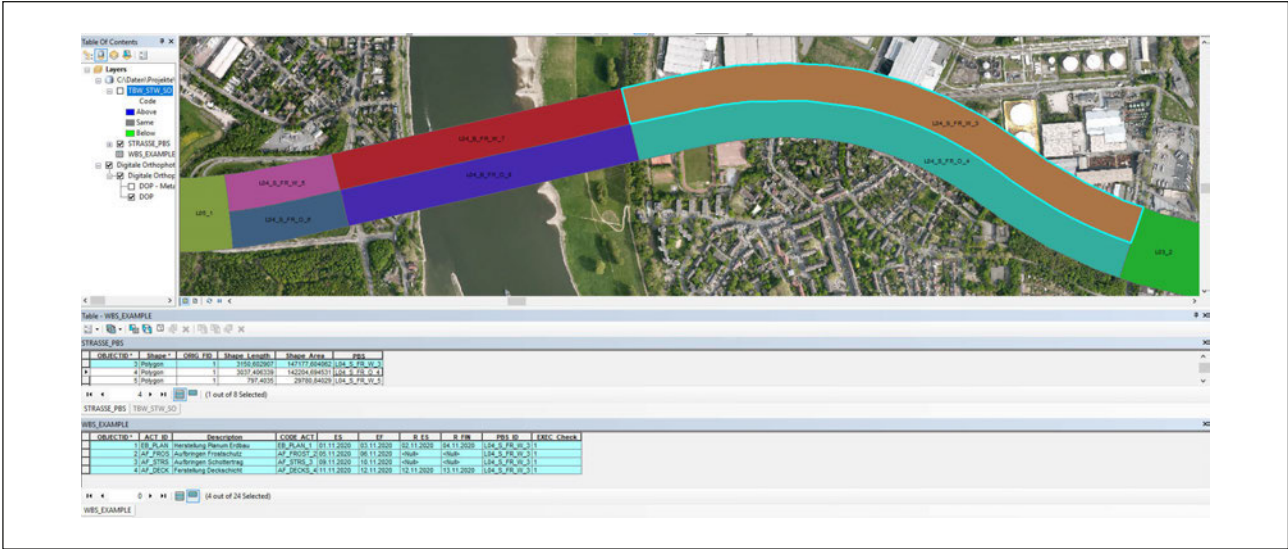
In der Baubeschreibung sind die zu errichtenden Bauwerke genannt und beschrieben. Hier ist ebenfalls eine Angabe/Verweis über die Art der Herstellung und die anzuwendenden Richtlinien und Normen zu finden. Anhand der Baubeschreibung und des vom Kunden gelieferten groben Zeitablaufes wird ein Terminplan für die Ausführung der einzelnen Bauwerke erstellt. Für Streckenbauwerke hat sich neben den üblichen Ausgaben eines Terminplanprogramms (Gant-Diagramm) die schematische Darstellung in einem Zeit-Wege Diagramm etabliert. In diesem Zeit-Wege Diagramm können die wesentlichen Aktivitäten für die Baumaßnahme abgelesen werden. Alle wesentlichen Termindaten werden nach Lage und Aktivität codiert. Wichtig ist hier die genaue Identifizierung der Bauteile und Abschnitte, sowie die zeitliche Einordnung.



Ausschnitt Zeit-Wege Diagramm + Codes

Durch die Kombination von Räumlicher (PBS=Projekt Breakdown Structure) und Zeitlicher (WBS=Work Breakdown Structure) Codierung ergibt sich eine gemeinsame Orientierung nach Raum und Zeit, welche der Vorgabe in der Baubeschreibung und dem darin verantworten groben Zeitrahmen folgt.

Durch diese Codierung erhält man eine eindeutige Ansprache der herzustellenden Objekte und der damit verbundenen Tätigkeiten, welche hier nur als vereinfachtes Beispiel dargestellt sind (siehe Bild unten Codierung PBS - WBS).

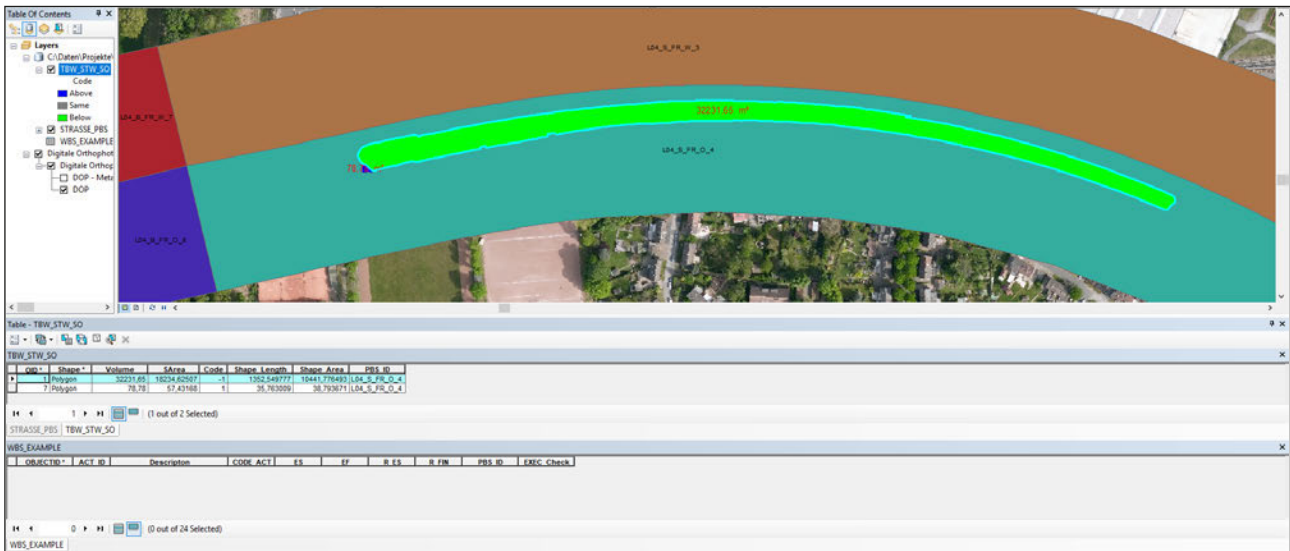


Codierung PBS – WBS (stark vereinfachtes Beispiel)

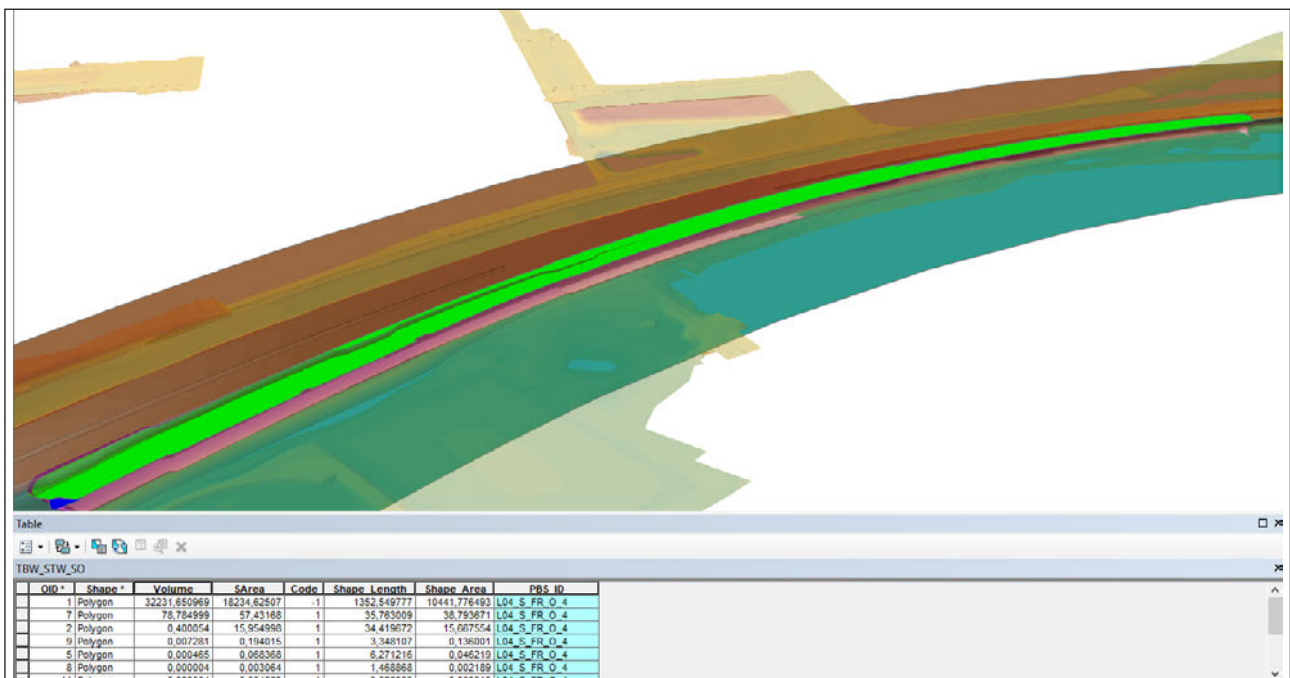
Wird ein Bauvorhaben von Beginn an mit diesen Codierungen versehen und einigen sich die am Projekt Beteiligten auf diese Codierung, so kann auch eine Verfolgung der Tätigkeiten (Progress Status, Reports) und die Fertigstellung mit der entsprechenden Abnahme dokumentiert und auf die Objekte (Teilbauwerke) projiziert werden. Auch hier stehen eine Menge Softwareprodukte zur Verfügung. Eine Möglichkeit ist die Verortung der Abnahmeprotokolle – speziell bei Infrastrukturprojekten – mit Hilfe von sogenannten Location Based Services (LBS) durch Smartphones oder Tablets mit entsprechender vorbereiteter installierter Applikation für die Erfassung des Baufortschritts, welche PBS - WBS bezogen ermittelt und dokumentiert wird. Zeitlich verortete Bilder bekunden zusätzlich den erfassten Fortschritt nachweislich.

Das Auffinden von Abnahmeprotokollen wird durch die Codierungen und das Verbinden mit den Modellelementen vereinfacht und unterstützt die Plausibilitätsprüfung. Gerade bei der Betrachtung von Analysen der Mengen für „Erdkörper“ ist dieses Vorgehen hilfreich – zumindest unterstützt es bei der Eigenkontrolle der geplanten und ausgeführten Mengenbewegungen.

Die Verortung der Daten und Objekte wird über sogenannte Webserver für die Projektbeteiligten zur Verfügung gestellt. Damit ergibt sich eine gute Transparenz der einzelnen erbrachten Leistungen auf dem Projekt und das Fortschreiten des Projektes ist sichtbar. Die einzelnen Objekte sind trackbar.



Verortung der Mengen (PBS) Lageplan



Verortung der Mengen Zuordnung zur PBS (3D)

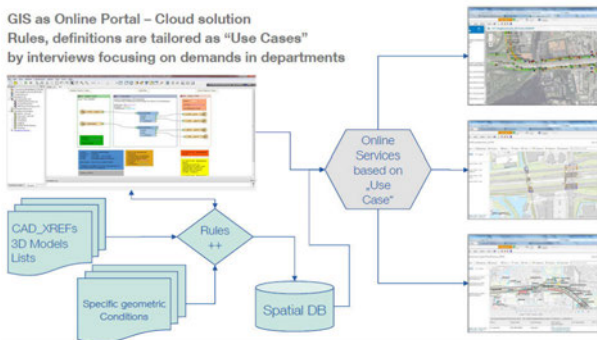
3. Verwaltung eines Infrastrukturprojektes mit Geodatenbanken (Vorteile)

Geodatenbanken bzw. GIS haben sich in vielen Bereichen als technische Projektmanagementsysteme und Decision Support Systems als hilfreich erwiesen. In den letzten Jahren wurde an der Interaktion zwischen BIM/CAD und GI Systemen gearbeitet. Durch die in den letzten Jahren geschaffenen Möglichkeiten lassen sich Informationen aus dem GIS und dem BIM austauschen oder gar als natives Format in die Systeme laden (Revit in ArcGIS, GIS-DB in Autocad Civil 3D). Aus diesem Sachverhalt ergeben sich weitere Ansätze für eine gemeinschaftliche Projektbearbeitung von Infrastruktureinrichtungen mit dem Ziel Zeit zu sparen, welche sonst durch Transferaufgaben verloren ginge.

Darüber hinaus können durch das Anwenden von sogenannten ETL Tools die Projektinformationen (BIM/CAD) automatisiert ausgelesen, mit projektrelevanten Informationen / Daten angereichert und einem breiten Publikum ohne spezielle Softwareinstallation zur Verfügung gestellt werden – Online Services.

Denkbar ist auch eine Online Erfassung von Merkmalen oder Ereignissen auf dem Projekt, welche für die Kommunikation nach außen (Öffentlichkeit) wichtig ist. Die Web-Services können für die in unmittelbarer Nähe zum Projekt wohnenden Personen freigeschaltet werden, um die Transparenz zu erhöhen und eine Beteiligung sowie Akzeptanz zu erreichen.

BIM+GIS Integration methods for an Infrastructure Project



ETL - Extract Transform Load (vom 3D Modell zum Projekt WebBIMGIS Portal)

4. Übernahme der Modelldaten für den Betrieb

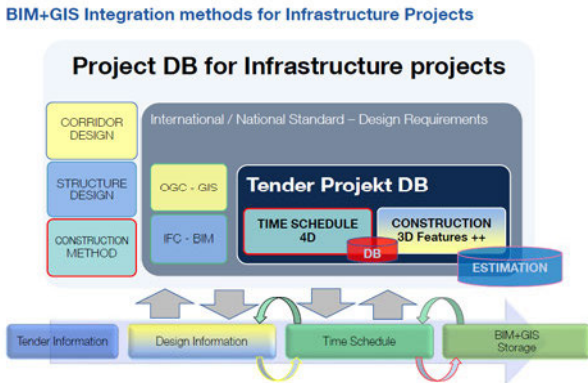
Nach Abschluss der Arbeiten am dem Infrastrukturprojekt erfolgt die Übergabe der Daten an die Kunden. Diese erfolgt üblicherweise in Form von Zeichnungen, Listen und ergänzenden Dokumentationen. Neuerdings werden auch die BIM-Modelle in den Bauvertrag verankert so dass eine weitere Nutzung für den Betrieb der Infrastruktureinrichtung gegeben ist.

Je nach Vertragsform kann auch schon bei der Erstellung der Modelle eine Mitwirkung des Kunden wünschenswert sein. Ist ein sogenanntes AIM (Asset Information System) beim Kunden vorhanden kann unter der Voraussetzung, dass die erzeugten Projektdaten in dieses System überführt werden sollen, bei der Modellierung auf die einheitliche Kennzeichnung der Elemente / Objekte gemäß einer Anlagenschlüsselliste des Kunden (vergleichbar mit OKSTRA) eingegangen werden und diese als zusätzliche Attribute an die BIM- Objekte ergänzt werden. Diese Art der Vorgehensweise bedarf einer engen Zusammenarbeit des Kunden und der beauftragten Firma bei der Ausführungsplanung / -modellierung.

5. Fazit

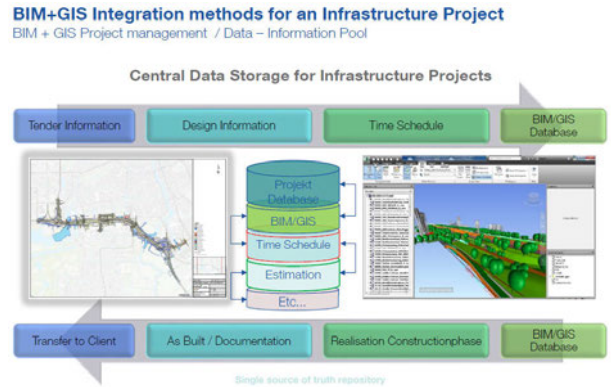
Durch die voranschreitende Integration von BIM und GIS werden Synergien geschaffen, welche die Bearbeitung von Infrastrukturprojekten nachhaltig beeinflusst. Eine gemeinsame Datenbasis in Form einer integrierten Projektdatenbank oder eines Modellservers generiert Vorteile in der Zusammenarbeit und verringert die Schnittstellen. Projekte können im Ganzen betrachtet und analysiert werden. Räumliche und Zeitliche Abhängigkeiten lassen sich einfacher erkennen und gemeinsame Lösungsvorschläge können etabliert werden.

Schon in der Angebotsphase sollten die wesentlichen Teil-Bauwerke eines Infrastrukturprojektes codiert und geostrukturiert an die Wettbewerber übergeben werden, sodass eine einheitliche Projektnomenklatur (PBS – WBS) entsteht. Eine einfache Möglichkeit hierzu sind georeferenzierte beschreibende Objekte/Features aus der Realen Welt (Abbruch) und die neu geplanten Objekte als LOD 2-3 (GIS).



Integration von Projektdaten in der Angebotsphase

Durch die Schaffung einer integrierten Plattform zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer lassen sich rein technisch viele Fragen effizienter zu einer einvernehmlichen Lösung bringen. Dem Statement „Single Source of Truth - SSOT“ kann damit Rechnung getragen werden, wenn Einträge in die gemeinsame Datenbasis nur über kontrollierte Regeln – Validierungen vollzogen werden können. Geoprozesse und Topologie-Prüfungen können diese Aufgabe (Goalkeeper) automatisiert übernehmen.



Der Aufbau einer zentralen georeferenzierten Datenbasis für das Projektgeschehen liefert weitreichende Analyse- und Variationsmöglichkeiten bei der ersten Projektplanung (Entwurf) – bei der Detailplanung und Ausführungsplanung sowie der Umsetzung. Projekte werden transparenter und im Team bearbeitet. Während der Umsetzung entsteht ein As-Built Modell zur Übergabe an den Kunden zur Integration in dessen Verwaltungssystem.



**Erhaltungs-
management**

Erhalt der Straßeninfrastruktur Baden-Württemberg

Anforderungen, Strategien und Innovationen am Beispiel aktueller Erhaltungsmaßnahmen

Dipl.-Ing. Markus Kübler

Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg

Zusammenfassung

Baden-Württemberg ist als dynamisches Land, profilierter Wirtschaftsstandort und Transitland auf eine gut ausgebaute und vor allem intakte Straßeninfrastruktur angewiesen. Die große Herausforderung in Bezug auf die Sicherstellung der Mobilität in Baden-Württemberg ist und wird der Erhalt der existierenden Infrastruktur sein.

Der Vortrag gibt – insbesondere am Beispiel aktueller Baumaßnahmen der Brückenerhaltung und Tunnelnachsicherung an verkehrlich hoch belasteten Streckenabschnitten – einen Überblick über die verschiedenen Anforderungen, Strategien und Innovationen im Rahmen der Erhaltung des Straßennetzes. Auf die Straßenbestandteile Brücken, Tunnel und Fahrbahn wird hierbei spezifisch eingegangen.

1. Straßennetz Baden-Württemberg

1.1 Zuständigkeiten und Umfang

Infolge der Reform der Bundesfernstraßenverwaltung ist seit 1. Januar 2021 die Autobahn GmbH des Bundes zuständig für die Planung, den Bau, den Betrieb und die Erhaltung der Autobahnen. Dies beinhaltet auch das Autobahnnetz in Baden-Württemberg.

Die Straßenbauverwaltung Baden-Württemberg ist aktuell zuständig für rund 4.840 Kilometer Bundesstraßen sowie rund 9.650 Kilometer Landesstraßen mit insgesamt mehr als 17.000 Bauwerken. Die Zuständigkeit der Straßenbauverwaltung umfasst insbesondere die Erhaltung des Bundes- und Landesstraßennetzes.

1.2 Investitionen und Zustandsentwicklung

Im Zeitraum von 2011 bis 2020 wurden insgesamt rund 4,6 Milliarden Euro in die Erhaltung des Straßennetzes in Baden-Württemberg – also in die Erhaltung der Autobahnen, Bundes- und Landesstraßen – investiert.

Auf dieser Grundlage konnte in den letzten zehn Jahren bei den Autobahnen eine Verbesserung des Straßen- und Brückenzustands erreicht werden.

Auch bei den Bundes- und Landesstraßen hat sich in den letzten rund zehn Jahren der Straßenzustand (Fahrbahnen) verbessert. Der Zustand der Bundes- und Landes-

straßenbrücken hat sich in diesem Zeitraum leicht verschlechtert.

Die Erhaltung des Bundes- und Landesstraßennetzes stellt auch weiterhin eine große Herausforderung dar und bedarf großer Anstrengungen.

2. Brückenerhaltung

2.1 Brückenprüfungen

Bauwerke nach der DIN 1076 werden regelmäßigen Prüfungen unterzogen. Diese Bauwerksprüfungen sind nicht nur gesetzliche Pflicht, sondern ein wesentlicher Bestandteil des Erhaltungsmanagements der Straßenbauverwaltung des Landes.

Dabei werden die Brücken im Abstand von sechs Jahren einer Hauptprüfung unterzogen. Jeweils drei Jahre nach der Hauptprüfung erfolgt eine Einfache Prüfung. Zudem kontrollieren die zuständigen Straßenmeistereien im Zuge von jährlich durchzuführenden Besichtigungen die Brücken. Hierbei erfolgen zweimal jährlich Beobachtungen im Hinblick auf augenscheinliche Schäden.

Im Zuge der Brückenprüfungen werden Schäden aufgenommen und der Zustand unter Berücksichtigung der Standsicherheit, der Verkehrssicherheit sowie der Dauerhaftigkeit beurteilt. Die Ergebnisse werden zu einer Zustandsnote zusammengefasst. Es werden hierbei sechs Zustandsnotenbereiche zugeordnet:

Notenbereich	Beschreibung
1,0 – 1,4	sehr guter Zustand
1,5 – 1,9	guter Zustand
2,0 – 2,4	befriedigender Zustand
2,5 – 2,9	ausreichender Zustand
3,0 – 3,4	nicht ausreichender Zustand
3,5 – 4,0	ungenügender Zustand

Bauwerks- bzw. Brückenprüfungen werden von besonders qualifizierten und erfahrenen Bauwerksprüfingenieuren der Straßenbauverwaltung des Landes oder von ausgewählten externen Ingenieurbüros vorgenommen.

2.2 Zustandsentwicklung der Brücken

Die auf Grundlage der Brückenfläche gemittelte Zustandsnote aller Bundesstraßenbrücken in Baden-Württemberg hat sich von 2,28 im Jahr 2010 auf 2,38 im Jahr 2020 leicht verschlechtert. Der Anteil der Bundesstraßenbrücken mit ungenügendem Bauwerkszustand (Zustandsnote 3,5 und schlechter) ist dabei von 0,4 Prozent auf 0,9 Prozent angestiegen.

Die auf Grundlage der Brückenfläche gemittelte Zustandsnote aller Landesstraßenbrücken in Baden-Württemberg hat sich in den letzten zehn Jahren von 2,27 auf 2,36 leicht verschlechtert. Der Anteil der Landesstraßenbrücken mit ungenügendem Bauwerkszustand (Zustandsnote 3,5 und schlechter) ist dabei von 0,8 Prozent auf 0,6 Prozent zurückgegangen.

2.3 Zunahme des Schwerverkehrs

Die Notwendigkeit der Brückenerhaltung wird auch durch die gestiegene Belastung der Brücken infolge der Zunahme des Schwerverkehrs verstärkt. Die Regelungen der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung und der Straßenverkehrs-Ordnung sehen hierbei grundsätzlich ein zulässiges Gesamtgewicht von 40 Tonnen vor, für welches eine Überfahrt der Brücken erlaubt ist.

Die Zunahme des Schwerverkehrs führt dazu, dass viele Brücken Tragfähigkeitsdefizite aufweisen und auf die künftigen Nutzungsanforderungen hin ertüchtigt werden müssen.

2.4 Baurechtliche Voraussetzungen

Bei der Planung umfangreicher Erhaltungsmaßnahmen an Brücken – insbesondere bei Ersatzneubauten – sind neben den rein objektbezogenen Planungen auch die Belange des Umwelt- und Naturschutzes, des Wasserhaushalts, des Immissionsschutzes (Lärm) sowie die Rechte Dritter (Grundwerb oder vorübergehende Inanspruchnahme von Flächen zur Durchführung der Baumaßnahmen) zu erheben und entsprechend rechtlich zu würdigen. Dies führt oftmals dazu, dass im Vorfeld solcher Erhaltungsmaßnahmen ein

Baurechtsverfahren durchzuführen ist, welches einen Zeitraum von drei bis fünf Jahren in Anspruch nehmen kann.

2.5 Erhaltungsplanung der Brücken

Grundsätzlich umfasst die Erhaltungsplanung der Bundes- und Landesstraßenbrücken die Instandsetzung, die Ertüchtigung und den Ersatzneubau der Bauwerke.

Im Rahmen der Erhaltungsplanung sind dabei verschiedene Komponenten zu berücksichtigen. Diese sind insbesondere

- Zustandsnote im Allgemeinen
- Brücken mit Zustandsnote 3,5 und schlechter
- Brückenmodernisierungsprogramm des Bundes
- Brücken mit spannungsrisskorrosionsgefährdetem Spannstahl
- Brücken mit Verdrängungskörpern (Hohlkörperplatten)
- Brücken mit sprödebruchgefährdeten Edelstahlrollenlagern
- Brücken mit Koppelfugen
- Mindertragfähige Brücken im Zuge der ausgewiesenen Großraum- und Schwertransportstrecken
- Brücken im Zuge wichtiger Strecken für den Schadholzabtransport aus den Wäldern.

3. Beispiel Ersatzneubau der Gumpenbachbrücke im Zuge der B 27 in Kornwestheim

3.1 Ausgangslage und Vorgeschichte

Die Gumpenbachbrücke liegt im Zuge der B 27 auf der Gemarkung Kornwestheim (Landkreis Ludwigsburg) zwischen den Anschlussstellen Kornwestheim-Mitte und Kornwestheim-Nord. Die B 27 verläuft in Süd-Nord-Richtung von Stuttgart nach Ludwigsburg und verbindet dabei das Oberzentrum Stuttgart mit dem Mittelzentrum Ludwigsburg/Kornwestheim. Die durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke beträgt mehr als 50.000 Kfz/24 Std, der Schwerververkehrsanteil rund 7 Prozent. Die B 27 weist in diesem Abschnitt einen zweibahnigen, vierstreifigen Straßenquerschnitt auf.

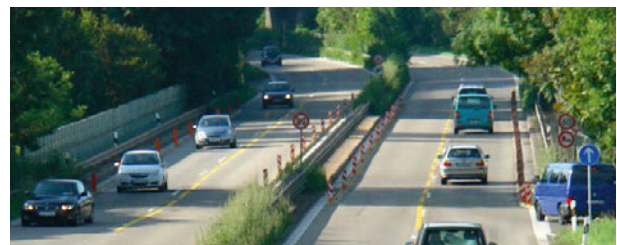


Abbildung 1: B 27 im Bereich der Gumpenbachbrücke, Situation vor der Baumaßnahme

Die Gumpenbachbrücke wurde im Jahr 1954 als vierfeldriger Durchlaufträger mit einer Gesamtlänge von rund

100 Meter gebaut. Sie besteht aus zwei Teilbauwerken, jeweils einem pro Richtungsfahrbahn. Die Teilbauwerke haben separate Über- und Unterbauten und sind über eine Mittelkappe miteinander verbunden.

Im Mai 2009 fanden an beiden Teilbauwerken Hauptprüfungen nach DIN 1076 statt. Dabei wurden Tausalzschäden und angerostete Querspannglieder an den Kragarmen festgestellt. Aufgrund des weiteren Fortschreitens dieser Bauwerksschäden sowie zahlreicher Betonabbrüche im darauffolgenden Winter, erfolgte im Mai 2010 eine Sonderprüfung. Beide Teilbauwerke wurden hierbei mit der Zustandsnote 3,7 bewertet.

Insbesondere aus wirtschaftlichen Gründen wurde entschieden, im Zuge einer Erhaltungsmaßnahme die Gumpenbachbrücke durch einen Neubau zu ersetzen.

Mit den Planungen für den Ersatzneubau der Brücke wurde im Jahr 2010 begonnen. Die Erteilung des Gesehen-Vermerks für den RE-Vorentwurf durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur ist am 25. November 2014 erfolgt. Der Planfeststellungsbeschluss nebst wasserrechtlicher Erlaubnis liegt seit 25. Oktober 2016 vor. Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur hat am 16. Januar 2019 den Gesehen-Vermerk für den RAB-ING-Entwurf erteilt. Der Baubeginn der Hauptmaßnahme war im Januar 2020, das Bauende ist derzeit für August 2022 geplant.

3.2 Ersatzneubau – innovativer Querverschub der Brücke einschließlich Stützen und Fundamente

Der Ersatzneubau der Gumpenbachbrücke erfolgt auf Grundlage zweier Teilbauwerke, welche jeweils drei Felder aufweisen. Diese Teilbauwerke bestehen aus gevouteten Spannbetonplattenbalken. Die Plattenbalken sind monolithisch mit den Stützen verbunden.

Der innovative Bauablauf des Ersatzneubaus sieht die Herstellung eines Teilbauwerks der Gumpenbachbrücke in Seitenlage zur B 27 sowie den anschließenden Querverschub des Teilbauwerks einschließlich der Mittelstützen und Fundamente als semi-integralen Brücke vor.

Auf dieser Grundlage können die mit einem Ersatzneubau verbundenen Eingriffe in den Verkehr der hochbelasteten B 27 deutlich minimiert sowie die vorhandenen vier Fahrstreifen der B 27 während der knapp dreijährigen Bauzeit weitestgehend aufrechterhalten werden.

Eine Behelfsbrücke ist nicht erforderlich. Der Ersatzneubau der Gumpenbachbrücke stellt somit eine nachhaltige Erhaltungsmaßnahme auf Grundlage einer ressourcensparenden Bauweise dar.

Nach Information des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur wird im Rahmen des Ersatzneubaus der Gumpenbachbrücke der erste Querverschub einer semi-integralen Talbrücke in Deutschland durchgeführt.

Im Einzelnen stellt sich der Bauablauf wie folgt dar:

- Das neue östliche Teilbauwerk der Gumpenbachbrücke wird zunächst einschließlich der Stützen und Fundamente in Seitenlage zur B 27 gebaut. Der Verkehr auf der B 27 kann hierbei weiterhin über die zwei bestehenden Teilbauwerke mit vier Fahrstreifen geführt werden.
- Nach der Herstellung des neuen Teilbauwerks in östlicher Seitenlage wird der Verkehr in Fahrtrichtung Ludwigsburg auf dieses neue östliche Teilbauwerk umgelegt. Diese Verkehrsführung umfasst die zwei Fahrstreifen der Verbindung Stuttgart – Ludwigsburg. Anschließend wird der Verkehr in Richtung Stuttgart vom alten westlichen Teilbauwerk nun über das alte östliche Teilbauwerk geführt. Diese Verkehrsführung umfasst die zwei Fahrstreifen der Verbindung Ludwigsburg – Stuttgart. Es stehen somit weiterhin weitestgehend vier Fahrstreifen zur Verfügung.
- Nach dieser Verkehrsumlegung ist das alte westliche Teilbauwerk der Gumpenbachbrücke nicht mehr unter Verkehr und kann abgebrochen werden. Anstelle des alten westlichen Teilbauwerks wird in endgültiger Lage das neue westliche Teilbauwerk gebaut.
- Nach der Fertigstellung des neuen westlichen Teilbauwerks sowie einer weiteren Umlegung des Verkehrs in Richtung Stuttgart vom alten östlichen Teilbauwerk auf dieses neue westliche Teilbauwerk wird das östliche Teilbauwerk als sogenannte „Inselbaustelle“ abgebrochen. Der Verkehr in Richtung Ludwigsburg verbleibt hierbei auf dem neuen östlichen Teilbauwerk in Seitenlage.
- In der letzten Bauphase wird das in Seitenlage hergestellte, semi-integrale Teilbauwerk einschließlich der Stützen und Fundamente verschoben. Hierzu bringen hydraulische Hub- und Verschubsysteme die Brücke in seine endgültige Lage. Für die Bauphase des Querverschubs wird von einer Dauer von zwei Wochen ausgegangen. Für den Zeitraum des Querverschubs wird der Verkehr der B 27 über das neue westliche Teilbauwerk geführt. Dabei wird ein Fahrstreifen je Fahrtrichtung eingezogen.

Die Gesamtkosten der Baumaßnahme betragen rund 27 Millionen Euro (Stand November 2020) und beinhalten auch Um-/Ausbaumaßnahmen an der Anschlussstelle Kornwestheim-Nord.

4. Tunnelnachrüstung

4.1 Straßentunnel in Baden-Württemberg

In Baden-Württemberg sind derzeit 116 Straßentunnel im Zuge von Autobahnen, Bundes- und Landesstraßen mit einer Gesamtröhrenlänge von rund 82 Kilometern unter Verkehr.

4.2 Sicherheitsstandards der Straßentunnel

Die Sicherheitsstandards der Straßentunnel werden regelmäßig überprüft und den neuesten Erkenntnissen angepasst. Neue Straßentunnel werden nach dem aktuellen Stand der Technik gebaut sowie betriebstechnisch ausgestattet. Bestehende Straßentunnel werden betriebstechnisch sowie ggf. baulich nachgerüstet.

In Deutschland gelten die „Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln“ (RABT) sowie die „Empfehlungen für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln mit einer Planungsgeschwindigkeit von 80 km/h oder 100 km/h“ (EABT). Sie bilden die Grundlage für das hohe Sicherheitsniveau in deutschen Straßentunneln.

Um ein weitestgehend einheitliches Sicherheitsniveau in allen europäischen Straßentunneln zu erreichen, regelt seit 2004 eine europäische Richtlinie den grundlegenden Sicherheitsstandard im transeuropäischen Netz.

4.3 Nachrüstung Bundes- und Landesstraßentunnel

Die betriebstechnische Ausstattung eines Straßentunnels hat in der Regel einen Lebenszyklus von rund 20 Jahren. Vor dem Hintergrund einer theoretischen Nutzungsdauer der Tunnel von 90 bis 130 Jahren – je nach Bauweise – hat dies zur Folge, dass die Betriebstechnik eines Straßentunnels rund vier- bis sechsmal erneuert werden muss. Dies erfolgt jeweils nach dem aktuellen Stand der Technik.

In Baden-Württemberg lag in den letzten Jahren der Fokus der Tunnelnachrüstungen auf den Autobahnen, wie beispielsweise der Nachrüstung des Virngrundtunnels im Zuge der A 7 sowie der Nachrüstung des Schönbuchtunnels im Zuge der A 81. Ergänzend hierzu wurden aber auch entsprechend der Dringlichkeit im Zuge der Bundes- und Landesstraßen Tunnel baulich und betriebstechnisch nachgerüstet.

Bei nachfolgenden Tunneln im Zuge der Bundes- und Landesstraßen stehen in den nächsten Jahren größere Nachrüstungen an:

- B 10 Tunnel Göppingen
- B 14 Kappelbergtunnel Fellbach
- B 14 Johannesgrabentunnel Stuttgart-Vaihingen
- B 29 Rombachtunnel Aalen
- B 31 Schützenallee- und Kapplertunnel Freiburg
- B 31 Tunnel Döggingen
- B 33 Sommerbergtunnel Hausach
- B 294 Kirchbergtunnel Schiltach
- B 294 Schlossbergtunnel Schiltach
- B 463 Tunnel Albstadt-Laufen
- L 148 Grabenwaldtunnel Wehr-Todtmoos
- L 175 Schlossbergtunnel Schramberg

5. Beispiel: Bauliche und betriebstechnische Ertüchtigung des Engelbergbasistunnels im Zuge der A 81 bei Leonberg unter Aufrechterhaltung des Verkehrs

5.1 Ausgangslage

Der rund 2.500 Meter lange Engelbergbasistunnel liegt westlich von Stuttgart im Zuge der A 81. Der Tunnel hat aufgrund seiner Lage im Autobahnnetz – im Verknüpfungsbereich der A 81 mit der A 8 (Autobahndreieck Leonberg) – sowie aufgrund der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke von rund 120.000 Kfz/24 h eine sehr hohe verkehrliche Bedeutung für die Region Stuttgart sowie darüber hinaus für den gesamten Südwesten von Deutschland.

Der Engelbergbasistunnel besteht aus zwei Röhren mit jeweils drei Fahrstreifen und einen Seitenstreifen.

Der Tunnel wurde im Jahr 1999 dem Verkehr übergeben.

5.2 Schadensbild

Die geologische Situation ist gekennzeichnet durch unterschiedliche Abfolgen innerhalb des im südwestdeutschen Raum anstehenden Gipskeupers. Im Ausgangszustand stehen die im unausgelaugten Gipskeuper vorhandenen Sulfatanteile überwiegend als Anhydrit an. Mit der Aufnahme von Wasser wandelt sich Anhydrit jedoch in Gips um. Bei einer vollständigen Umwandlung nimmt das Feststoffvolumen des Anhydrits um rund 60 Prozent zu. Wird diese Volumenzunahme behindert – beispielsweise durch den Einbau einer Tunnelauskleidung – so entstehen in Abhängigkeit von der Wasseraufnahme des Gebirges sehr hohe Quelldrücke.

Infolge der vorliegenden geologischen Verhältnissen sowie den dadurch entstandenen Quelldrücken kam es in den Jahren nach der Fertigstellung des Engelberg-basistunnels auf einer Länge von rund 180 Metern zu Deformationen und Schädigungen der Innenschale. Das zunehmende Schadensausmaß machte eine grundlegende Betrachtung der Anhydritproblemstellung mittels eines international besetzten Expertenkreises erforderlich.

Nach der Klärung der Schadensursache sowie der Erarbeitung eines zugehörigen Lastmodells galt es, ein Bauverfahren zu entwickeln, welches die Vorgabe – in den Hauptverkehrszeiten die vorhandene Anzahl an Fahrstreifen aufrechtzuerhalten – gewährleistet.

5.3 Bauliche und betriebstechnische Ertüchtigung

Daraufhin wurde für den rund 180 Meter langen Ertüchtigungsbereich ein Bauwerksentwurf erstellt. Im Zuge der Ertüchtigung wird über dem Abluft- und dem Medienkanal die Fahrbahnplatte verstärkt. Im Bereich der Notgehwege werden die Leitungen in die Kanäle nach unten verlegt und ein Stahlbetonsockel als Rahmenecke zwischen Fahrbahnplatte und neuer Vorsatzschale erstellt. Die neue 40 Zentimeter starke Vorsatzschale wird mit geschweißten

Doppel-T-förmigen Trägern bewehrt. Zur Aufnahme der späteren Zwischendecke werden oberhalb des Lichtraumprofils Konsolen als Widerlager ausgebildet. Die Zwischendecke wird nach der Herstellung der Vorsatzschale aus 2,50 Meter breiten Fertigteilen erstellt. Die Fertigteile sind zweiteilig und in der Mitte mittels Stahlbauteilen gelenkig verbunden. Anschließend werden Druckstützen zwischen der Firste und den Mittelgelenken eingebaut. Somit kann die Zwischendecke als horizontale Aussteifung wirken.

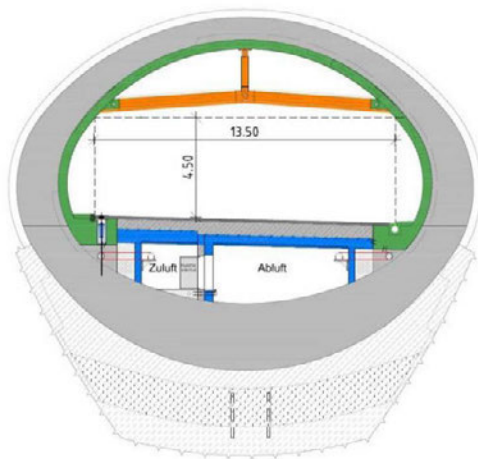


Abbildung 2: Prinzipskizze der baulichen Ertüchtigung

Zusätzlich zur baulichen Ertüchtigung des Tunnels ist auch die Erneuerung der Betriebstechnik erforderlich. Die Schwierigkeit ist hierbei nicht nur die Erneuerung unter Aufrechterhaltung des Verkehrs, sondern auch die abschnittsweise Herstellung der Vorsatzschale im Zuge der baulichen Ertüchtigung.

Grundsätzlich stellen bei der Ertüchtigung des Engbergbasistunnels die komplexen Bauabläufe in Verbindung mit den sehr beengten Platzverhältnissen eine große Herausforderung dar. Die Ertüchtigungsmaßnahme wird auf Grundlage einer großen Anzahl an Zwischenzuständen und Provisorien umgesetzt. Es werden hohe Aufwendungen für die Verkehrsteilnehmer und das Baustellenpersonal getätigt. Zur Beibehaltung des bestehenden Sicherheitsniveaus während der Bauzeit werden zudem die alten und die neuen Anlagenteile der Betriebstechnik parallel betrieben.

5.4 Bauzeitliche Verkehrsführung

Die Ertüchtigung umfasst beide Tunnelröhren. Die Arbeiten zur Umsetzung der Ertüchtigungsmaßnahmen erfolgen jedoch immer nur in einer Tunnelröhre, der sogenannten „Bauröhre“. In der „Bauröhre“ müssen für die bauzeitliche Verkehrsführung zudem zwei der drei vorhandenen Fahrstreifen herangezogen werden. In der zweiten Tunnelröhre, der sogenannten „Verkehrsröhre“, werden vier Fahrstreifen geführt. In der „Verkehrsröhre“ wird eine 3+1-Verkehrsrichtung eingerichtet.

Die Herstellung der Vorsatzschale erfolgt in drei Bauphasen. Der Einbau der Fertigteile findet nachts unter Vollsperrung der „Bauröhre“ und somit auf Grundlage einer Reduzierung der vorhandenen Anzahl an Fahrstreifen außerhalb der Hauptverkehrszeiten statt.

5.5 Tunnelsimulator

Im Zuge der Ertüchtigungsmaßnahme wird auch das Pilotprojekt Tunnelsimulator umgesetzt.

Der Tunnelsimulator wird über die gesamte Bauzeit eingesetzt, um die einzelnen Bauphasen zu simulieren. Derzeit beinhaltet der Tunnelsimulator ein Strömungsmodell, eine Visualisierung, eine Verkehrssimulation und eine Beleuchtungssimulation.

Das Grundkonzept des Pilotprojekts Tunnelsimulator sieht vor, neben dem vorhandenen „Produktivsystem“ ein „Spiegelsystem“ für die Software auf Basis simulierter Außenanlagen einzurichten, um dort die Software des Produktivsystems zu testen und simulierte Schaltungen durchführen zu können. Durch die Simulation im Spiegelsystem kann neu zu installierende Software vor der Installation im Produktivsystem getestet werden. Dadurch lässt sich die Dauer der Inbetriebnahme vor Ort um 80 Prozent reduzieren.

5.6 Bauzeit und Kosten

Die Vorabmaßnahmen wurden im Zeitraum von Mitte 2016 bis Ende 2019 durchgeführt. Die Kosten der Vorabmaßnahmen betragen rund 25 Millionen Euro.

Die Hauptmaßnahme ist aktuell im Bau. Das Bauende ist derzeit für Mitte 2024 geplant. Die Kosten der Hauptbaumaßnahme betragen rund 130 Millionen Euro (Stand November 2020).

6. Erhaltungsmanagement für Straßen (Fahrbahnen)

6.1 Zustandserfassung und -bewertung (ZEB)

Die Bundes- und Landesstraßen in Baden-Württemberg werden turnusmäßig nach vier Jahren einer neuen Zustandserfassung und -bewertung (ZEB) unterzogen.

Dabei erfolgt die Zustandserfassung der Straßen mit Messfahrzeugen. Zum Einsatz kommen hierbei schnell fahrenden Messfahrzeuge, die im Verkehrsstrom mitfahren und mit Hilfe von Lasertechnik und Kameras die Straßenoberfläche aufnehmen.

Sie erfassen einerseits den so genannten Gebrauchswert. Dieser umfasst die relevanten Aspekte aus Sicht des Verkehrsteilnehmers:

- Allgemeine Unebenheit
- Fiktive Wassertiefe
- Griffbarkeit

Andererseits misst die ZEB den so genannten Substanzwert. Dieser gibt an, wie stark die Substanz einer Straße angegriffen ist und damit auch, wie sehr sie an Wert verliert. Hierbei werden folgende Aspekte betrachtet:

- Spurrinntiefe
- Risse
- Restschadensfläche

Die ZEB-Daten erlauben einen guten Überblick über die Zustandsverteilung und Zustandsausprägung der Straßenabschnitte. Hierbei wird für jeden 100 Meter-Abschnitt außerorts und jeden 20 Meter-Abschnitt in Ortsdurchfahrten eines Straßenzuges anhand der beiden Teilwerte Substanz- und Gebrauchswert der Zustand ermittelt. Die Notenskala reicht hierbei von 1 (bester Wert) bis 5 (schlechtester Wert), wobei ab einer Note von 4,5 jeweils der so genannte Schwellenwert erreicht ist. Die ermittelten Zustandsgrößen wurden nach festgelegten Regularien zu einem Gesamtwert verknüpft.

6.2 Zustandsentwicklung der Straßen (Fahrbahnen)

Die Entwicklung des Straßenzustands kann insbesondere über den Gesamtwert beurteilt werden. Der Gesamtwert der Bundesstraßen hat sich von 3,2 im Jahr 2011 auf 3,0 im Jahr 2015 verbessert. Die letzte ZEB der Bundesstraßen hat im Jahr 2019 stattgefunden. Die ZEB 2019 hat einen Gesamtwert von 3,0 ergeben.

Bei den Landesstraßen hat sich der im Jahr 2016 erhobene Gesamtwert gegenüber der Erfassung im Jahr 2012 von 3,5 auf 3,4 verbessert. Die letzte ZEB der Landes-

straßen erfolgte im Jahr 2020. Die Ergebnisse der ZEB 2020 liegen voraussichtlich im Frühjahr 2021 vor.

6.3 Erhaltungsmanagement des Landes

Auf Grundlage der Informationen zum Substanz- und Gebrauchswert der Straßenabschnitte sowie unter Berücksichtigung der voraussichtlich zur Verfügung stehenden Haushaltsmittel sowie einem Erfahrungswert für durchschnittliche Kosten von Erhaltungsmaßnahmen hat das Land ein Erhaltungsmanagement für die Bundes- und Landesstraßen in Baden-Württemberg erstellt.

Das Erhaltungsmanagement umfasst dabei insbesondere eine Priorisierung der sanierungsbedürftigsten Streckenabschnitte im Bundes- sowie Landesstraßennetz und stellt somit die Grundlage für die Umsetzung von Maßnahmen zur Erneuerung der Fahrbahndecken durch die Straßenbauverwaltung dar.

7. Schlussbemerkung

Grundsätzlich werden bei der Planung und Umsetzung von Erhaltungsmaßnahmen die einzelnen Bestandteile des Straßennetzes immer zusammen betrachtet und – in Abhängigkeit vom jeweiligen Zustand der einzelnen Straßenbestandteile – gemeinsam als Erhaltungsmaßnahme umgesetzt.

Bei Erhaltungsprojekten ist – im Vergleich zu Neubauprojekten – dabei in besonderem Maße der mit der Baumaßnahme verbundene Eingriff in den Verkehr zu berücksichtigen.

Entwicklungen im Straßenbau – Wie Maximalrecycling und Qualitäts-Straßenbau Baden-Württemberg 4.0 (QSBW 4.0) den Straßenbau effizienter und ökologischer gestalten können

Dr. Steffen Klumbach

Landesstelle für Straßentechnik (LST), Abt. 9 des Regierungspräsidiums Tübingen

Vera Schmidt

Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg (VM), Abt. 2 Straßenverkehr, Straßeninfrastruktur

Zusammenfassung

Das Land Baden-Württemberg ist Wegbereiter bei der Entwicklung und Anwendung zukunftsweisender Technologien im Straßenbau. So wurden im Zeitraum von 2011 bis 2015 bei Erhaltungsmaßnahmen auf Landesstraßen 38 Pilotstrecken mit erhöhter Zugabemenge an Asphaltgranulat erfolgreich eingebaut - bekannt als Maximalrecycling. Mit Einführung der ETV-StB-BW, Ausgabe 2015 wurde Maximalrecycling als Regelbauweise für Binder- und Tragschichten aus Asphaltbeton zugelassen. Hinsichtlich einer Fortschreibung der ETV-StB-BW wurde nun die Dauerhaftigkeit der bis 2015 gebauten Pilotstrecken mit Maximalrecycling untersucht und bestätigt. In den Jahren 2017 und 2018 hat die Straßenbauverwaltung zudem mehrere Erhaltungsmaßnahmen in der Sonderbauweise Qualitäts-Straßenbau Baden-Württemberg 4.0 (QSBW 4.0) erfolgreich umgesetzt. QSBW 4.0 nutzt die Digitalisierung im Bauwesen um zahlreiche qualitätssteigernde Aspekte bei der Herstellung von Asphaltstraßen zu vereinen. In der Folge wurde 2018 das QSBW 4.0 Handbuch eingeführt. Die Zusammenführung beider Bauweisen kann den Straßenbau effizienter und ökologischer zugleich gestalten.

1. Einführung

Die Zahl an geplanten Straßenbauvorhaben in Baden-Württemberg ist groß, insbesondere im Bereich der Straßenerhaltung. Demgegenüber stehen begrenzte finanzielle und materielle Ressourcen. Die Straßenbauverwaltung ist deshalb bemüht ihre Bauvorhaben möglichst wirtschaftlich umzusetzen, eine längere Nutzungsdauer der Straßenbefestigung zu erzielen und nicht zuletzt die Umwelt zu schonen. Dies kann mit Hilfe innovativer Bauweisen wie dem hier vorgestellten Maximalrecycling und Qualitäts-Straßenbau Baden-Württemberg 4.0 (QSBW 4.0) erreicht werden.

2. Maximalrecycling

Recycling statt Entsorgung. Schonung von Ressourcen. Auf diesen Schlagworten fußt die Entwicklung von Maximalrecycling. Sie beginnt in Baden-Württemberg im Jahr 2011 mit der Erneuerung der Strecke L 1221 von Steinenkirch nach Böhmenkirch. Als Pilotmaßnahme wurde hier eine Asphaltdeckschicht mit einer Zugabemenge von 85 Gew.-% Asphaltgranulat eingebaut [1]. Bis 2015 folgte die Ausführung 37 weiterer Pilotstrecken mit Maximalrecycling auf insgesamt knapp 80 km Landesstraßen in

Baden-Württemberg (Abb. 1). Hierbei wurden in sämtlichen bitumengebundenen Schichten des Straßenoberbaus verschiedene Asphaltbauweisen erprobt.

Während der Pilotphase kamen die beiden Bauweisen „Maximalrecycling 90“ und „Maximalrecycling 50/75“ zur Anwendung. Entsprechende bauvertraglichen Regelungen hierfür wurden mit den ETV-StB-BW Maximalrecycling, Fassung 2013 eingeführt [2].

„Maximalrecycling 90“ ist, unabhängig von der einzubauenden Asphaltbetonschicht, durch eine Zugabe von 75 bis 90 Gew.-% Asphaltgranulat sowie eines geeigneten Rejuvenators definiert. Es gilt die durch das Fräsen veränderte Sieblinie durch Zugabe grober Gesteinskörnungen zu korrigieren sowie einen Bindemittelüberschuss zu vermeiden. „Maximalrecycling 50/75“ legt eine Zugabemenge von 60 bis 75 Gew.-% Asphaltgranulat in Trag- und Binder-schichten aus Asphaltbeton sowie einer Zugabemenge zwischen 40 und 50 Gew.-% an Asphaltgranulat in Deckschichten aus Asphaltbeton fest. Die Herstellung des neuen Asphaltmischgutes beinhaltet zudem die Zugabe von weichem Straßenbaubitumen (50/70 oder 70/100) oder Polymermodifiziertem Bitumen.

In der Folge stellte sich heraus, dass Asphaltmischgüter mit Maximalrecycling bezüglich ihrer Herstellung und des Einbaus als technisch gleichwertig zu konventionell

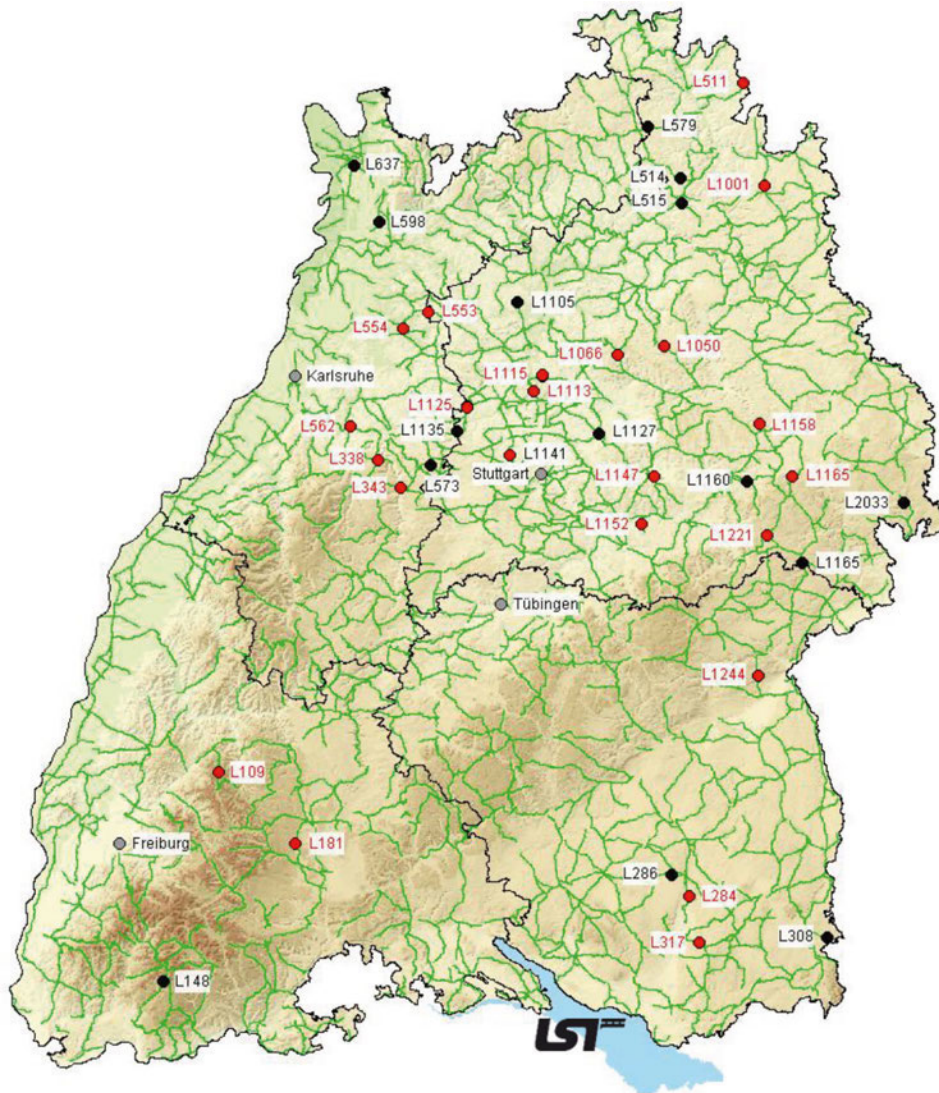


Abb. 1: Pilotstrecken mit Maximalrecycling auf Landesstraßen in Baden-Württemberg, ausgeführt von 2011 bis 2015, mit Differenzierung der in 2020 untersuchten Strecken (rot).

gebauten Strecken eingestuft werden können [2]. Von grundlegender Bedeutung für die erfolgreiche Anwendung von Maximalrecycling sind insbesondere das schichtenweise Fräsen des auszubauenden Altbestandes, ein konsequentes und sortenreines Haldenmanagement sowie eine Asphaltmischanlage mit Paralleltrommel. Mit der Einführung der ETV-StB-BW, Ausgabe 2015 wurde Maximalrecycling als Regelbauweise zur Herstellung von Binder- und Tragschichten aus Asphaltbeton zugelassen. Parallel dazu wurden die bereits in den Jahren 2011 und 2012 gebauten Strecken labortechnisch überwacht [3].

Nach einer Liegedauer von etwa 5 bis 10 Jahren wurden nun 23 ausgewählte Strecken der gesamten Pilotphase untersucht. Die Untersuchungen wurden in Kooperation mit dem Aalener Baustoffprüfinstitut (ABPI), dem Institut für Baustoffprüfung und Umwelttechnik (IBE) sowie dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

durchgeführt und bestätigen eine gute Dauerhaftigkeit der Strecken.

3. Qualitäts-Straßenbau Baden-Württemberg 4.0 (QSBW4.0)

Die Entwicklung von QSBW 4.0 geht zurück auf das von 2013 bis 2016 durchgeführte Projekt „Smart Site“ [4]. In diesem wurde die digitale Vernetzung von Straßenbaumaschinen in Verbindung mit einer intelligenten Steuerung erprobt. Ziel war die Optimierung des Bauprozesses, was eine größtmögliche Einbauqualität verspricht. Über längere Erhaltungszyklen können die Kosten einzelner Erhaltungsmaßnahmen in Summe reduziert werden. Ziel von QSBW 4.0 ist eine Verstetigung des Einbauprozesses [5]. Das einzubauende Asphaltmischgut soll ausreichend heiß, in konstanter Schichtdicke und mit homogener Verdichtung verarbeitet werden.

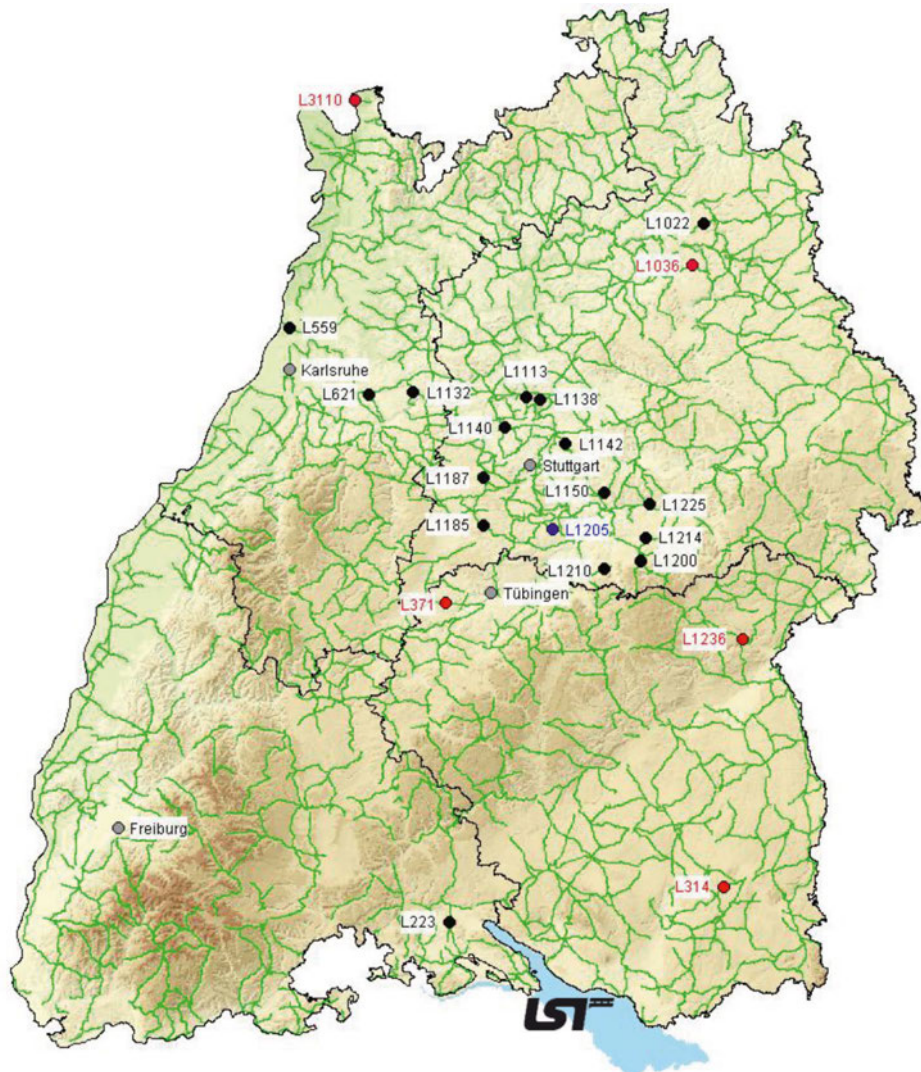


Abb. 2: Von 2017 bis 2020 auf Landesstraßen in Baden-Württemberg ausgeführte Erhaltungsstrecken mit QSBW 4.0 (schwarz), geplante Erhaltungsmaßnahmen mit QSBW 4.0 für 2021 (rot) sowie das Projekt „Smart Site“ (blau).

Seit 2017 sind bereits 16 Erhaltungsmaßnahmen auf Landesstraßen in Baden-Württemberg mit QSBW 4.0 ausgeführt worden (Abb. 2). In Summe entspricht dies ungefähr 41 km Streckenlänge.

Bereits 2018 wurde das QSBW 4.0 Handbuch eingeführt. Zur Fortschreibung des QSBW 4.0 Handbuches fand Ende 2019 an der Landesstelle für Straßentechnik (LST) ein Erfahrungsaustausch innerhalb der Straßenbauverwaltung statt. Anfang 2020 fand zudem am Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg (VM) ein Erfahrungsaustausch mit den ausführenden Firmen statt.

Für das Jahr 2021 sind fünf weitere Maßnahmen mit einer Gesamtlänge von etwa 11 km geplant. Ferner wird QSBW 4.0 künftig bei allen geeigneten Erhaltungsmaßnahmen auf Landesstraßen als Regelbauweise zur Anwendung kommen.

Vor Baubeginn steht bei Projekten mit QSBW 4.0 die Bestandserfassung mit Hilfe eines Straßenscans, der zur Erfassung der vorhandenen Oberfläche dient, sowie eine

Georadarerkennung in Verbindung mit der Entnahme von Bohrkernen zur Erfassung des bestehenden Oberbaus. In der Folge wird zur Festlegung des Erhaltungsumfangs der zukünftige Aufbauhorizont definiert. Dieser wird über schichtenweises Fräsen sowie durch Fräsen in variabler Tiefe erreicht. Der daran anschließende Wiederaufbau einer Asphaltstraße umfasst vier wesentliche Schritte: 1.) die Herstellung des Mischgutes in der Mischanlage, 2.) den Transport des heißen Mischgutes zur Baustelle, 3.) der Einbau auf der Baustelle sowie 4.) die Verdichtung.

Bei der Herstellung des Asphaltmischgutes adressiert QSBW 4.0 vor allem die Verladetemperatur. Diese orientiert sich an der voraussichtlichen Temperatur bei der Anlieferung auf der Baustelle. Ziel ist es das Mischgut gleichmäßig heiß für die Verarbeitung auf der Baustelle anzuliefern, bei der Herstellung in der Mischanlage jedoch möglichst wenig thermisch zu belasten. Zudem liefert die digitale Anbindung des Wiegesystems Informationen über die momentane Auslastung der Mischanlage.

Ferner wird der Verladezeitpunkt erfasst und die aktuelle Position der Fahrzeuge kontinuierlich bestimmt. In der Folge können der Zeitpunkt und die Temperatur für die Anlieferung des Mischgutes auf der Baustelle prognostiziert werden. Hierbei werden auch Umwelteinflüsse wie beispielsweise ein erhöhtes Verkehrsaufkommen berücksichtigt.

Schlüsselparameter des Einbauprozesses sind die Einbautemperatur, Fertigungsgeschwindigkeit und Schichtdicke. Diese Werte werden baubegleitend dokumentiert und sollen konstant gehalten werden.

Letzter entscheidender Faktor ist die Verdichtung des heißen Asphaltmischgutes. Diese soll angemessen und homogen sein und wird deshalb ebenfalls baubegleitend dokumentiert.

4. Zusammenführung

Durch die Wiederverwendung großer Mengen an Asphaltgranulat und die Schonung materieller Ressourcen stehen bei Maximalrecycling ökologische Aspekte klar im Vordergrund. Durch den Einsatz großer Zugabemengen an Asphaltgranulat kann zudem kostengünstigeres Mischgut hergestellt werden, sodass Maximalrecycling auch eine wirtschaftliche Komponente hat. Demgegenüber adressiert QSBW 4.0 eine Effizienzsteigerung des

Asphalteinbauprozesses. Über eine längere Straßennutzungsdauer kann QSBW 4.0 zu einem ökologischeren Straßenbau beitragen.

Beide Bauweisen tragen auf unterschiedliche Weise zu einem effizienteren und ökologischeren Straßenbau bei. Die Zusammenführung beider Bauweisen kann darüber hinaus zu einer wechselseitigen Ergänzung der jeweils anderen Bauweisen führen.

Literaturangaben

- [1] Hollatz, A., Zweschper, Y.: Erhaltungskonzepte für Asphaltstraßen in Baden-Württemberg - Pilotstrecken mit Maximalrecycling, asphalt 08/2012.
- [2] Hollatz A, Uhlmann, I.: Erhaltungskonzepte für Asphaltstraßen in Baden-Württemberg - Maximalrecycling in der Praxis, asphalt 08/2013.
- [3] Oberth, E., Beeh, J., Zimmermann, R., Murgul, B.: Maximalrecycling, Asphalt & Bitumen 02/2017.
- [4] Seizer, B., Groß, M., Enghardt, L.: SmartSite - Prozesssicherheit durch Vernetzung und Automatisierung, Straße und Autobahn 01/2016.
- [5] Schmidt, V., Zimmermann, R.: Qualitäts-Straßenbau Baden-Württemberg 4.0, VSVI aktuell 01/2019.

BIM in der Straßenerhaltung

Dipl.-Ing. (FH) Gerhard Seifert
STRABAG GmbH
Direktion Baden-Württemberg
Albstadtweg 12
70567 Stuttgart
Deutschland

Zusammenfassung

Bei BIM SE, einer kooperativen Entwicklung der STRABAG GmbH und des Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg, Referat 23, handelt es sich um ein auf BIM-Prinzipien aufbauendes Straßenerhaltungsmanagement für den Abruf von Straßenerhaltungsmaßnahmen aus einem Rahmenvertrag, der Kosten-, aber auch Zeitsicherheit bei Fahrbahndeckenerneuerungen gewährleisten soll.

Die Entwicklung wurde anhand von Pilotstrecken evaluiert und getestet und somit im Zeitraum von 2018-2020 stetig weiterentwickelt. Rechtzeitige Einbindung von externem Knowhow und umfangreiche Voruntersuchungen gepaart mit Variantenuntersuchungen und klaren Baufestlegungen sollen das Miteinander während der Ausführungsphase unterstützen und erleichtern. Durch Modellbasierte Darstellung und Nutzung von neuen Erfassungsmethoden wird auch die vermeintlich kleine Baustelle digital und vorgeplant.

1. Entwicklung

Um ein Pilotvorhaben über mehrere Jahre vom Startgespräch bis hin zu einer eventuellen Einführung des Verfahrens in einer Testphase zu ermöglichen sind viele gemeinsame Entwicklungsschritte und Abstimmungsgespräche sowie viele Festlegungen zu treffen.

1.1 Auftraggeber Information Anforderung AIA)

Die AIA stehen am Anfang eines jeden BIM-Projektes, da dort der geforderte Input des Projektes für den Auftraggeber festgelegt wird. Somit muss sich der Auftraggeber erst einmal im Klaren sein, wann er welche Informationen in welcher Qualität und welchem Format während der Projektabwicklung.

1.2 BIM-Abwicklungs-Plan (BAP)

Im weiteren Entwicklungsverlauf wurde die geforderten Informationen seitens der STRABAG auf Machbarkeit und Dokumentierbarkeit geprüft und in einem BIM-Abwicklungsplan aufgeführt.

1.3 Standard LV

Im derzeitigen Entwicklungsstadium ist noch keine automatisierte Erzeugung von völlig freien LV ausschließlich über Volumenkörpermerkmalen möglich.

Daher wurde gemeinsam ein BIM-geeignetes Rahmenvertrags-LV für gängige Jahresbaumaßnahmen entwickelt, die mögliche Bauweisen für ganz Baden-Württemberg ermöglichen sollen.

1.4 Attributkatalog

Für dieses Rahmenvertrags-LV mussten nun die passenden Merkmalattribute für die Modellierungskörper (auch Volumenkörper genannt) definiert werden, die bei der Modellierung den Körpern mitgegeben werden müssen. Dies ist eine der wichtigsten Tätigkeiten, damit später im AVA-System (hier RIB-ITwo) die Verbindungen gefunden werden.

1.5 Ausstattungskatalog ITwo

Damit wie oben erwähnt die Modellierungselemente den richtigen LV-Ordnungszahlen des Rahmenvertrags-LV automatisiert zugewiesen werden muss ein für alle Beteiligten geltender Ausstattungskatalog entwickelt werden, der kurz gesagt wie eine Suchmaschine alle importierten Volumenkörper untersucht und den zugehörigen LV-OZ's zuweist.

Wichtig dabei ist, dass alle möglichen Bieter und der Auftraggeber die gleichen Attribute sowie den gleichen Ausstattungskatalog benutzen.

1.6 Entwicklung Prozessketten

Um für alle Projektbeteiligten die einzelnen notwendigen Schritte als auch die zeitlichen Zusammenhänge und Handlungszeitpunkte aufzuzeigen wurde für 8 Projektphasen eine EPK (Ereignisgesteuerte Prozesskette) aufgesetzt.

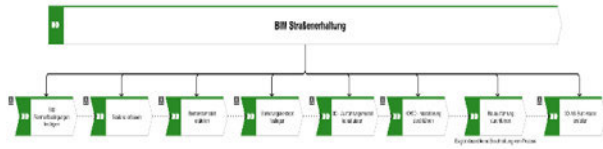


Bild 1: EPK-Übersicht BIM SE

Dies erleichtert für neue Projekt und Techniken auch die Schulung und Fortbildung der Beteiligten.

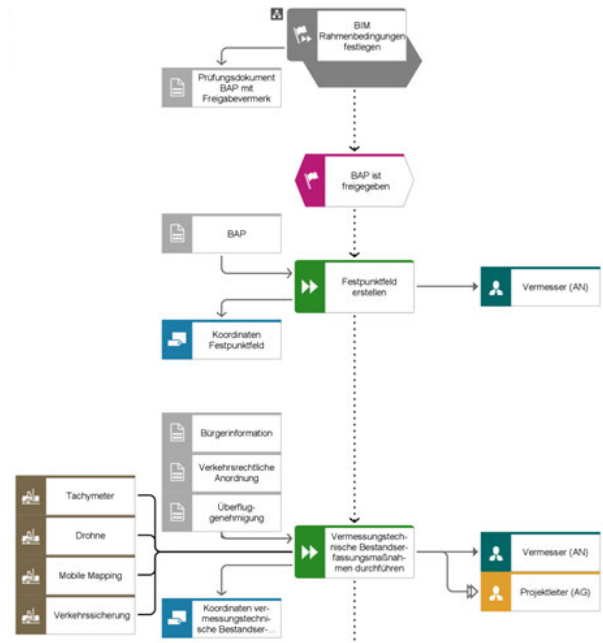


Bild 2: EPK am Beispiel Bestandsaufnahme

2. Bestandserfassung

BIM SE versucht den ganzen Rahmen von Ausschreibung bis hin zum AS-Built-Modell abzudecken. Daher sind umfassende Erkenntnisse zum Bestand existentiell, um über das Bestandsmodell wichtige Info's für die Ausführungsvariante bereit zustellen.

2.1 Oberfläche

Für jede Planung ist die 3D-Information der bestehenden Fahrbahn die Grundlage. Für BIM-SE wurden jede derzeit wirtschaftliche Möglichkeit der Datenerfassung untersucht. Diese waren tachymetrische Aufnahme, Drohnenvermessung sowie Scangestütztes Mobile Mapping.



Bild 3: Bestandserfassungsmethoden

2.2 Zustand und Belastung Bestandsschichten

Um unliebsame Überraschungen im Untergrund und daraus resultierende Probleme im Budget und Bauzeit zu vermeiden, wird sehr viel Wert auf die flächenhafte Untersuchung des Untergrundes in Bezug auf Aufbau und Belastung gelegt.

Dafür wurde flächenhafte Georadaruntersuchungen sowie umfangreiche Kontrollbohrungen durchgeführt.



Bild 4: Abdeckung des Bestandes durch die Georadarbefahrung



Bild 5: Flächenhaftes Georadar-Messfahrzeug

2.3 Bestandsmodell

Auf Basis der ermittelten Daten wird danach das Bestandsmodell modelliert und attribuiert, damit Entscheidungsträger den Bestand analysieren können. Dabei können Visualisierung behilflich sein.

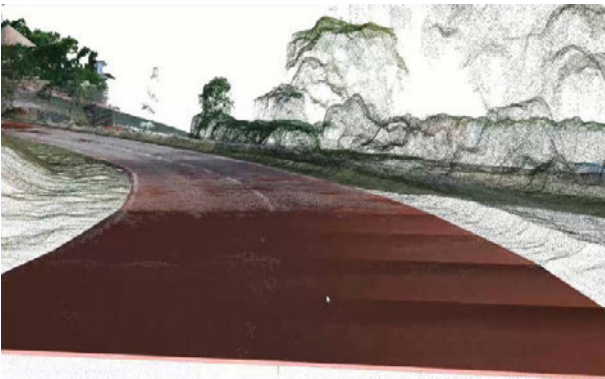


Bild 6: Beispiel Bestandsmodell in 3D-Ansicht

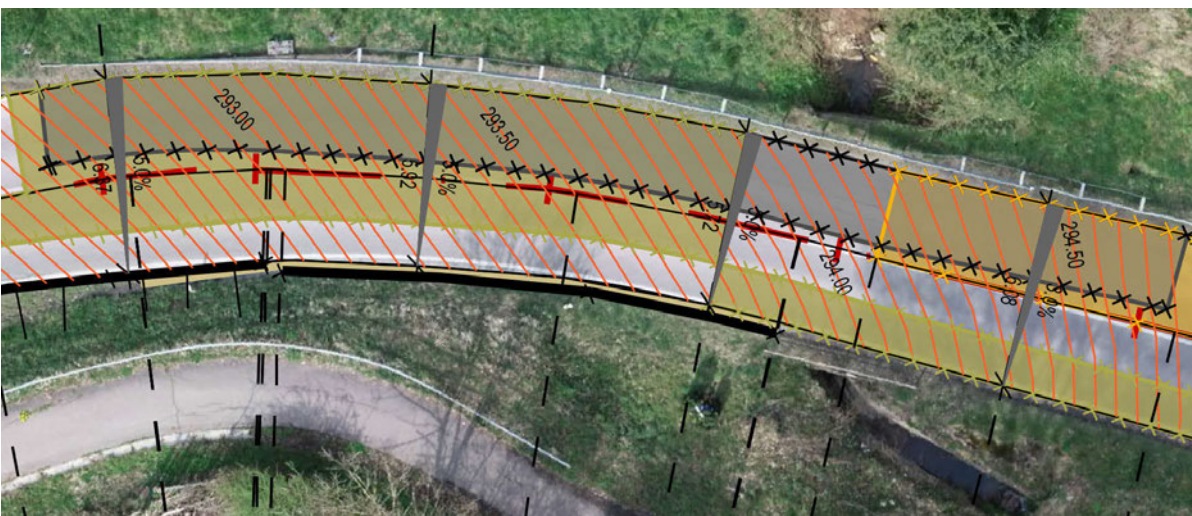


Bild 7: Aufnahmen Schadstellen

3. Ausführungsvarianten / Festlegung

Für die Ausführungsmodellierung können sofort eine Variante oder evtl. auch mehrere mögliche Varianten sinnvoll und interessant sein. Manchmal kann zur Zeit-, und Kostenoptimierung auch die Modellierung mehrerer Varianten am Ende die richtige Lösung sein. Auch die Einbindung von externem Knowhow kann in dieser Phase sinnvoll sein.

3.1 Ausführungsmodell

Nach den Vorgaben der Entscheidungsträger werden gemäß den gemeinsamen Merkmalkataloge (Attribute) optimierte Ausführungsplanungen (oft gepaart mit Ausgleichsplanungen mit Fahrdynamik und Entwässerungsoptimierung) aufgestellt und modelliert.

Diese können dann mittels der Ausstattungskataloge und des Standard-LV umgehend in Bezug auf Kosten und Bauzeit in ITwo ausgewertet werden und somit verlässlich in die Planungen des Budget der ausschreibenden Behörde einfließen.

4. Abrechnungsmodell

Wir das Projekt tatsächlich vergeben kann nun die Ausführungsphase gestartet werden. Sollten keine Änderungen in der Bauzeit mehr auftreten, wäre das Abrechnungsmodell und das Ausführungsmodell identisch. Ansonsten müssen die Veränderungen fortlaufend in das Abrechnungsmodell eingepflegt werden.

4.1 Erfassung Veränderungen

Änderungen, die eine Aktualisierung des Modells erforderlich machen (z.B. Schadstellen, die nicht geplant werden konnten.) müssen georeferenziert eingemessen werden. Dies kann durch GNSS-Rover, Drohnen, Scanner oder auch manuelle Einmessungen mit Lageangaben, die ein referenziertes Modellieren ermöglichen, durchgeführt werden.

4.2 Nicht modellierbare Leistungspositionen

Nicht alle Positionen Standard-LV lassen sich positionsgetreu modellieren. Dazu gehören Pauschalen, Verkehrs-sicherung, etc. Diese OZ machen eine nicht unerhebliche Anzahl am Gesamtprojekt aus. Um eine gesamte Abrechnung als Modellübergabe zu ermöglichen wurde mittels Dummy-Körpern, denen abrechnungsrelevante Dokumente und Informationen angeheftet wurden entwickelt und in Pilotprojekten mit Erfolg getestet.

5. AS-Built-Modell

Für die Weiterverwendung des tatsächlich übergebenen Bauprojekt sind allerdings nur noch die neuen Schichten sowie Qualitäts-, und Herkunftsangaben dazu relevant. Diese werden in einem As-Built-Modell, das aus einem reduzierten Abrechnungsmodell sowie weiteren angehefteten Informationen besteht, gebündelt.

Bei Bedarf stehen diese jetzt Interessierten (z.B. Straßenmeistereien) zur Verfügung.



Bild 8: As-Built-Modell in der Visualisierung

6. Fazit

BIM kann auch in der Strassenerhaltung für einen planbaren Rahmenvertragsumfang hilfreich sein, um begrenzte Budgets sowohl qualitativ als auch relativ sicher in der Bauzeit kurzfristig durchzuführen.

Abbildungsverzeichnis

- Bild 1: Strabag GmbH
- Bild 2: Strabag GmbH
- Bild 3: Strabag GmbH
- Bild 4: Strabag GmbH
- Bild 5: Strabag GmbH
- Bild 6: Strabag GmbH
- Bild 7: Strabag GmbH
- Bild 8: Strabag GmbH

Nachhaltiger Asphaltstraßenbau und die Auswirkungen auf das Erhaltungsmanagement – Praxisbeispiel Münster

Dr.-Ing. Alexander Buttgerit

Stadt Münster Amt für Mobilität und Tiefbau

Dipl.-Betriebswirt Stefan Gomolluch

Stadt Münster Amt für Mobilität und Tiefbau

Dr.-Ing. Daniel Gogolin

Ingenieurgesellschaft PTM Dortmund mbH

Zusammenfassung

Das Thema Umweltschutz und Recycling ist in Deutschland im Asphaltstraßenbau nicht neu. Bereits seit vielen Jahrzehnten wird Ausbauasphalt beim Bau neuer bzw. der Erhaltung vorhandener Straßen erfolgreich eingesetzt. Warum dann jetzt etwas Neues? Vor dem Hintergrund stetig schwindender natürlicher Ressourcen wird die Frage der Wiederverwendung auch im Asphaltstraßenbau immer dringender. Gleichzeitig werden immer mehr bereits mit Ausbauasphalt hergestellte Asphalte recycelt, also re-recycelt. Außerdem zeichnen sich mögliche Konsequenzen des Klimawandels immer deutlicher ab, so dass auch eine Anpassung des Erhaltungsmanagements wahrscheinlicher wird.

In diesem Beitrag sollen in einem ersten Teil die Bautechnik und die Ergebnisse der Versuchsstrecken dargestellt werden. Im zweiten Teil werden die hieraus resultierenden Folgen für das Erhaltungsmanagement am Beispiel Münster verdeutlicht.

1. Wiederverwendung von Asphalt (-granulat)

Die Ressourcenrelevanz der Bauwirtschaft in Deutschland ist erheblich. Es werden ca. 540 Mio. Mg/a mineralische Naturstoffe abgebaut, dies entspricht einem Landverbrauch von etwa 4 ha/d. Zudem ist die Bauwirtschaft für 37% der CO₂- und SO₂-, 18% der NO_x-Emissionen, 30% des Energieverbrauchs der westlichen Bundesländer verantwortlich. [1] Bisher wurde vornehmlich der Hochbau im Bereich des ressourceneffizienten Bauens betrachtet. Aber auch der Tiefbau, der zentrale Teile der Infrastruktur darstellt, hat neben einer großen ökonomischen Bedeutung (Umsatz des Baugewerbes 2018 in Deutschland ca. 86 Mrd. €, davon im Tiefbau 32 Mrd. € [2]) eine erhebliche Ressourcenrelevanz. Hier übernehmen Kommunen eine wichtige Funktion, da etwa 75% des Straßen- und Wegenetzes in Deutschland Gemeindestraßen und Wirtschaftswege sind.

Eine grundlegende Erneuerung der Straßenkörper ist nach bisherigen Erfahrungen, je nach Straßenkategorie, ca. alle 30 bis 60 Jahre notwendig. Asphaltdeckschichten weisen hierbei die geringste Lebensdauer von bis zu 20

Jahren auf. Allerdings ist davon auszugehen, dass aufgrund steigender Belastung des Straßenoberbaus (z. B. vermehrtes Schwerverkehrsaufkommen, Klimaveränderung), die Erneuerungszyklen und Lebensdauern in Zukunft kürzer werden [3]. Der Baustoff Asphalt eignet sich aufgrund seiner thermoplastischen Eigenschaften ausgezeichnet für die Wiederverwendung bzw. das Recycling. Das hierfür erforderliche Technische Regelwerk liegt im Grundsatz mit entsprechenden Grenzen für die Zugabe von Asphaltgranulat (AG) vor.

Mit diesen Begrenzungen geben sich die Autoren jedoch nicht zufrieden und wollen daher u.a. der Frage nachgehen: Wie viel mehr Asphaltrecycling ist in der Praxis heute und in der Zukunft möglich?

Da bereits seit vielen Jahren die Wiederverwendung von Asphalt (-granulat) fester Bestandteil des Asphaltkreislaufs ist (vgl. Abbildung 1), ist es absehbar, dass Rejuvenatoren zukünftig einen wichtigen Baustein bei der Wiederverwendung von Asphalt darstellen werden, der auch langfristig möglichst hohe Wiederverwendungsraten bei gleichbleibend hoher Qualität ermöglicht [4].

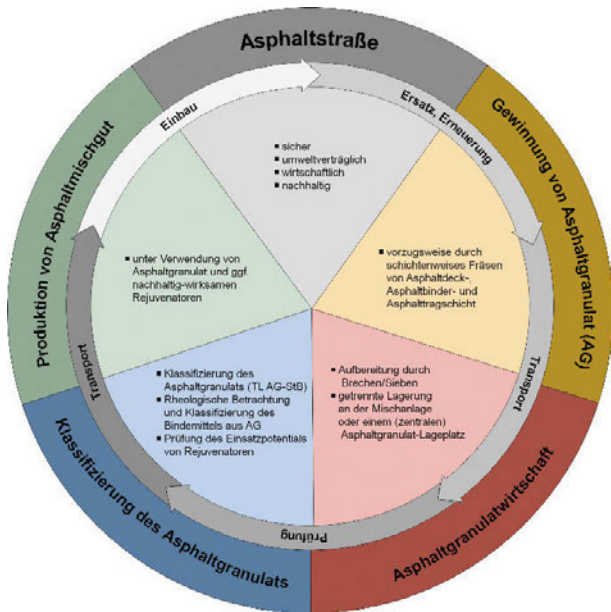


Abbildung 1: Kreislauf im Asphaltstraßenbau

Im Rahmen der vorangegangenen Projekte und Beiträge zum Thema Rejuvenatoren [5] [6] konnten bereits eine Vielzahl an positiven Aspekten herausgearbeitet werden. Aus den bisherigen Ergebnissen der Projekte haben sich in der Folge weitere Fragestellungen ergeben:

- Lässt sich die Zugabemenge von AG erhöhen ohne die Qualität negativ zu beeinflussen?
- Ist es generell sinnvoll – auch schon bei geringen Anteilen AG – Rejuvenatoren zu verwenden?
- Kann durch den Einsatz von Rejuvenatoren allgemein die Qualität verbessert bzw. die Nutzungsdauer verlängert werden?

Diese Fragestellungen sollten in mehreren Bauprojekten praktisch beantwortet werden.

2. Planungsschritte

Im Januar 2020 ist erstmals zwischen der bauausführenden Firma und der Stadt Münster die Idee besprochen worden, im Rahmen des laufenden Bauvertrags der Straßenerhaltung Teststrecken mit einer erhöhten Zugabe an Asphaltgranulat in der Asphalttragschicht und der Asphaltdeckschicht zu bauen. Schnell ist dabei Einvernehmen erzielt worden, ein solches Projekt gemeinsam umzusetzen. Hierzu ist allerdings eine enge Abstimmung aller am Projekt beteiligten Parteien (Baufirma, Asphaltmischwerk, Prüflabor, Auftraggeber) notwendig. Im Startgespräch zwischen dem Asphaltmischwerk, dem Prüflabor und dem Auftraggeber im März 2020 sind die Projektziele und die -umsetzung erörtert und fixiert worden. Hinsichtlich der Frage- und Zielstellungen wurde das Konzept entwickelt, Vergleichsuntersuchungen an einer Asphalttragschicht AC 22 TN und an einer Asphalt-

deckschicht AC 11 DN mit variierenden Anteilen an Asphaltgranulat und jeweils mit und ohne Rejuvenator durchzuführen.

3. Untersuchungsmethodik und Untersuchungsprogramm

Anfang April 2020 standen seitens des Asphaltmischwerks geeignete Asphaltgranulate in ausreichender Menge für das Projekt zur Verfügung. Analog zu der Erstellung der vorläufigen Erstprüfungen durch das Asphaltmischwerk wurde das Basisbitumen und das Asphaltgranulat im Labor der Ingenieurgesellschaft PTM Dortmund mbH untersucht.

Im Rahmen dieser Untersuchungen sollte die Zugabemenge des Rejuvenators mit Hilfe physikalischer und rheologischer Bindemitteluntersuchungen für die unterschiedlichen Varianten der Asphaltdeckschicht AC 8 DN und der Asphalttragschicht AC 22 TN labortechnisch bestimmt und festgelegt werden:

- Asphalttragschicht AC 22 TN mit 50 % Asphaltgranulat
- Asphalttragschicht AC 22 TN mit 80 % Asphaltgranulat
- Asphaltdeckschicht AC 11 DN mit 20 % Asphaltgranulat
- Asphaltdeckschicht AC 11 DN mit 50 % Asphaltgranulat.

Als Zugabebindemittel wurde für alle Varianten ein Straßenbaubitumen 70/100 und als Zielbindemittel ein Straßenbaubitumen 50/70 festgelegt. Als Rejuvenator kam das Produkt VIATOP® plus RC zum Einsatz. Für die Festlegung der einzelnen Bindemittelanteile, d.h. Zugabebindemittel 70/100, rückgewonnenes Bindemittel aus Asphaltgranulat und Rejuvenator, wurde auf die vorläufigen Erstprüfungen und auf die bisherigen Erkenntnisse der Wirkungsweise des Rejuvenators zurückgegriffen (Additiv 2.0 aus [7]). Für das Projekt kamen für die zwei Asphaltdeckschicht AC 8 DN und die Asphalttragschicht AC 22 TN jeweils unterschiedliche Asphaltgranulate zum Einsatz. Die Festlegung der Zugabemenge erfolgte klassisch über Erweichungspunkt Ring und Kugel und rheologisch über das BTSV-Verfahren. Auf Grundlage der durchgeführten Bitumenanalysen wurden die Zugabemengen des Rejuvenators für die einzelnen Asphaltmischgutvarianten festgelegt und in die entsprechenden Erstprüfungen eingearbeitet.

Auf Grundlage der Erprobungsstrecken und der entsprechend durchgeführten labortechnischen Untersuchungen konnten entscheidende Erkenntnisse zur Beantwortung der zuvor aufgeworfenen Fragestellungen gewonnen werden. Auf Basis dieser Erkenntnisse können darüber hinaus gezielte Aussagen zur Qualität dieser Bauweise

getroffen und anhand von durchgeführten Alterungs- und Belastungssimulationen weitreichende Prognose zur Dauerhaftigkeit und Nachhaltigkeit erstellt werden.

Diese Erkenntnisse haben beispielsweise einen unmittelbaren Einfluss auf Erhaltungszyklen einer Straße und können wiederum effektiv für das Erhaltungsmanagement genutzt werden.

4. Folgen für das Erhaltungsmanagement, Erhaltungszyklen

Die wesentliche Aufgabe der öffentlichen Straßenbaulastträger ist die Bereitstellung von sicheren und leistungsfähigen Straßen zu einem angemessenen Preis. Hierbei sollen u.a. die Belange des Umweltschutzes und der Barrierefreiheit beachtet werden. Diese Anforderungen aus unterschiedlichen Bereichen können leicht zu Zielkonflikten führen, die seit vielen Jahren mit Hilfe eines Asset Managementsystems transparent gelöst werden können.

Asset Management unterstützt die aufgaben- und ergebnisorientierte Steuerung der Straßenerhaltung unter mehr als rein Straßenbautechnischen Aspekten auf Basis von Zielen, Messgrößen und Kennzahlen über den Lebenszyklus aller Anlagen einer Organisation. Somit wird es möglich, z.B. Umwelt- oder Klimaziele in ein Erhaltungsmanagement messbar zu integrieren und vorhandene bautechnische Lösungen umzusetzen. Dabei stellt sich die Frage, ob die vorhandenen Lösungen ausreichen bzw. ob es ein noch nicht aktiviertes Potential gibt?

4.1 Wie kann so etwas konkret aussehen?

Die Stadt Münster hat verschiedene Programme ins Leben gerufen, um die Stadt und die Stadtverwaltung nachhaltiger und ans Klima angepasster zu gestalten. Das Amt für Mobilität und Tiefbau kann und will aufgrund der Verantwortung für die Infrastrukturanlagen einen großen Beitrag dazu leisten. Deshalb werden seit vielen Jahren Umweltaspekte in Entscheidungsprozesse integriert und beispielsweise ein nachhaltiges Straßenerhaltungsmanagement sukzessive aufgebaut. Dieses soll die drei Säulen der Nachhaltigkeit, Ökologie, Ökonomie und sozio-kulturelle Belange, berücksichtigen. Diese Leitziele lassen sich in strategische Ziele spezifizieren und

drücken gewählte Anforderungen an die Verkehrsinfrastruktur aus.

Hinter dem Ziel Nachhaltigkeit verbergen sich operative Ziele wie z. B. den Lärm zu senken, ein Ressourcen schonenderer Umgang mit Material und Energie sowie alles, was einen Menschen umgibt, auf ihn einwirkt und seine Lebensbedingungen beeinflusst. Als Messgröße wird z. B. der Einsatz von recycelten Materialien herangezogen. Um all diese Ziele bestmöglich zu erreichen, ist es wichtig, bautechnische Lösungen zu finden, die eine maximale Umweltwirkung bei gleichzeitig maximaler bautechnischer Sicherheit mit vielleicht sogar längerer Nutzungsdauer gewährleisten. Diese Randbedingungen sollen mit Hilfe „passender“ Materialeigenschaften erfüllt werden.

4.2 Welche Auswirkungen hat das auf den kurz-, mittel- und langfristigen Finanzbedarf?

Während bislang beschrieben worden ist, wie bautechnisch längere Nutzungsdauern erreicht werden können, soll im zweiten Teil dargestellt werden, wie bzw. worauf sich längere Nutzungsdauern auswirken. Fest steht, dass diese einen wesentlichen Einfluss auf den Finanzbereich (vgl. Abbildung 2) hat.

Aus den RPE-Stra und den ABBV ist eine Erhaltungsstrategie für das Straßennetz Münster entwickelt worden. Anhand dieser Werte lassen sich die Zeiträume für Instandsetzungsmaßnahmen abschätzen. Außerdem erhält man unter Berücksichtigung der in den ZTV BEA aufgeführten Erhaltungsarbeiten die Kosten für die Straßenerhaltung über die Nutzungsdauer des Oberbaus. Berücksichtigt man zusätzlich die Abschreibungen aus den Kosten der Erst- bzw. Ersatzinvestition, so ergibt sich der Aufwand für die Bereitstellung der Straße (vgl. [8, 9]).

Es sind Vergleichsrechnungen mit unterschiedlichen Eingangsparametern durchgeführt worden.

In der Abbildung 2 werden exemplarisch die Auswirkungen einerseits bei einer konstanten Gesamtnutzungsdauer von 40 Jahren und andererseits bei einer Verlängerung der Gesamtnutzungsdauer entsprechend der Verlängerungen der Schichten von bis zu 80 Jahren gegenübergestellt.

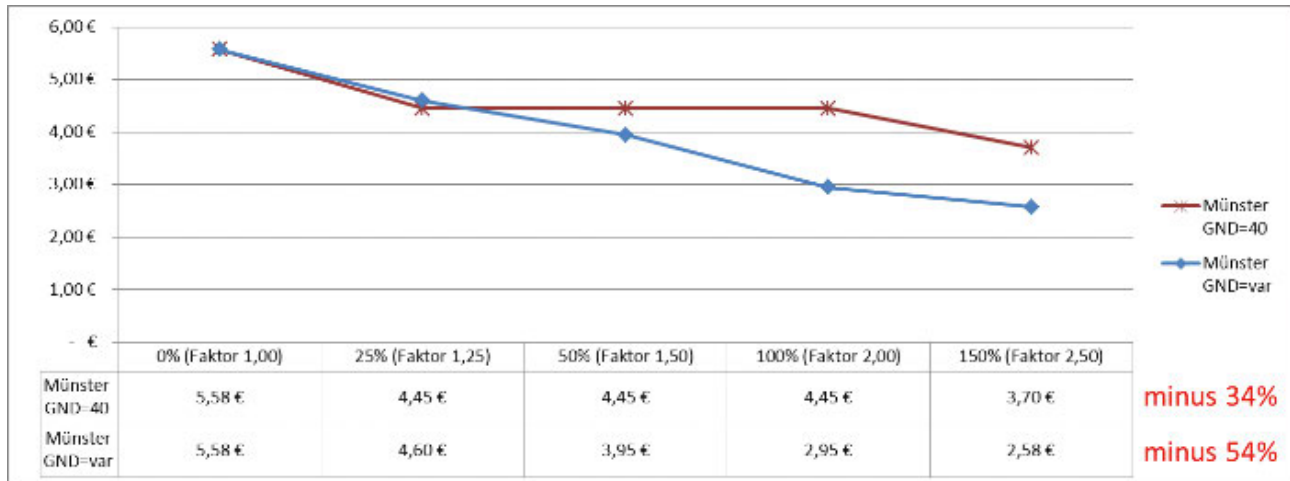


Abbildung 2: Preisentwicklung bei konstanter und variabler Gesamtnutzungsdauer

Bei konstanter Gesamtnutzungsdauer (GND) kann der Preis um bis zu 34% reduziert werden, bei variabler Gesamtnutzungsdauer sogar bis zu 54%. Die Hintergründe sowie weitere Beispiele werden in der Präsentation erläutert.

5. Fazit und Ausblick

Die Beispielberechnung verdeutlicht, dass eine Verlängerung der Lebensdauern einzelner Schichten bzw. der gesamten Anlage Straße einen wesentlichen Einfluss auf den Finanzbedarf hat. Längere Nutzungsdauern können im Bereich der Finanzen dazu führen, dass Reinvestitionen gestreckt werden, die jährlichen Mittel der Straßenerhaltung reduziert werden können und die bilanziellen Abschreibungen sich ebenfalls reduzieren. Positive Effekte aus Umweltsicht sind z.B. sinkende Kohlendioxidemissionen, weniger Verkehrsstörungen durch eine geringe Zahl an Baustellen sowie weniger Lärmemissionen durch defekte Straßen, Bauarbeiten oder baustellenbedingten Staus. Summiert man die v. g. Ausführungen und zieht ein Fazit, so kommt man zu dem Ergebnis, dass die beschriebenen Maßnahmen und Aktionsfelder zusammen genommen alle drei Säulen der Nachhaltigkeit – Ökologie, Ökonomie und sozio-kulturelle Belange – bedienen. Es ist also durchaus gerechtfertigt, von einem nachhaltigen Asset Management in Münster zu sprechen.

Literaturverzeichnis

[1] Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V., https://www.baustoffindustrie.de/fileadmin/user_upload/bbs/Dateien/Downloadarchiv/Rohstoffe/Rohstoffstudie_2019.pdf, letzter Zugriff 28.09.2020 und Drexler, H. et al: Minimum Impact

House, Forschungsprojekt zur Entwicklung eines nachhaltigen Prototyps im Auftrag der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, 2008.

[2] Ausgewählte Zahlen für die Bauwirtschaft – Dezember und Jahr 2018; Destatis Statistisches Bundesamt, 2019.

[3] Knappe, F. et al: Substitution von Primärrohstoffen im Straßen- und Wegebau durch mineralische Abfälle und Bodenaushub, Heidelberg, Dezember 2015

[4] Sonderrundschreiben 07/2020 vom 28.08.2020 und Technisches Informationspapier des Deutschen Asphaltverbands (DAV) e.V. „Verwendung von Rejuvenatoren bei der Wiederverwendung von Asphalt“ Stand August 2020

[5] Wirksamkeit und Performance von Rejuvenatoren, Teil 1: Laboruntersuchungen, Fachzeitschrift asphalt Heft 2/2019

[6] Wirksamkeit und Performance von Rejuvenatoren, Teil 2: Praxiserprobung und Bedeutung für das Erhaltungsmanagement, Fachzeitschrift asphalt Heft 4/2019

[7] Wirksamkeit und Performance von Rejuvenatoren – Teil 3: Vergleichsstudie zur Wirkungsweise unterschiedlicher Rejuvenatoren, Fachzeitschrift asphalt, Ausgabe 06/2019

[8] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (2019): Merkblatt über den Finanzbedarf der Straßenerhaltung in den Kommunen, Ausgabe 2019, FGSV Verlag, Köln

[9] Buttgerit, A.; Gomolluch, S. (2019): „Das neue „Merkblatt über den Finanzbedarf der Straßenerhaltung in den Kommunen“ – und wie geht es weiter?“, Straße und Autobahn, 12/2019, S. 1094–1103, Kirschbaum Verlag, Bonn



**Mobilität
und Verkehr**

Consequences of connected and automated driving to physical and digital high-level road infrastructure

Sandra Ulrich

ARND IDC GmbH & Co KG, Vienna, Austria

Risto Kulmala

Traficon Ltd, Espoo, Finland

Abstract

The development of automated driving functions in vehicles and road network operation automation is progressing steadily. As amendments to infrastructure are costly and timely there is a strong need for research for them to be planned accordingly. The CEDR-funded project MANTRA has investigated the consequences of automated vehicles on physical and digital road infrastructures as well as their planning, construction, maintenance and operation. Concrete consequences of selected automated vehicle functions as well as requirements resulting from their operational design domain (ODD) definition to infrastructure up until the year 2040 have been assessed. The need to define and provide the required Operational Design Domain (ODD) to enable highly automated driving were identified as most pressing for the road authorities and operators. This paper summarizes the results and provides infrastructure recommendations to support highly automated driving covering the areas of traffic management, road maintenance, crisis management, traffic information services, road planning and building, road works planning, physical infrastructure, enforcement, ITS systems, digital infrastructure, road user charging and new core businesses.

1. Introduction

1.1 Objective

Automation has been advancing very quickly during the past years in all domains of the society. In transport, the development started in the late 1980s but has advanced extremely rapidly during the past 7-8 years, mainly due to technology giants like Google stepping into the business earlier dominated by automobile manufacturers only. Research and technology development activities around road vehicle automation have very much focused on the basic enablers of automated driving, such as sensing, positioning, vehicle control and artificial intelligence.

So far, road authorities and operators have not been heavily engaged in the development of automated driving automation until recently. CEDR provided its position paper on road vehicle automation in 2016, and has initiated a working group on CAD, while many NRAs have developed specific strategies and action plans for CAD. There are two main reasons for this. First, CAD will have a major impact on the NRAs' policy goals related to safety, efficiency and environment as well as their core business of network operation. Second, NRAs have a major influence in determining where higher level automated

driving can in fact take place. With this in mind, the Conference of European Directors of Roads CEDR launched its Automation research call in late 2017. MANTRA "Making full use of Automation for National Transport and Road Authorities – NRA Core Business" has responded to the questions posed as CEDR Call's Topic A: How will automation change the core business of NRA's, by answering the following questions:

- What are the influences of automation on the core business in relation to road safety, traffic efficiency, the environment, customer service, maintenance and construction processes?
- How will the current core business on operations & services, planning & building and information and communication technology (ICT) change in the future?

1.2 Methodology

MANTRA work started with the analysis of vehicle penetrations and Operational Design Domain (ODD) coverage of NRA-relevant automation functions up to 2040 (Aigner et al. 2019). The next MANTRA deliverable (van der Tuin et al. 2020) on the impacts of connected and automated driving (CAD) studied the impacts related

to the role and policy targets of NRAs. In parallel the impacts and the resulting consequences and therefore necessary changes to infrastructure were assessed (Ulrich et al. 2020).

The overall methodology followed the process as shown in Fig. 1. Starting with the current status quo on European highways, inputs from several sources formed the basis of the assessment.

The initial starting point was a set of candidate automation functions all based on the latest definitions in ERTRAC (2019). Through scientific analysis of deployment and the collective selection with CEDR of most significant automated functions and use cases during workshops, the following functions shown in Fig. 2 have been chosen to be further studied.

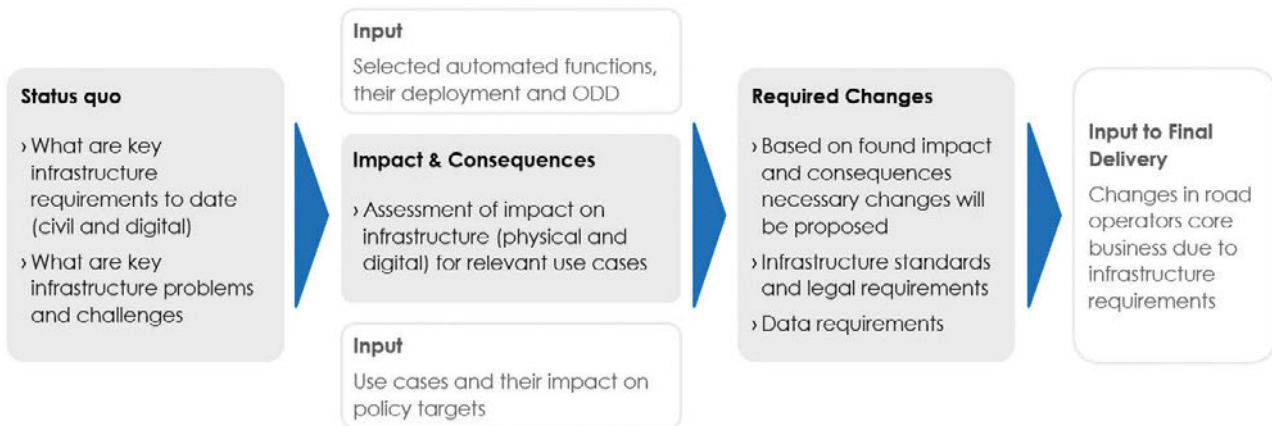


Fig. 1: Overall Methodology to find required changes to infrastructure

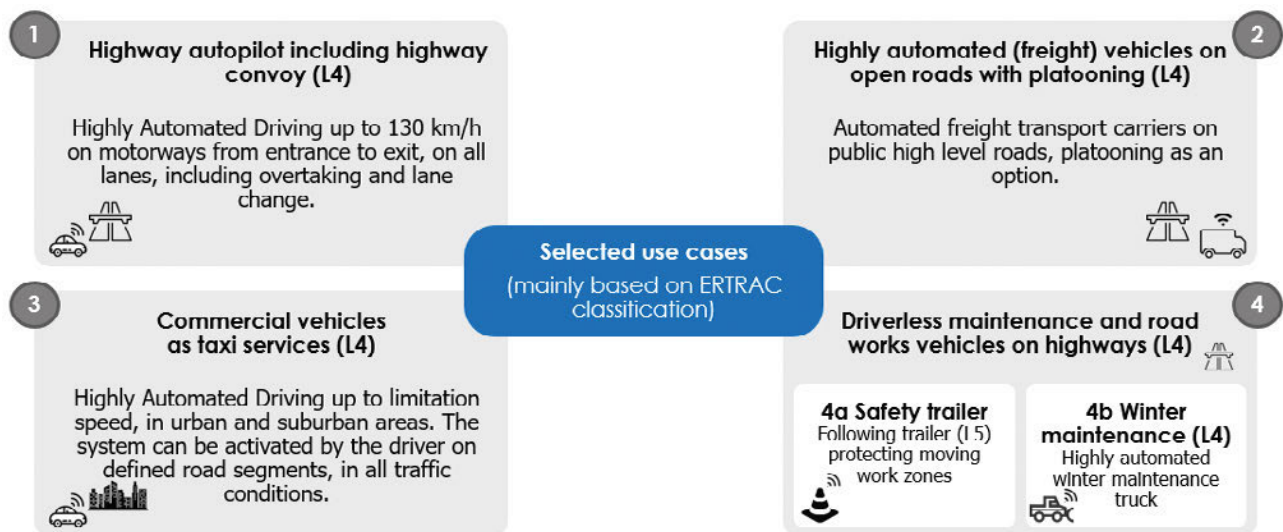


Fig. 2: Selected use cases including level according to SAE J3016



Fig. 3: Assessment of the infrastructure impact from three different angles (Ulrich et al. 2020)

The infrastructure consequence analysis was thereby tackled from three directions in order to structurally cover the crucial ones, referred to as impact categories, as shown in Fig. 3.

The assessment of these three impact categories included literature analysis, expertise of the consortium as well as structured interviews with selected experts, workshops with CEDR CAD WG and a workshop with experts from road authorities, operators, automotive, civil design and construction companies, telecommunications industry and research/academia stakeholders. The consequences related to infrastructures of the road operators and authorities are described below for the different activity areas of the road operators, focusing on technical rather than legal aspects.

2. Results – Impact on Infrastructure

2.1 Traffic management

The concept of cooperative traffic management needs to be fully developed and implemented building on the work carried out among other e.g. in the TM2.0 (2018), SOCRATES 2.0 (2018), and C-ITS Platform (EC 2017). Traffic management will become an integral part of overall mobility management. In an ecosystem enhanced by significant decarbonisation and privacy priorities together with high degrees of digitalisation, traffic management is anticipated to most probably by 2040 become closely integrated with fleet management, at least with regard to ODD management also with e.g. minimum risk manoeuvres (Ulrich et al. 2020).

Hence, we need to establish real-time two-way connectivity between traffic management and vehicles. This needs to be done directly and/or via OEM or service provider clouds. Furthermore, the connectivity should be used to share safety and traffic management related data. The latter will also include traffic rules and regulations as well as ODD-related data such as for example geofences due to or affecting ODD, or incidents, events or conditions affecting the ODD. Specific

access points to digital traffic rules and regulations (e.g. a Trusted Digital Regulations Access Point) and ODDs need likely to be set up to facilitate the cooperative traffic management in practice, with high level data security.

The traffic management systems have to be digitized, and the traffic circulation and traffic management plans upgraded to include mobility management and also ODD management aspects. Tools such as geofencing need to be adapted for deployment. Quite likely, the contents of these plans need to be evolving during the whole transition period from fully human-operated to a situation, where close to 100% of the vehicles are highly automated. The digital traffic management systems will provide real-time information to HD maps and the local dynamic maps in the vehicles via the access points or also directly in specific cases such as e.g. road work zones. Traffic management for events and incidents including short- and long-term road works should be enhanced and harmonised to maximise efficiency. (Ulrich et al. 2020)

Standards need to be developed for the exchange of digital traffic rules, traffic management plans, and ODD management related data as well as the related access points, including the data security solutions. Further standards or similar are needed for the harmonised traffic management and marking of road work zones and incident sites. (Ulrich et al. 2020)

2.2 Road maintenance

In road operation, maintenance and traffic management, automation can certainly contribute to increase safety of operational workers as well as road users, improve traffic flow and optimize operational cost but only in combination with connectivity. Thereby, we need integrated connectivity of operational vehicles and road maintenance work zones with a traffic management centre equipped to inform vehicles in real time about such works. The recommendation is quite similar as with traffic management.

Road inspections, minor repairs, winter maintenance, incident management, and other traditional works will also be necessary in the future. Nowadays they are carried out by operational workers who are always at risk due to high-speed traffic right next to them. Supporting them in the most critical operational tasks, like work zone protection on fast lane and winter maintenance with automated driverless vehicles will take away main safety hazards. This requires the further development of the technological readiness of the systems and the related legal framework. The digital infrastructure enabling the positioning of the vehicles and according standardized, connected communication with the traffic management centre are key for the safe implementation.

Road maintenance can also benefit from new condition data sources made possible through additional vehicle sensors and V2I communication. Vehicles providing road condition data to the TMC promise major improvements for predictive maintenance. This should cover cracks, rutting and skid resistance data from vehicle sensors. Overall the digital part of an operations management centre and the traffic management centre will need to merge and have integrated communication standards rather sooner than later. (Ulrich et al. 2020)

2.3 Crisis management

This field is potentially fuelled by anticipated increases in severe weather conditions in Europe, as well as by increased expectations into adequate management and mitigation activities. Higher degrees of dependability on communication infrastructure add to the criticality. Crisis management is closely linked to traffic management. This again is important in both directions: informing road users quickly as well as using digital infrastructure of sensors, cameras and vehicles to make the traffic management centres aware of new incidents as quickly as possible for fast reaction times. The increasing eCall information needs to be provided directly to the responsible traffic management centre to accelerate the crisis management.

2.4 Traffic information services

The role of traffic information is changing. From a policy relying on providing information on traffic conditions and problems to the driver with the final decision-making by the driver we are going for a policy, where the traffic managers make the overall decisions on behalf of the individual drivers and automated vehicles. This is especially true in large cities and busy peri-urban road networks prone to incidents with considerable consequences to travellers and hauliers. The role is also changing due to information's increasing importance to the transport system, because what was only desirable for human drivers, is essential for highly automated vehicles (Sweatman 2019). Highly automated vehicles need to be aware of

everything happening on the route ahead, also beyond their own sensors. Hence, the quality of traffic information needs to improve from the levels of today. Due to the fact that the automated vehicles with their advanced sensors will be part of the solution themselves, the quality of the traffic information will gradually improve with increased fleet penetration of connectivity and high-level automation. The prerequisite for the improvement is that the stakeholders involved – drivers and OEMs governing the data created by their vehicles, service providers and road operators governing the data from their customers and own monitoring stations – are willing to share their data. This could follow from the Data for Road Safety initiative of the European Data Task Force having a 12-month trial of the concept of sharing vehicle originated road safety related data among the stakeholders involving member states, OEMs and service providers (DTF 2019). To ensure the quality of traffic information, stakeholders need to use appropriate quality assurance methods and processes. While this is a standard practice for commercial stakeholders, many road authorities and operators do not have such quality assurance in place.

In the future, the road users (drivers, automated vehicles, vulnerable road users) will receive information increasingly via their onboard devices. These can be devices embedded in the vehicle by the OEMs or aftermarket or nomadic devices attached to the dashboard of the vehicle. Unfortunately, today the OEMs, service providers and app developers use a large variety of pictograms and message content in presenting the information to the user of the device. Often the contents and pictogram differ considerably from that shown by the road operator (Haspel 2019). For the sake of safety, it would be good to harmonise at least the pictograms used by the different stakeholders, but preferably the whole message content (Kamalski and Rytönen 2015). Automated driving systems would also benefit from a harmonised, consistent use of the pictograms (Ulrich et al. 2020).

2.5 Road planning and building

The planning of new roads obviously needs to consider and make provisions for mixed traffic and connected automated vehicles. These new roads however will only be a very minor part of the network used by automated vehicles. Therefore, it is important to define standards for rehabilitation and extensions of existing roads considering the necessary equipment. This way the road networks will be upgraded step by step as part of the continual maintenance program. Infrastructure support levels for automated driving (ISAD) as developed in the project Inframix (Carreras et al. 2018) should be further defined to provide very clear guidelines for necessary digital and physical infrastructure a like. New road planning in the future needs to involve the assessment of the new sections and dependent on their importance and segment a categorization in ISAD levels as well as the operational

Design Domain (ODD) requirements of the highly automated vehicles. The ODD requirements should be built into the design guidelines for new roads planning and for rehabilitations of existing roads. New road construction makes the integration of digital infrastructure, partly included also in ISAD levels, much easier compared to upgrades during rehabilitations of existing roads.

Design guidelines considering all this will need to be developed for planning of new roads as well as for upgrades of existing ones. Some countries already started to develop such guidelines for infrastructure (e.g. U.S. DOT 2018 and Zencic 2019) but also admit that it is an ongoing approach also facing the challenges of limited, concrete exchange with automated vehicle developers in terms of ODDs. One element of new road planning and construction is the application of the BIM (building information modelling) methodology to ensure the parallel development of a so called digital twin of the new road that includes all necessary design, material and operational data for each asset. This will also provide the basis for road operators' information exchange and provisions for HD maps. (Ulrich et al. 2020)

2.6 Road works planning

Planned road works as part of routine maintenance works, rehabilitation or even new roads are not only core business of road operators but also heavily affect traffic flow and road safety requiring close cooperation with traffic management. Starting with a network analysis to avoid conflicting road work zones in close vicinity, the exact location, planned layout, duration and any other relevant technical information needs to be exchanged with the traffic management centres following a standardized process. During the planning of road work zones – in particular in safety critical areas – cooperative connected safety trailers and temporary sensors should be considered to enable continuous live communication with the TMC. Thus, any changes to the road work zone layout, position of or incidents around the road work zone are communicated directly to the TMC and further on to the road users. Road works planning of the future therefore goes beyond picking the optimal time slots and planning the local traffic management layout. The standardized information exchange with defined communication protocols has to be compulsory. Guidelines for necessary sensors in road work zones need to be developed. (Ulrich et al. 2020)

2.7 Physical infrastructure

Road operators are partly able to influence whether or not specific automated driving use cases (such as e.g. truck platooning or highway autopilot) are going to be allowed on their networks and which adaptations are necessary. Physical infrastructure adaptations are very costly, need to be planned far ahead and are also heavily regulated

in each country with technical standards. Amendments therefore need to be well thought through. The elements most affected are either the road guidance systems (signs, markings, etc.) which are crucial for the ODD of the use cases or the more extensive elements related to the road geometry and structural adaptations. If road operators want to enable the potentially positive effects of automated driving in terms of safety, traffic flow and such they are advised to make according provisions so their infrastructure supports the ODD. Most required infrastructure support will be on the digital part, and physical infrastructure amendments should be very carefully selected. It is necessary to try to limit the dependence on physical infrastructure because of the cost (Vreeswijk 2019). The tricky aspect for decisions is the constant evolution of the ODDs- This evolution is driven by customer demand, and enabled by the improvement of vehicle sensors – for instance, sensors being able to deal with different kinds of weather conditions – and vehicle software – for instance, AI being able to deal with safe manoeuvring of the vehicle also in interaction with vulnerable road users in complicated urban environments. The technological development in the areas of sensors and software is currently very fast, and also hard to predict with any certainty. The overarching recommendation to NRAs is however to analyse their networks and prioritize where deployment of CAD use cases is most suitable and sensible.

The likely actions deals with pavement design and maintenance standards review and adaption, pavement enforcement on truck platooning routes, additional emergency bays, wide shoulders and safe harbours, passenger pick-up/drop-off points, amendments to general road design, changes in ramps and junctions, road markings, road signs' machine readability and digital twins, and amendments to road furniture (landmarks, gantries, gates). More details are given by Ulrich et al (2020).

2.8 Enforcement

The whole area of enforcement will be heavily affected by digitization and connectivity in close relation with changes in traffic management, bringing opportunities of improved cross-border and cross-entity cooperation. The enforcement of allowed weights (and dimensions) will become more critical with the potential of automated high capacity goods vehicles and truck platoons increasing loads on pavement and bridges. The integration of weigh-in-motion (WIM) systems in the pavements and bridges with legally accurate measurements will allow for continuous measurements with less necessary infrastructural and personnel resources that are now required in designated weight control parking areas. Dimensions can be checked already now visually through toll cameras but legally those are not accurate enough as are the WIM systems. The V2I information exchange with connected traffic management enables

direct enforcement through the necessity of data provision from vehicles on their speed, weight, environmental category, etc. While desirable for road operators and police, the issue is very sensitive in terms of privacy, data security and also market competitiveness. (Ulrich et al. 2020)

2.9 ITS systems

This means the traditional ITS systems utilised by road authorities and operators, primarily systems deployed on the roads and in traffic management centres. The information and guidance currently provided via variable or static message signs can be replaced with data provided via cooperative ITS or other messages provided to the on-board systems in the vehicles. During the transition period, which can last to 2040 or even beyond, the human-operated, unconnected vehicles are also on the roads, and their drivers have to be considered. This means that at least all regulatory signs need to be maintained, while considerable number of human-operated unconnected vehicles use the roads. (RWS 2018)

The informative and route guidance signs, however, can gradually be abandoned. Likely this can be dealt with by not renewing the signs, when they had reached the end of their life cycle. In addition to variable and static message signs, the road operators have equipped their roads with roadside stations often in connection with monitoring systems (loop, radar and other traffic detectors, road weather sensors, cameras, etc.). The increasing penetration of connected vehicles will improve the possibilities of utilising the data from the connected vehicles and thereby obtaining monitoring data from the whole network instead of the cross-sections equipped with fixed monitoring systems. Despite this, the road operators should still maintain and install fixed monitoring stations. First, the fixed stations are needed for the use of forecasting and nowcasting the conditions on the road network. Second, it is not wise for the road operators to rely solely on other stakeholders to provide the data needed by road operators in their core business. The future needs here are difficult to predict, and to mitigate impacts from this uncertainty, the road stations should not be rigid single-purpose components but should be adapted flexibly to meet the changing needs of the road operators. Hence, the traditional roadside stations at the end of their lifecycle should be replaced by flexible roadside stations that respond to current as well as future needs (RWS 2018).

2.10 Digital infrastructure

As parts of the digital infrastructure have also been discussed above, this part contains high-definition maps, satellite positioning, communication infrastructure, and fleet supervision centres. The consequences for HD maps have been described in detail by the DIRIZON project (Malone, et al. 2019). The road operators are expected

to provide data for the HD maps to road map and service providers directly or via national access points. The profiles, formats, structures and procedures needed to handle data streams are to be specified and tested in agreement with other stakeholders, and especially the HD map providers. The road network data will need to be digitized including any landmarks supporting accurate vehicle positioning. This will be carried out by HD map providers, but also road authorities and road operators may want to have it done for themselves as HD maps of the roads and their (sub-)structures can be regarded as a key asset of the road operators with regard to their core business. By 2040, the feedback loops for maintaining data quality will be established, the digital traffic rules included, the HD maps localization quality reached, most of the physical and digital infrastructure elements digitised and available to HD maps, and HD digital map will achieve the data quality levels required for the decision-making process in an automated vehicle (Malone et al. 2019)

Specific attention needs to be given to including ODD attribute related data in the HD digital maps especially for physical infrastructure attributes, which may not be provided by the road operators throughout the road network due to their high costs. Examples of such are, for instance, wide shoulders, safe harbours and game fences. The availability and location of such attributes is essential for the highly automated vehicles in order to determine the existence of their ODD.

Highly automated vehicles utilise several independent positioning methods such as satellite positioning and inertial positioning, mobile phone network positioning as well as car sensors and HD map positioning (Koskinen et al. 2018). Satellite positioning is the basic positioning solution, and it has been shown to reach the desired 5 cm accuracy when supported by RTK (Real Time Kinetics) land stations. Such or similar stations should be provided especially in challenging environments such as northern latitudes and mountainous areas.

Communication is developing fast and will likely do so during the next decades as well. The basic communication types will most likely still be vehicle to vehicle short range, vehicle to infrastructure short range, and vehicle to infrastructure medium/long range. The last mentioned will likely be provided via cellular networks, but the short range V2I communications will need communication beacons beside or over the road, connected to different servers (road operators, vehicle manufacturers, service providers, fleet managers, etc.) via trunk communications such as fibre optic cabling. Road authorities and operators benefiting from the connectivity can invest in the trunk communication and road side communication station investments in cases, where such investments are not made by other stakeholders due to their customer needs.

Remote operation centres to monitor and supervise fleets of automated vehicles are needed by several use cases of highly automated driving, if not all of them. As the

fleets will mostly belong to other stakeholders, such centres will be the responsibility of these other stakeholders. Some national road authorities and many road operators deal with the operational maintenance and winter maintenance of their road networks. Thereby, those road authorities and operations need to set up their fleet supervision centres.

2.11 Road user charging

In satellite-based systems there exist only virtual toll plazas, if any. Consequently, properly equipped automated vehicles can behave as traditional vehicles in these systems. Modern DSRC-based tolling systems are based on the “multi-lane free-flow” principle. In these systems, properly equipped automated vehicles can also behave as traditional ones. Hence, changes in the physical infrastructure are only required on roads with traditional toll plazas. At the toll plaza area approaches, gates and exits, standardised markings should be used to indicate the routes and lanes to be used by highly automated vehicles. Automatic payment lanes need to be included in the toll plaza setup. Concerning the physical infrastructure, the road charge information needs to be a part of the dynamic layer of the HD map, for instance in the rules and regulations part.

2.12 New core businesses

Connected and highly automated driving has enormous change potential. Significant cornerstones in the road transport system will be blending with a broader IOT and AI ecosystems. This also means potentially new core businesses for road operators. In general, new core businesses will not so much relate to infrastructure provision but rather shift the focus to an even more service provider oriented business model for road operators. Some candidates for such services are listed below:

- Elements in a broader mobility-as-a-service ecosystem, where travel time is used for productive or recreational purposes by the travellers
- Integrating (and potentially mitigating) a potentially increasing number of services and non-traditional vehicle concepts and services
- Mitigating issues of a highly fragmented communication network reality in Europe (e.g. mitigate end of network / end of high quality communication infrastructure impacts, including expectation management)
- Validating quality of service in communication infrastructure and map infrastructure
- Facilitating, in a freight automation context, entirely new forms of vehicles in terms of length and behaviour – also taken up proactively to mitigate risks of alternative service providers
- More dynamic parking management

3. Conclusions

This paper compiles recommendations for NRAs on the expected impact of highly automated driving and the respective necessary changes to physical and digital infrastructure that can support cooperative, connected and automated road traffic. The work was carried out as part of the CEDR project MANTRA and detailed in a separate deliverable (Ulrich et al. 2020). Introducing connected and automated mobility on public roads is expected to effectively address several traffic safety, efficiency and environmental problems. While the expected impacts to infrastructure are manifold those resulting from the need to provide the required Operational Design Domain (ODD) for highly automated vehicles were identified as most pressing. The identified impacts obviously only reflect the recommended actions in order to enlarge the automated vehicle’s ODD coverage as far as economically feasible. There are some inherent difficulties in supporting the ODDs as they depend on the capabilities of the sensors and software including AI of the automated vehicles, and these capabilities are improving quite quickly with the evolution of related technologies. The results reflect the knowledge of the likely function and ODDs of highly automated vehicles at the time of writing at the end of 2019. It is likely that technology, market and policy developments will change the importance, benefits and costs of the individual changes in the physical and digital road infrastructure considerably until 2040.

References

- [1] Aigner, W., Kulmala, R., Ulrich, S. (2019): *Vehicle fleet penetrations and ODD coverage of NRA-relevant automation functions up to 2040*. MANTRA: Making full use of Automation for National Transport and Road Authorities – NRA Core Business, Deliverable 2.1
- [2] Carreras, A., Daura, X., Erhart, J., Ruehrup, S. (2018): *Road infrastructure support levels for automated driving*. 25th ITS World Congress, Copenhagen, Denmark, 2018.
- [3] DTF (2019): *Data for Road Safety*. European Data Task Force. <https://www.dataforroadsafety.eu/>.
- [4] EC (2017): *C-ITS Platform Final report Phase II. Cooperative Intelligent Transport Systems Towards Cooperative, Connected and Automated Mobility*.
- [5] Haspel, U. (2019): *C2SBA und C2NBA. Aktueller Stand und Planungen*. Bayerische Staatsbauverwaltung, Zentralstelle Verkehrsmanagement.
- [6] Kamalski, T., Rytönen, M. (2015): *iMobility Forum SafeAPP WG*. Presentation at the iMobility Forum Steering Group Meeting. ERTICO, 19/11/2015.
- [7] Koskinen, J., Kuusniemi, H., Hyyppä, J., Thombre, S., Kirkko-Jaakkola, M. (2018): *Positioning, location data and GNSS as solution for autonomous*

- driving*. Presentation made at I Aurora Summit, Olos 16-17 January 2018.
- [8] Kulmala, R., Jääskeläinen, J., Pakarinen, S. (2019): *The Impact of Automated Transport on the Role, Operations and Costs of Road Operators and Authorities in Finland*. EU-EIP Activity 4.2 Facilitating automated driving. Traficom Report 6/2019.
- [9] Malone, K., Schreuder, M., Berkers, F., Helfert, K., Radics, L., Boehm, M. (2019): *Digitalisation and Automation. Implications for use cases, Identification of Stakeholders and Data Needs and Requirements*. DIRIZON Deliverable Nr 3.1. Draft 0.7, October 2019.
- [10] RWS (2018): *Traffic Management Roadmap 2022. Improving the nextwork services. Renewal based on Smart Mobility*. Rijkswaterstaat, Ministry of Infrastructure and Water Management, October 2018.
- [11] SOCRATES 2.0 (2018): *Proposed cooperation framework & bottlenecks*. Activity 2 deliverable.
- [12] Sweatman, P. (2019): Presentation at Special Interest Session 01 Highly connected and automated multimodal urban system, 26th ITS World Congress in Singapore, 21-25 October 2019.
- [13] TM2.0 (Ed.) (2018): Platform web site. <http://tm20.org/>
- [14] van der Tuin, M., Farah, H., Correia, G., Wadud, Z., Carsten, O., Ulrich, S., Aigner, W. (2020): *Impacts of automation functions on NRA policy targets*. MANTRA: Making full use of Automation for National Transport and Road Authorities – NRA Core Business, Deliverable D3.2
- [15] Ulrich, S., Kulmala, R., Appel, K., Aigner, W., Penttinen, M., Laitinen, J. (2020): *Consequences of automation functions to infrastructure*. MANTRA: Making full use of Automation for National Transport and Road Authorities – NRA Core Business, Deliverable 4.2.
- [16] U.S. DOT (2018): *Preparing for the Future of Transportation. Automated Vehicles 3.0*.
- [17] Vreeswijk, J. (2019): *Workshop report: Constructs of the Operational Design Domain (ODD) of Automated Vehicles*. ITS World Congress Singapore, 22.10.2019.
- [18] Zencic (2019): *UK Connected and Automated Mobility Roadmap to 2030*.

Modellstadt Herrenberg – NO_x-Reduktion im Stadtgebiet

Dr.-Ing. Torsten Heine-Nims
BERNARD Gruppe ZT GmbH
Stuttgart, Deutschland

Zusammenfassung

Die täglichen Verkehrsbelastungen und Störungen im Verkehrsablauf in der Stadt Herrenberg führen zu problematischen Stickoxid-Grenzwert-Überschreitungen. Herrenberg ist daher von der Bundesregierung als Modellkommune für saubere Luft ausgewählt worden. Hauptziel ist es, die Stickoxid-Emissionen dauerhaft zu reduzieren. Hierzu wurde ein umfangreiches Maßnahmenbündel und ein GreenCityPlan erarbeitet. Hinsichtlich der Wirksamkeit einer dauerhaften NO_x-Reduktion erfolgt zunächst eine verkehrstechnische Untersuchung und aufbauend auf den Untersuchungsergebnissen die verkehrstechnische Gesamtkonzeption. Schwerpunkt ist ein integrierter Steuerungsansatz mit intelligenter, geschwindigkeitsabhängiger Lichtsignalsteuerung. Zudem ist angedacht Umweltdaten in Form prognostizierter Luftschadstoffbelastungen in die zentralseitigen Strategien zur Verkehrssteuerung einzubeziehen und lokal in den Lichtsignalsteuerungen umzusetzen. Stickoxid-Grenzwert-Überschreitungen sollen somit zukünftig vermieden werden.

1. Aufgabenstellung und Zielsetzung

In Herrenberg resultieren aus dem vergleichsweise hohen täglichen Verkehrsaufkommen regelmäßige Überschreitungen der Stickoxid-Grenzwerte, welche an der Messstelle im Zuge der Hindenburgstraße erfasst werden. Diese Problematik verstärkt sich bei auftretenden Störungen im Verkehrsablauf.

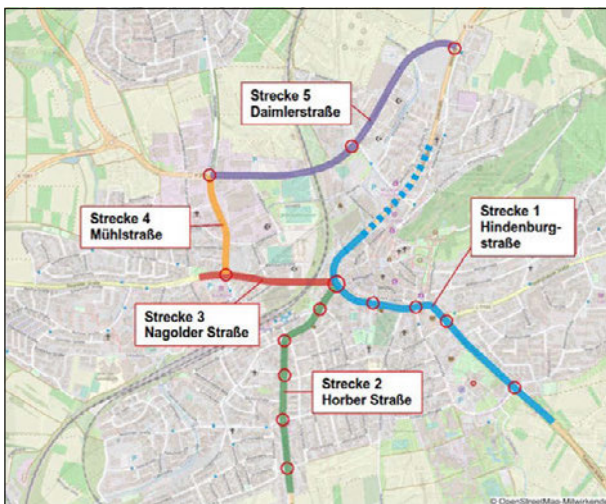


Bild 1: Vorrugsstraßennetz und den darin gelegenen signalisierten Knotenpunkten

Vor diesem Hintergrund ist die Stadt Herrenberg von der Bundesregierung als Modellkommune für saubere Luft ausgewählt worden. Zur Verbesserung der Luftqualität wurde ein umfangreiches Maßnahmenbündel (Modell-

stadt-Projektskizzen) ausgearbeitet, welches speziell auf das Vorrugsstraßennetz und die darin gelegenen signalisierten Knotenpunkten (siehe Bild 1) fokussiert.

Durch intelligente Verkehrssteuerung, d.h. Kombination eines innovativen geschwindigkeitsabhängigen Steuerungsansatzes mit herkömmlichen Steuerungselementen, wie Verkehrsabhängigkeit, Koordinierung oder auch Dosierung/Pförtnerung sollen Stickoxid-Grenzwert-Überschreitungen dauerhaft vermieden werden.

2. Methodisches Vorgehen und Grundlagen

In einem ersten Bearbeitungsschritt erfolgt im Rahmen einer verkehrstechnischen Untersuchung für das Vorrugsstraßennetz die Erstellung geschwindigkeitsabhängiger Lichtsignalsteuerungen mit Tempobeschränkungen zwischen 20 und 40 km/h. Aufgrund des gesamthaften, zukunftsorientierten und integrierten Lösungsansatzes wurden parallel entwickelte, detaillierte Planungen für den Radverkehr mitberücksichtigt. Die vorgesehenen Planungen zu den Tempobeschränkungen, der Radverkehrsführung sowie der Lichtsignalsteuerungen werden hinsichtlich ihrer steuerungstechnischen und verkehrlichen Wirksamkeit sowie im Zusammenhang mit der Reduzierung der Stickoxid-Emissionen untersucht und vergleichend bewertet.

Der Vorteil der dynamischen Geschwindigkeitsregelung besteht darin, dass in Abhängigkeit des abzuwickelnden Verkehrsaufkommens die optimale Fahrgeschwindigkeit angezeigt werden kann, bei der der Streckenabschnitt mit der geringsten Anzahl von Halten und einhergehend da-

mit mit einem entsprechend verringerter Stickoxid-Ausstoß durchfahren wird.

Um die gegebenen Wechselwirkungen zwischen den Verkehrsteilnehmern und den Verkehrsanlagen sowie insbesondere die Reduzierung der Stickoxid-Emissionen geeignet abbilden und bewerten zu können, erfolgt die Verkehrsuntersuchung anhand einer mikroskopischen Verkehrsflusssimulation. Hierbei werden die vorgesehenen geometrischen Anpassungen im Zusammenhang mit der Radverkehrsführung an den Knotenpunkten sowie die einzelnen Verkehrsarten detailliert im Modell abgebildet und können differenziert und vergleichend (Bestandssituation und Maßnahmenbündel) bewertet werden. Die Bewertung der Verkehrsabläufe erfolgt auf der Grundlage der mittels des Simulationsmodells gemessenen verkehrstechnischen Kenngrößen, wie Wartezeiten und den daraus abgeleiteten Qualitätsstufen nach HBS 2015 [1] sowie maximale Rückstaulängen und mittlere Anzahl der Halte. Darüber hinaus werden die NOx-Emissionen mittels der Verkehrsflusssimulation gemessen und kann vergleichend zur Bestandssituation bewertet werden. Grundlage der mikroskopischen Verkehrsflusssimulation bildet eine realitätsnahe Abbildung der zukünftigen Gegebenheiten vor Ort, einschließlich der Radverkehrsführungen und Tempobeschränkungen. Das berücksichtigte Verkehrsaufkommen basiert auf aktuellen Verkehrsmengen aus dem Verkehrsmodell der Stadt Herrenberg mit dem Prognosehorizont 2030, so dass die vorgesehenen stadtspezifischen Entwicklungen berücksichtigt sind. Die Abbildung und Bewertung der Verkehrsabläufe sowie der Emission an Stickoxiden erfolgt für die maßgebende Spitzenstunde des Kfz-Verkehrs am Abend - 16:30 - 17:30 Uhr (siehe Bild 2).

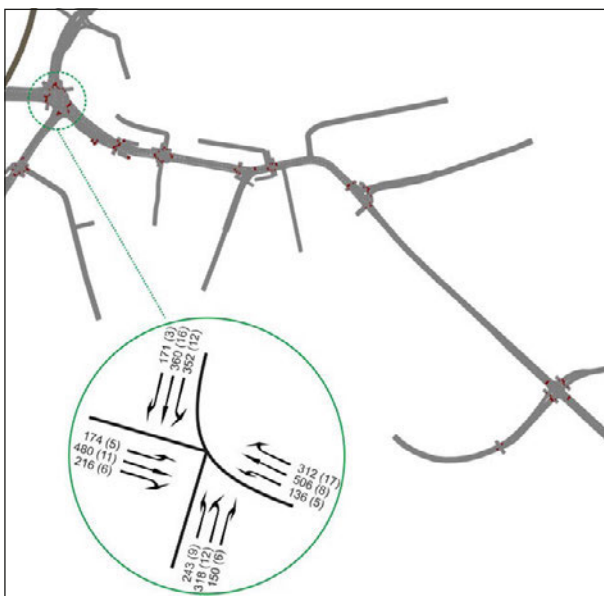


Bild 2: Dimensionierungsverkehrsmengen Kfz-Verkehr – abends (Beispiel Hindenburgstraße – Reinhold-Schick-Platz)

Für den Streckenabschnitt Hindenburgstraße ergeben sich die in den Bildern 3 und 4 dargestellten Koordinierungen für die Tempobeschränkung 40 km/h und 20 km/h. Anhand der Grafiken ist erkennbar, dass bei einer Koordinierungsgeschwindigkeit von 40 km/h eine vergleichsweise gute Koordinierung in beiden Fahrrichtungen erreicht werden kann. Bei einer Koordinierungsgeschwindigkeit von 20 km/h ist diese nicht mehr gegeben, da der erforderliche Abfluss aufgrund der abzuwickelnden Verkehrsmenge nicht mehr gegeben ist.

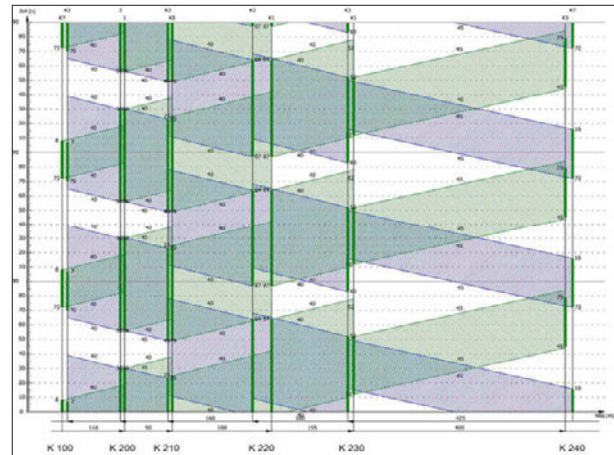


Bild 3: Koordinierung (Weg-Zeit-Diagramm) [2] – Tempobeschränkung 40 km/h (Beispiel Hindenburgstraße)

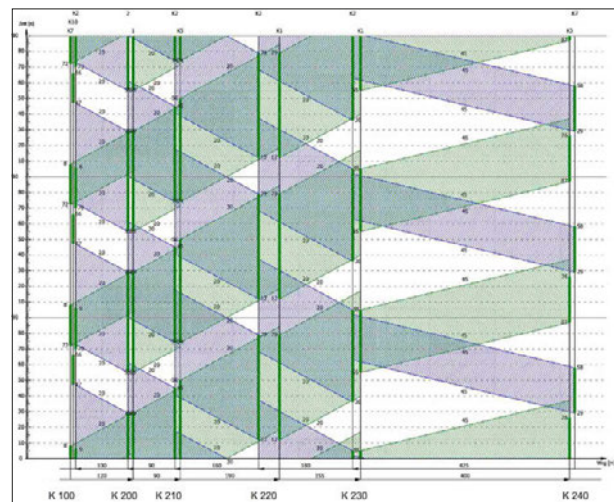


Bild 4: Koordinierung (Weg-Zeit-Diagramm) [2] – Tempobeschränkung 20 km/h (Beispiel Hindenburgstraße)

Ausgehend von den Untersuchungsergebnissen erfolgt die verkehrstechnische Gesamtkonzeption zur NOx-Reduktion für das Stadtgebiet von Herrenberg. Aufgrund ihrer Verkehrsbelastung von bis zu 22.000 Kfz/Tag soll eine erste Referenzstrecke die Hindenburgstraße sein, da hier die zu erwartenden Wirkungen und Verbesserungen als signifikant eingeschätzt und aufgrund der vorhandenen Messstelle in der Praxis nachgewiesen werden kann.

3. Ergebnisse der verkehrstechnischen Untersuchung

Die mittels der mikroskopischen Verkehrsflusssimulation erzielten Ergebnisse zu den mittleren Wartezeiten und Qualitätsstufen sowie maximalen Rückstaulängen verdeutlichen, dass eine gute Verkehrsabwicklung im Bestand (50 km/h) und bei Tempobeschränkungen von 40 km/h und 30 km/h mit mindestens der Qualitätsstufe D auf allen Streckenabschnitten erreicht werden kann.

Die maximalen Rückstaulängen treten zeitlich lediglich temporär auf, werden nach kurzer Zeit wieder abgebaut und führen zu keinen signifikanten Beeinträchtigungen, insbesondere benachbarter Knotenpunkte.

Ein Vergleich der Kenngröße der mittleren Anzahl der Halte (siehe Bild 5) bestätigt die leistungsfähige Verkehrsabwicklung im Bestand und bei einer Tempobeschränkung von 40 km/h bzw. 30 km/h.

Koordinierung Strecken	Richtung	Untersuchungsvarianten			
		Bestand	Tempo 20	Tempo 30	Tempo 40
Strecke 1 - Hindenburgstraße	stadteinwärts	4,3	6,7	3,9	3,0
	stadtauswärts	4,1	5,2	3,8	2,6
Strecke 2 - Horber Straße	stadteinwärts	4,9	10,6	4,4	3,9
	stadtauswärts	1,9	3,7	1,9	1,8
Strecke 3 - Nagolder Straße	stadteinwärts	1,7	9,3	2,4	2,0
	stadtauswärts	1,1	1,7	1,5	1,4
Strecke 4 - Mühlstraße	Süd - Nord	1,1	1,6	1,4	1,3
	Nord - Süd	1,4	4,0	1,6	1,4
Strecke 5 - Daimlerstraße	West - Ost	2,0	2,6	1,8	1,8
	Ost - West	1,3	2,3	1,6	1,3

Bild 5: Mittlere Anzahl der Halte

Koordinierung Strecken	Bestand		Tempo 20		Tempo 30		Tempo 40	
	Nox (g)	Nox (g) / Fz	Nox (g)	Nox (g) / Fz	Nox (g)	Nox (g) / Fz	Nox (g)	Nox (g) / Fz
Strecke 1 - Hindenburgstraße	2415	0,151	2603	0,174	2236	0,141	2249	0,136
Strecke 2 - Horber Straße	956	0,149	1281	0,208	937	0,144	928	0,139
Strecke 3 - Nagolder Straße	649	0,159	1166	0,309	706	0,176	671	0,162
Strecke 4 - Mühlstraße	561	0,173	604	0,192	550	0,174	565	0,174
Strecke 5 - Daimlerstraße	920	0,244	1110	0,291	1010	0,265	927	0,242
Gesamtnetz	5502	0,164	6763	0,212	5439	0,163	5340	0,155

Bild 6: NOx-Emissionen [3]

Bei einer Tempobeschränkung von 20 km/h ergibt sich keine leistungsfähige Verkehrsabwicklung auf den meisten Streckenabschnitten. Wesentlicher Grund ist, dass bei dieser Geschwindigkeit der für das abzuwickelnde Verkehrsaufkommen erforderliche Abfluss nicht mehr gegeben ist.

Hinsichtlich der NOx-Emissionen zeigen die ermittelten Werte (siehe Bild 6), dass gegenüber dem Be-

stand mit der Tempobeschränkung von 40 km/h bzw. 30 km/h die stärkste Reduktion erreicht werden kann. Insbesondere durch die Koordinierungswirkung bei 40 km/h ist tendenziell eine bis zu 10%ige Verringerung der Stickstoffdioxidemissionen der Kfz erreichbar. Bei einer Tempobeschränkung auf 20 km/h liegen die Werte über denen des Bestandes.

4. Fazit und Ausblick

Die im Rahmen der verkehrstechnischen Untersuchung des Vorzugsstraßennetzes der Stadt Herrenberg ermittelten Kenngrößen verdeutlichen, dass bei einer Tempobeschränkung auf 20 km/h die Warte- und Verlustzeiten, die Rückstaulängen sowie die NOx-Emissionen ansteigen und zum Teil schlechtere Werte als im Bestand erreichen. Daher ist diese Tempobeschränkung insbesondere in der Spitzenstunde am Abend nicht umsetzbar. Denkbar wäre, eine Tempobeschränkung auf 20 km/h im Zusammenhang mit besonderen Situationen, bei denen ohnehin nur sehr geringe Geschwindigkeiten erreicht werden, z.B. Umleitungsverkehr von der Autobahn.

Eine Tempobeschränkung auf 30 km/h bzw. 40km/h verfügt über das größte Potential zur Verbesserung im Verkehrsablauf – insbesondere kürzere mittlere Wartezeiten, maximale Rückstaulängen und somit weniger NOx-Emissionen.

Aufbauend auf den Untersuchungsergebnissen erfolgt derzeit die Erarbeitung einer verkehrstechnischen Gesamtkonzeption. Schwerpunkt ist ein integrierter Steuerungsansatz mit geschwindigkeitsabhängiger Lichtsignalsteuerung. Zu einem späteren Zeitpunkt sollen Umweltdaten in Form prognostizierter Luftschadstoffbelastungen in die zentralseitigen Strategien zur Verkehrssteuerung integriert und lokal in den Lichtsignalsteuerungen umgesetzt werden. Eine Fertigstellung und Inbetriebnahme des Systems ist bis Ende 2021 vorgesehen.

Literaturverzeichnis

- [1] HBS 2015, Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen: FGSV – Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2015
- [2] RiLSA 2015, Richtlinien für Lichtsignalanlagen – Lichtzeichenanlagen für den Straßenverkehr: FGSV – Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2015
- [3] Richtlinie zur Ermittlung der Luftqualität an Straßen oder mit lokaler Randbebauung: FGSV – Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2013

Erschließung von Wohn- und Gewerbegebieten

Vom B-Plan bis zur Projektübergabe Interdisziplinäre Bearbeitung

Dipl.-Ing. Jens Klähnhammer

Fischer Teamplan Ingenieurbüro GmbH
Holzdamm 8, 50374 Erftstadt
jens.klaehnhammer@fischer-teamplan.d

Zusammenfassung

Die Erschließung von Wohn- und Gewerbegebieten benötigt allein im Planungsprozess die Expertise von Architekten, Verwaltungen, Entwässerungsplanern, Akustikern, Verkehrsplanern, Umweltplanern, Straßenplanern, Hochbauplanern. Im Realisierungsprozess werden dann Bau-firmen und Versorgungsunternehmen weitere Akteure. Hinzu kommt noch, dass über den Planungs-, Ausschreibungs- und Realisierungsprozess folgende Interessensgruppen aufeinander-treffen: Verwaltungen, Investoren, Ingenieurbüros, private Bauherren, Baufirmen der öffentlichen und privaten Bauherren und ggf. auch die angrenzende Öffentlichkeit. Daraus entsteht eine Projektkomplexität, die nur schwer beherrschbar ist und gelegentlich zur Überforderung einzelner Akteure führen kann. Insbesondere an den vielen fachlichen, organisatorischen und rechtlichen Schnittstellen ist ein professionelles Projektmanagement zur Vermeidung unnötiger Reibungsverluste notwendig.

1. Einführung

Die in der Erschließungsplanung von Wohn- und Gewerbegebieten entstehende Projektkomplexität kann durch ein professionelles Projektmanagement, in dem die richtigen Maßnahmen zur richtigen Zeit durchgeführt werden, beherrschbar gemacht werden. Idealerweise wird die Anzahl der Schnittstellen durch den Einsatz umfassend fachlich gebildeter und vielseitig erfahrener Baumeister stark reduziert. Da dies in der Praxis fast nicht umsetzbar ist, bleibt nur, in allen Gremien und Ebenen eine interdisziplinäre Zusammenarbeit zu kultivieren.

Dies ist überaus sinnvoll, jedoch mit Vor- und Nachteilen verbunden, oft mühsam und erfordert von jedem Einzelnen: Zielbewusstsein, Leistungsbereitschaft und Toleranz. Interdisziplinäre Teams sind heute nicht mehr wegzudenken, da sie in der Lage sind, Problemstellungen zu bearbeiten und zu lösen, an denen einzelne Disziplinen scheitern würden.

Zudem muss der gesamte Planungsprozess so strukturiert werden, dass bereits im Rahmen der Schaffung des Baurechts alle technischen und umweltrechtlichen Belange hinreichend tief bearbeitet wurden, um in der Umsetzung des Bebauungsplanes den technischen Planern keine „Überraschungen“ zu bereiten. Auch dieses iterative Vorgehen erfordert in hohem Maße eine Interdisziplinarität.

2. Bauleitplanung

Bauleitplanung kann als die Anleitung zum Bauen verstanden werden. Zentrale Aufgabe der Bauleitplanung ist es, die bauliche und sonstige Nutzung von Grundstücken vorzubereiten und zu steuern. Diese Aufgabe obliegt dem Grundsatz der kommunalen Selbstverwaltung folgend in erster Linie der zuständigen Gemeinde.

Die Prozesse der Bauleitplanung folgen einem zweistufigem System und sind die wichtigsten Instrumente zur Lenkung und Ordnung der städtebaulichen Entwicklung einer Kommune.

Der vorbereitende Bauleitplan wird formell nach Baugesetzbuch als Flächennutzungsplan bezeichnet und ist als kommunaler Entwicklungsplan zu verstehen. Aus diesem Flächennutzungsplan werden die verbindlichen Bauleitpläne, nämlich die Bebauungspläne (B-Pläne) für Teilbereiche des Gemeindegebietes aufgestellt. Diese B-Pläne setzen die beabsichtigte städtebauliche Entwicklung rechtsverbindlich fest, schaffen damit Baurecht (Grundlage für Baugenehmigungen) und besitzen eine Verbindlichkeit für jedermann. Sie sind parzellenscharf aufgestellt und werden im Regelfall als Angebotsbebauungspläne aufgestellt.

Im Regelverfahren bestehen B-Pläne aus zeichnerischen und textlichen Festsetzungen mit einer Begründung und dem Umweltbericht

Die Begründung befasst sich mit den Zielen und dem Zweck der Planung sowie der städtebaulichen Begründung der Festsetzungen und der Abwägung. Der Umweltbericht beschreibt und bewertet die Ergebnisse der Umweltprüfung.

Wesentliche Inhalte des B-Planes sind:

- Art und Maß der baulichen Nutzung
- Bauweise
- Verkehrsflächen
- Grünflächen
- Wasserflächen
- Versorgungsflächen
- Geh-, Fahr- und Leitungsrechte
- Ausgleichsmaßnahmen
- Maßnahmen zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen
- Gestaltungsmaßnahmen gemäß kommunaler Vorschriften

Darüber hinaus werden Festsetzungen über die bauliche Nutzung der Grundstücke getroffen. Diese beinhalten:

- Vorschriften für die jeweiligen Baugebiete (zulässige und nicht zulässige Nutzungen, Betriebe und Anlagen)
- Bestimmungen und Obergrenzen für das Maß der baulichen Nutzung (GRZ, GFZ, Höhe baulicher Anlagen...)

- Vorschriften zu Bauweise, überbaubare Grundstücksflächen (Baugrenze, Baulinien)

Im Regelfall werden B-Pläne (aber auch Flächennutzungspläne) auf der Grundlage eines Aufstellungsbeschlusses erarbeitet, um dann in die frühzeitige Beteiligung der Öffentlichkeit zu gehen.

Die Erarbeitung des Plankonzeptes für den B-Plan stellt wichtige Weichen für den gesamten weiteren Erschließungsprozess. Sehr häufig wird der B-Plan erarbeitet, abgestimmt und final beschlossen um dann auf dem rechtskräftigen B-Plan aufbauend die nächsten Planungsschritte zu veranlassen.

Diese Vorgehensweise setzt voraus, dass der/die den B-Plan erarbeitende Stadtplaner/Stadtplanerin allumfassend mit den Themen, Verkehr, Schall, Luftschadstoffe, Artenschutz, Hydrogeologie, Altlasten, Landschaftspflege, Erschließung und Tiefbau sowie der Wasserwirtschaft vertraut ist und diese Aspekte umfassend berücksichtigt. Da dies in der Praxis oftmals nicht gegeben ist, sollte bereits in der Phase der Erarbeitung des Plankonzeptes eine umfassende interdisziplinäre Zusammenarbeit angestrebt werden.

Der ideale Planungsprozess vollzieht sich – wie in der folgenden Abbildung dargestellt - idealerweise so, dass alle Fachgutachten parallel zur Erarbeitung des Plankonzeptes erarbeitet werden und die Erschließungsplanung in der Tiefe einer Vorplanung bearbeitet wird.

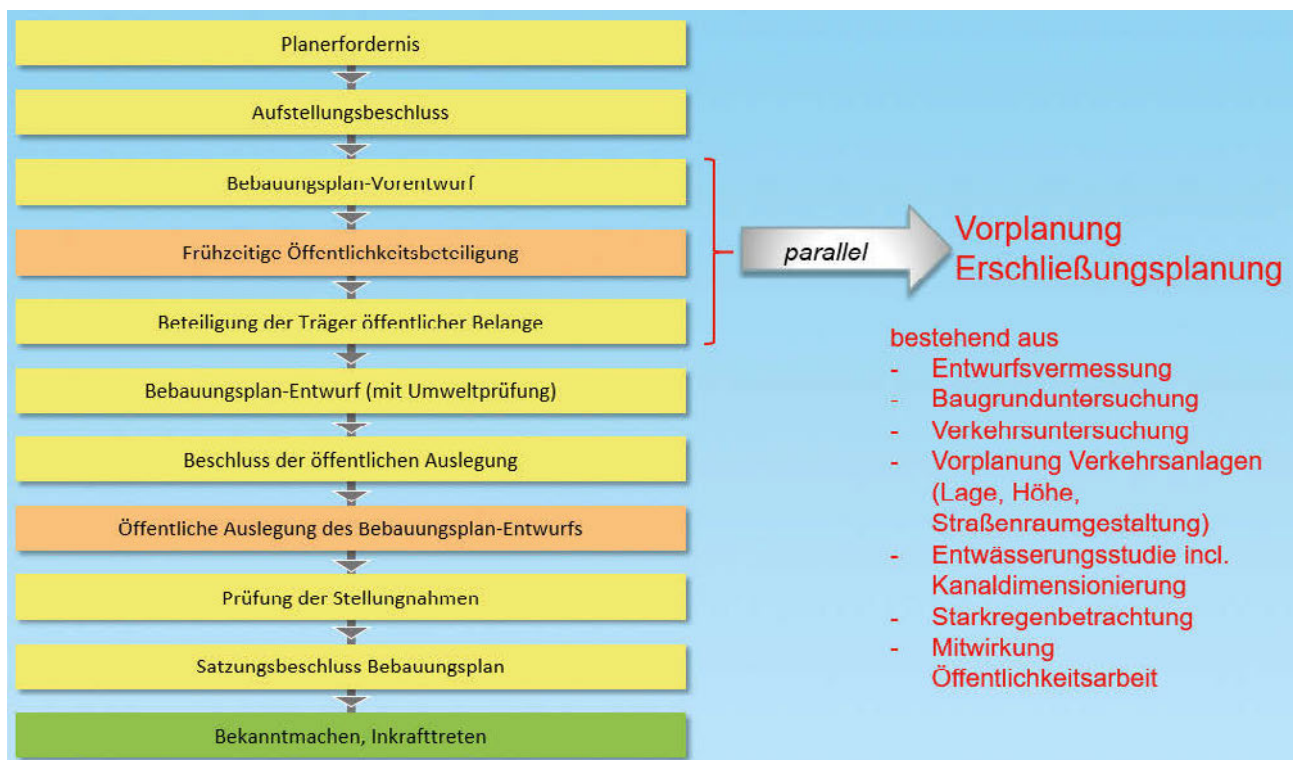


Abb. 1: B-Plan Prozess

Quelle: eigene Darstellung

Im Rahmen der Bauleitplanung sind öffentliche und private Belange gegeneinander und untereinander gerecht abzuwägen. Beispiele für private Belange sind: Privateigentum, Beeinträchtigung durch die Planung (Lärm, Verschattung ...), Heranrücken von Wohnbebauung an gewerbliche/ landwirtschaftliche Betrieb und umgekehrt oder aber auch Erweiterungsabsichten gewerblicher Betriebe u.v.m. Diesen stehen beispielhaft Wohnbedürfnisse der Bevölkerung, Umweltschutzanforderungen oder wirtschaftliche und städtebauliche Entwicklungskonzepte gegenüber. Auch für diese Abwägungen werden abgestimmte Fachplanungen, basierend auf umfassenden gutachterlichen Aussagen und ggf. abgestimmte Lösungen für mögliche Einzelkonflikte benötigt. Auch hierfür ist eine frühzeitige Interdisziplinarität der Prozesse notwendig.

Die dauerhafte Sicherung städtebaulicher Qualitäten kann wie folgt erreicht werden:

1. über Festsetzungen im B-Plan wie
 - Maß der baulichen Nutzung (Gebäudehöhen)
 - Bauweise/ überbaubare Grundstücksfläche (Baulinie, abweichende Bauweisen, Stellung der Gebäude)
 - Flächen für Garagen und Stellplätze
 - Grünordnerische Festsetzungen (Lage, Ausstattung, Bepflanzungen, Dachbegrünungen)
 - Gestalterische Festsetzungen (Fassaden, Dächer, technische Aufbauten, Nebenanlagen, Vorgärten, Werbeanlagen u.v.m.
2. Ergänzend zum B-Plan über städtebauliche Verträge
3. Sicherung und Kontrolle der Qualität im öffentlichen Raum durch die Kommune
4. nach Rechtskraft des B-Planes
 - bei Grundstücksverkäufen
 - im Baugenehmigungsverfahren
 - Kontrolle in der Bauphase und später

3. Umwelt

Auf der Grundlage des Gesetzes über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) ist im Rahmen der Bauleitplanung die Strategische Umweltprüfung durchzuführen. Für folgende Schutzgüter werden die unmittelbaren und mittelbaren Auswirkungen eines Vorhabens ermittelt, beschrieben und bewertet: Menschen, insbesondere die menschliche Gesundheit, Tiere, Pflanzen und biologische Vielfalt, Klima und Luft, Landschaft, Boden und Fläche, Wasser, kulturelles Erbe und sonstige Sachgüter sowie deren Wechselbeziehungen zueinander.

Im Ergebnis wird ein Umweltbericht angefertigt. Dieser besteht aus:

1. Einleitung
 - Inhalt und wichtige Ziele des Bauleitplans
 - Ziele des Umweltschutzes
2. Beschreibung und Bewertung der erheblichen Umweltauswirkungen
 - Bestandsaufnahme des Umweltzustandes einschl. Nullvariante
 - Prognose des Umweltzustands bei Durchführung der Planung
 - Maßnahmen zur Vermeidung, Minderung und zum Ausgleich
 - Anderweitige Planungsmöglichkeiten
 - Umweltauswirkungen im Hinblick auf schwere Unfälle und Katastrophen
3. Zusätzliche Angaben
 - Merkmale der verwendeten technischen Verfahren bei der Umweltprüfung
 - Maßnahmen zur Überwachung
 - Allgemein verständliche Zusammenfassung

Zu beachten sind stets, dass erhebliche Beeinträchtigungen von Natur und Landschaft vom Verursacher vorrangig zu vermeiden oder zu mindern sind. Nicht vermeidbare erhebliche Beeinträchtigungen sind durch Ausgleichs- oder Ersatzmaßnahmen oder, soweit dies nicht möglich ist, durch einen Ersatz in Geld zu kompensieren.

Eingriffe in Natur und Landschaft im Sinne des Bundesnaturschutzgesetzes sind Veränderungen der Gestalt oder Nutzung von Grundflächen oder Veränderungen des mit der belebten Bodenschicht in Verbindung stehenden Grundwasserspiegels, die die Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushalts oder das Landschaftsbild erheblich beeinträchtigen können. Die land-, forst- und fischereiwirtschaftliche Bodennutzung ist nicht als Eingriff anzusehen, soweit dabei die Ziele des Naturschutzes und der Landschaftspflege berücksichtigt werden. Nicht als Eingriff gilt die Wiederaufnahme einer land-, forst- und fischereiwirtschaftlichen Bodennutzung, wenn sie zeitweise eingeschränkt oder unterbrochen war.

Die Eingriffsregelungen beziehen sich nur auf Vorhaben im Außenbereich sowie für B-Pläne, die eine Planfeststellung ersetzen. Die planerische Bewältigung der Eingriffsregelung erfolgt in der Regel in einem Landschaftspflegerischen Begleitplan (LBP) bzw. Landschaftspflegerischen Fachbeitrag (LFB).

Er umfasst folgende Arbeitsschritte:

1. Klären der Aufgabenstellung und Ermitteln des Leistungsumfangs
2. Ermitteln und Bewerten der Planungsgrundlagen
3. Vorläufige Fassung
4. Abgestimmte Fassung

Ein weiterer wichtiger Teil der Umweltuntersuchungen im Rahmen des B-Plan-Verfahrens umfasst die Artenschutzprüfung. Diese Prüfung basiert auf der

- Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH-RL) und der
- Vogelschutz-Richtlinie (V-RL)

gehören zu den wichtigsten Beiträgen der Europäischen Union (EU) zum Erhalt der biologischen Vielfalt in Europa. Die Zielsetzung der Richtlinien ist es, für die FFH-Arten und europäischen Vogelarten einen günstigen Erhaltungszustand zu bewahren bzw. die Bestände der Arten langfristig zu sichern.

Mit den Regelungen des Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) werden die artenschutzrechtlichen Vorgaben der EU auf deutsches Recht adaptiert.

Die folgenden Grundsätze sind planungsrechtlich bedeutsam:

§39 BNatSchG – Allgemeiner Schutz wild lebender Tiere und Pflanzen (Auszüge)

(1) Es ist verboten

- wild lebende Tiere mutwillig zu beunruhigen oder ohne vernünftigen Grund zu fangen, zu verletzen oder zu töten,
- wild lebende Pflanzen ohne vernünftigen Grund von ihrem Standort zu entnehmen oder zu nutzen oder ihre Bestände niederzuschlagen oder auf sonstige Weise zu verwüsten,
- Lebensstätten wild lebender Tiere und Pflanzen ohne vernünftigen Grund zu beeinträchtigen oder zu zerstören.

(2) Es ist verboten

(...)

- Bäume, die außerhalb des Waldes, von Kurzumtriebsplantagen oder gärtnerisch genutzten Grundflächen stehen, Hecken, lebende Zäune, Gebüsche und andere Gehölze in der Zeit vom 1. März bis zum 30. September abzuschneiden, auf den Stock zu setzen oder zu beseitigen; zulässig sind schonende Form- und Pflegeschnitte zur Beseitigung des Zuwachses der Pflanzen oder zur Gesunderhaltung von Bäumen,

(...)

§44 (1) BNatSchG – Vorschriften für besonders geschützte und bestimmte andere Tier- und Pflanzenarten

Es ist verboten

- wild lebenden Tieren der besonders geschützten Arten nachzustellen, sie zu fangen, zu verletzen oder zu töten oder ihre Entwicklungsformen aus der Natur zu entnehmen, zu beschädigen oder zu zerstören,
- wild lebende Tiere der streng geschützten Arten und der europäischen Vogelarten während der Fortpflanzungs-, Aufzucht-, Mauser-, Überwintungs- und Wanderungszeiten erheblich zu stören; eine erhebliche Störung liegt vor, wenn sich durch die Störung der Erhaltungszustand der lokalen Population einer Art verschlechtert,
- Fortpflanzungs- oder Ruhestätten der wild lebenden Tiere der besonders geschützten Arten aus der Natur zu entnehmen, zu beschädigen oder zu zerstören,
- wild lebende Pflanzen der besonders geschützten Arten oder ihre Entwicklungsformen aus der Natur zu entnehmen, sie oder ihre Standorte zu beschädigen oder zu zerstören

Jedoch sind im § 44(5) BNatSchG für die Bauleitplanung besondere Regelungen enthalten, die im Einzelfall entsprechend zu bewerten sind:

- das Tötungs- und Verletzungsverbot nach Absatz 1 Nummer 1 [liegt] nicht vor, wenn die Beeinträchtigung durch den Eingriff oder das Vorhaben das Tötungs- und Verletzungsrisiko für Exemplare der betroffenen Arten nicht signifikant erhöht und diese Beeinträchtigung [...] nicht vermieden werden kann...
- das Verbot des Nachstellens und Fangens wild lebender Tiere und der Entnahme, Beschädigung oder Zerstörung ihrer Entwicklungsformen nach Absatz 1 Nummer 1 [liegt] nicht vor, wenn die Tiere oder ihre Entwicklungsformen im Rahmen einer erforderlichen Maßnahme, die auf den Schutz der Tiere [...] gerichtet ist, beeinträchtigt werden und diese Beeinträchtigungen unvermeidbar sind...
- das Verbot nach Absatz 1 Nummer 3 [liegt] nicht vor, wenn die ökologische Funktion der von dem Eingriff oder Vorhaben betroffenen Fortpflanzungs- und Ruhestätten im räumlichen Zusammenhang weiterhin erfüllt wird.

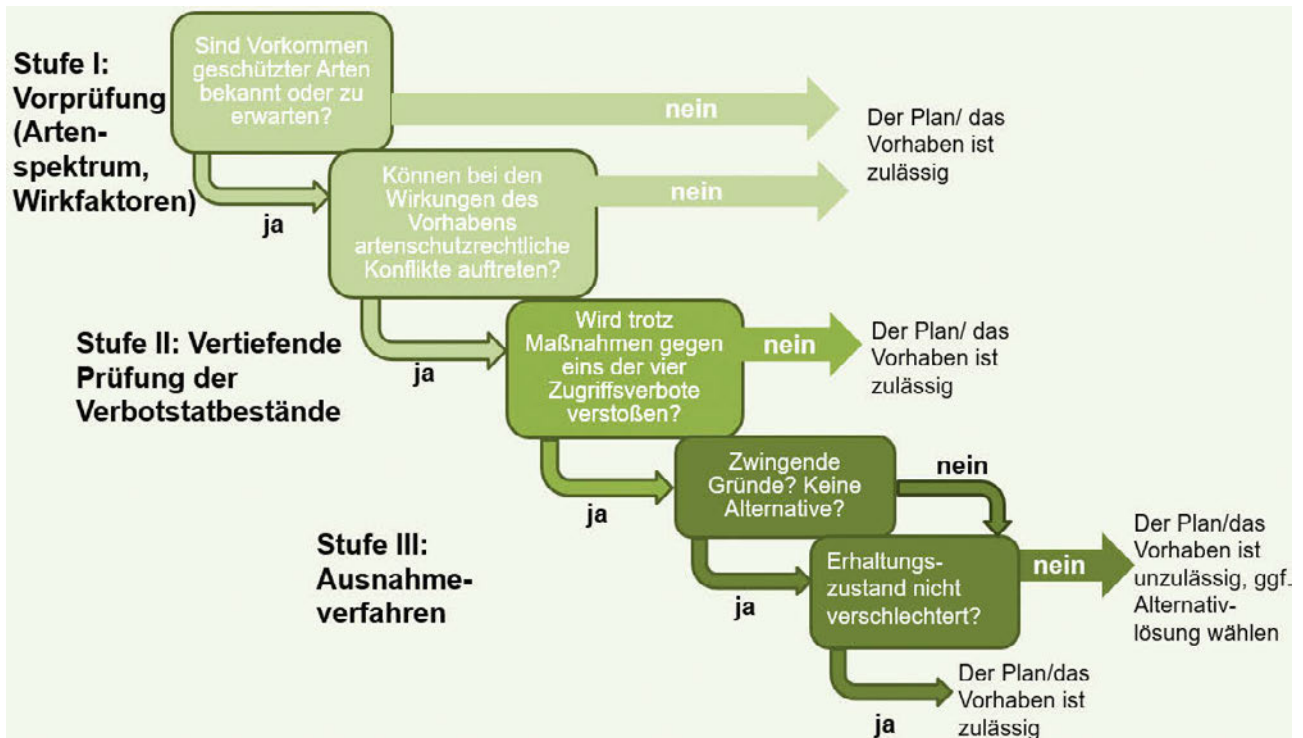


Abb. 2: Ablauf Artenschutzprüfung

Quelle: Büro Smeets

Aus den Bestimmungen gemäß § 44 (5) folgt, dass Artenschutzbelange u. a. bei allen Bauleitplanverfahren und baurechtlichen Genehmigungsverfahren aber ebenso bei Zulassungsverfahren, Abrissgenehmigungen o.ä. beachtet werden müssen. Die Notwendigkeit zur Durchführung einer Artenschutzprüfung (ASP) im Rahmen von Planungsverfahren oder bei der Zulassung von Vorhaben ergibt sich aus den unmittelbar geltenden Regelungen des § 44 Abs. 1 BNatSchG i. V.m. §§ 44 Abs. 5 und 6 und 45 Abs. 7 BNatSchG.

Artenschutzprüfungen sind eigenständige Maßnahmen, die nicht durch andere Prüfverfahren ersetzt werden können. Der Ablauf einer Artenschutzprüfung ist der folgenden Abbildung zu entnehmen:

In schwierigen Situationen sind Vermeidungsmaßnahmen incl. Ausgleichsmaßnahmen das Mittel, um doch noch eine Planrechtfertigung zu erreichen. Sie müssen artspezifisch ausgestaltet sein, auf geeigneten Standorten durchgeführt werden und dienen der ununterbrochenen Sicherung der ökologischen Funktion von betroffenen Fortpflanzungs- und Ruhestätten für die Dauer der Vorhabenswirkungen. Vermeidungsmaßnahmen incl. Ausgleichsmaßnahmen sind dann wirksam, wenn die neu geschaffene Lebensstätte mit allen notwendigen Habitatementen und -strukturen aufgrund der Durchführung mindestens die gleiche Ausdehnung und eine gleiche oder bessere Qualität hat und die zeitnahe Besiedlung der neu geschaffenen Lebensstätte unter Beachtung der aktuellen fachwissenschaftlichen Erkenntnisse mit einer hohen Prognosesicherheit durch Referenzbeispiele oder fachgutachterliches Votum attestiert werden kann oder wenn die betreffende Art die Lebensstätte nachweislich angenommen hat.

4. Fachgutachten

4.1 Entwässerung

Die Frage der entwässerungstechnischen Erschließung eines Grundstücks ist von zentraler Bedeutung in der Erschließungsplanung. Da wichtige Rahmenbedingungen für die Entwässerungslösung per Festsetzung in den B-Plan aufgenommen werden können, sollten bereits parallel zum Aufstellen eines Planungskonzepts für den B-Plan alle Möglichkeiten der Grundstücksentwässerung mittels einer Entwässerungsstudie untersucht werden.

Rechtliche Grundlagen werden mit dem Wasserhaushaltsgesetz des Bundes und den Wassergesetzen der Länder gelegt. Grundsätzlich gilt: Niederschlagswasser soll ortsnah versickert, verrieselt oder direkt oder über eine Kanalisation ohne Vermischung mit Schmutzwasser in ein Gewässer eingeleitet werden, soweit dem weder wasserrechtliche noch sonstige öffentlich-rechtliche Vorschriften noch wasserwirtschaftliche Belange entgegenstehen.

Gemeinden haben die Möglichkeit, durch Satzung festzusetzen, dass und in welcher Weise das Niederschlagswasser zu versickern, zu verrieseln oder in ein Gewässer einzuleiten ist. Zudem können derartige Regelungen als Festsetzung in den B-Plan aufgenommen werden.

Wasserwirtschaftliches Ziel ist es, keine Verschiebungen im lokalen Wasserhaushalt zuzulassen. Während bei unbebauten Flächen ein geringer Oberflächenabfluss und eine große Grundwasserneubildung bzw. Pflanzen- und Bodenverdunstung zu verzeichnen ist, kehren sich die

Bedingungen nach der Bebauung um: Es ist eine geringe Grundwasserneubildung bzw. Pflanzen- und Bodenverdunstung und stattdessen ein großer und rascher Oberflächenabfluss zu verzeichnen. Hier gilt es gegenzusteuern und Versickerungs- und Retentionsmöglichkeiten auf dem Grundstück in die Planung einzubeziehen.

Wesentliche Aufgaben der Bauleitplanung bestehen in folgenden Punkten: Die Bauleitpläne sollen eine nachhaltige städtebauliche Entwicklung, mit umweltschützenden Anforderungen auch in Verantwortung gegenüber künftigen Generationen miteinander in Einklang bringen, und sie sollen dazu beitragen, eine menschenwürdige Umwelt zu sichern, die natürlichen Lebensgrundlagen zu schützen und zu entwickeln sowie den Klimaschutz und die Klimaanpassung, insbesondere auch in der Stadtentwicklung, zu fördern.

Gemäß Baugesetzbuch ist es möglich, Klimaanpassungsmaßnahmen in den Bebauungsplänen rechtsverbindlich zu regeln. Festgesetzt werden können insbesondere die Gebiete, in denen bei der Errichtung baulicher Anlagen Maßnahmen zur Schadensminderung getroffen werden müssen, sobald bauliche Anlagen errichtet werden, und in denen Flächen auf einem Baugrundstück freigehalten werden müssen, damit das Niederschlagswasser natürlich versickern kann. Zudem können die Flächen für die Abfall- und Abwasserbeseitigung, einschließlich der Rückhaltung und Versickerung von Niederschlagswasser, sowie für Ablagerungen definiert werden. Ebenso können und sollten die Flächen, die auf einem Baugrundstück für die natürliche Versickerung von Wasser aus Niederschlägen freigehalten werden müssen, um insbesondere Hochwasserschäden, einschließlich Schäden durch Starkregen, vorzubeugen, festgesetzt werden. All diese Betrachtungen sind in einer sehr frühen Projektphase durchzuführen.

Zusätzlich sind folgende Aspekte zu betrachten: Gewässer sind nach § 39 WHG, unter anderem zur Sicherung des Wasserabflusses, ordnungsgemäß zu unterhalten. In Bauleitplänen sollten daher an Gewässern ausreichend große Uferstreifen vorgesehen werden, die eine Zugänglichkeit sicherstellen.

Nach dem Hochwasserschutzgesetz II ist insofern auch die neue wasserrechtliche Gebietskategorie „Hochwasserentstehungsgebiete“ zu berücksichtigen: Dies sind Gebiete, in denen bei Starkniederschlägen oder bei Schneeschmelze in kurzer Zeit starke oberirdische Abflüsse entstehen können, die zu einer Hochwassergefahr und damit zu einer erheblichen Gefahr für die öffentliche Sicherheit und Ordnung führen können (§ 78d Abs. 1 WHG); sie sind von den Ländern durch Rechtsverordnung festzusetzen (§ 78d Abs. 2 S. 3 WHG). Gemäß § 78d Abs. 6 WHG sind in festgesetzten Hochwasserentstehungsgebieten bei der Ausweisung neuer Baugebiete im Außenbereich in der Abwägung nach § 1 Abs. 7 BauGB insbesondere zu berücksichtigen:

- **Flächen für** die Abfall- und Abwasserbeseitigung, einschließlich der Rückhaltung und **Versickerung von Niederschlagswasser**, sowie für Ablagerungen
- Flächen, die auf einem Baugrundstück für die natürliche Versickerung von Wasser aus Niederschlägen freigehalten werden müssen, um insbesondere Hochwasserschäden, einschließlich Schäden durch **Starkregen**, vorzubeugen

In der Erschließungsplanung sollten zudem die Auswirkungen von Starkregenereignissen stärker in den Fokus aller Planungsbeteiligten gerückt werden. Starkregenereignisse sind kleinräumig, intensiv und derzeit für Schutzmaßnahmen zu spät mit der erforderlichen Genauigkeit vorhersagbar. Für Starkregenereignisse sind 3 Szenarien voneinander zu unterscheiden:

- Szenario 1: ein seltenes Ereignis, das häufiger als 100-jährliches Ereignis auftritt, aber die Bemessung des Kanalnetzes noch deutlich überschreitet.
- Szenario 2: ein außergewöhnliches Ereignis, welches regional differenziert durch ein statistisches Niederschlagsereignis (Dauer 1 Stunde) mit einer Jährlichkeit von 100 Jahren generiert wird und zu einem außergewöhnlichen Oberflächenabflussereignis führt.
- Szenario 3: ein extremes Ereignis, welches durch ein extremes Niederschlagsereignis (90 mm in 1 Stunde) generiert wird und zu einem extremen Oberflächenabflussereignis führt

Insbesondere im Rahmen der verbindlichen Bauleitplanung ist es dabei notwendig, frühzeitig die fachlichen Fragen in enger Abstimmung zwischen Gemeinde, Wasserbehörden und Staatlichen Umweltämtern abzuklären. Ein weiteres wichtiges Thema ist die Differenzierung des abfließenden Oberflächenwassers nach

- Unbelastetem (besser: gering belastetes) Niederschlagswasser (Kategorie I) bedarf *grundsätzlich keiner Vorbehandlung*.
- Schwach belastetem (besser: mäßig verschmutztes) Niederschlagswasser (Kategorie II) bedarf *grundsätzlich einer Behandlung*.
- Stark belastetem Niederschlagswasser (Kategorie III) muss grundsätzlich gesammelt, abgeleitet und einer biologischen Abwasserbehandlung bzw. der zentralen Kläranlage zugeführt werden.

Hier sollten die im Rahmen der begleitenden Verkehrsuntersuchung ermittelten zusätzlichen Verkehrsbewegungen für eine Einschätzung herangezogen werden. Maßgeblich für Dimensionierung der Entwässerungsanlagen sind folgende Regelwerke: Zunächst legt die DIN EN 752 „Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden“ den Rahmen. Ergänzt werden diese Bestimmungen durch zahlreiche Merkblätter, die von der Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall

e.V. (DWA) zu verschiedenen Themen herausgegeben werden.

Auf Grund der großen Bedeutung der Entwässerungsthemen sollten diese Überlegungen frühzeitig (Beginn des B-Plan Prozesses) eingebracht werden. Dabei ist auch bereits eine Interaktion mit dem Verkehrsanlagenplaner herzustellen (Fließwege, Höhenlage der künftigen Straßen etc.)

Die zu diesem Zeitpunkt zu erarbeitende Entwässerungsstudie soll folgende Schwerpunkte behandeln:

- Entwässerungsgebiet
 - Einzugsgebiet
 - Gebietsdaten
 - Einwohner
 - Gewässer
 - Schutzgebiete
 - Überschwemmungsgebiete
 - Bodenverhältnisse
 - Topografie
 - Niederschlag
 - Fremdwasseranfall
 - Kategorisierung der Flächen
- Vorhandene Kanalisation
- Geplante Kanalisation
- Hydraulische Nachweise

Da die Entwässerungsplanung im Rahmen der Bauleitplanung eine nachhaltige städtebauliche Entwicklung im Zusammenhang mit umweltschützenden Anforderungen auch in Verantwortung gegenüber künftigen Generationen miteinander in Einklang zu bringen hat, sollte der Anspruch darin bestehen, ressourcensparende und ökologisch wertvolle Lösungen für den Umgang mit Niederschlagswasser zu entwickeln.

Hierzu zählen folgende Bausteine:



Abb. 3: Umgang mit Niederschlagswasser [Quelle: eigene Darstellung]

Wichtige Stichworte in diesem Zusammenhang sind: Dach- und Fassadenbegrünung, Versickerung über Mulden-Rigolensystem oder Tiefbeete, dezentrale Rückhaltungen über Teiche, Becken, Rigolen sowie die dezentrale Behandlung und schließlich auch die Sammlung von Regenwasser in Zisternen für eine spätere Nutzung.

Offene Ableitungen (Mulden, Gräben oder auch im Straßenraum) sind im Hinblick auf die oben genannten Anforderungen der Einleitung in Kanälen vorzuziehen. Gerade in dieser Hinsicht ergeben sich gestalterische Ansätze aus der interdisziplinären Zusammenarbeit zwischen Entwässerungs- und Straßenplanern, Architekten und Landschaftsarchitekten.

4.2 Verkehr/ Lärm

Die Aufgabe der Verkehrsplanung liegt in der optimalen Gestaltung von Verkehrssystemen unter Berücksichtigung von qualitativen und quantitativen Anforderungen an die Wirtschaftlichkeit, Leistungsfähigkeit und Sicherheit von Verkehrsprozessen. Die Planungen basieren auf Kenntnissen über den Verkehrsablauf, über die Verkehrstechnik und über die Verkehrsorganisation.

Grundlage jeder Erschließung ist die Auseinandersetzung mit den Gesetzmäßigkeiten der räumlich zeitlichen Entstehung und Durchführung der Ortsveränderungen von Personen (zu Fuß oder mit einem Verkehrsmittel) und Gütern im gesamten öffentlichen Verkehrsraum des das Planungsgebiet umfassenden Untersuchungsraums. Dabei bedienen sich die Verkehrsplaner eigener Berechnungsverfahren, mit deren Hilfe Aussagen zur Entwicklung, Gestaltung und Bewertung des Verkehrsgeschehens und der Verkehrsinfrastruktur eines Territoriums ermittelt werden. Verkehrsplanerische Berechnungsergebnisse bilden die Grundlage für die darauf aufbauende verkehrs- und betriebstechnische Gestaltung der Verkehrsanlagen.

Verkehrsthemen stehen sehr im Fokus der Öffentlichkeit und werden in der Praxis immer wieder benutzt, um unliebsame Flächenentwicklungen zu verhindern. Häufig werden dabei Verkehrs- und Lärmthemen miteinander verknüpft.

Umso wichtiger sind hier eine frühzeitige und vor allem sehr sorgfältige Auseinandersetzung mit der Analyse des bestehenden Verkehrsgeschehens, der Prognose über künftige Verkehrsentwicklungen und der Ermittlung der davon ausgehenden Auswirkungen auf den Verkehrsablauf und die Lärmentwicklung. Daraufhin sind Maßnahmen zur Gewährleistung einer auch künftig akzeptablen Verkehrsqualität und/oder der Einhaltung der Grenzwerte nach DIN 18005 bzw. 16. BImSchV und der der TA Lärm zu ergreifen.

Diese Maßnahmen können beispielsweise im Umbau eines Knotenpunktes oder im Anbau von Fahrstreifen oder im Bau von Lärmschutzeinrichtungen bestehen. Alle diese Maßnahmen erfordern eine Flächeninanspruchnahme und sind deshalb baurechtlich festzusetzen. Unter anderem auch deshalb ist die frühzeitige Auseinandersetzung mit künftigen Verkehrsabläufen zwingend notwendig.

Im Interesse einer hohen Qualität bei der Gestaltung öffentlicher Räume sollten bereits bei der Erarbeitung der Verkehrsuntersuchungen und daraus abzuleitender Maßnahmen der interdisziplinäre Austausch mit dem Verkehrsanlagenplaner, dem Schallgutachter, dem Architekten und Landschaftsarchitekten sowie des Entwässerungsplaners kultiviert werden. Nur so lassen sich allseits abgestimmte und ausgewogene Lösungen erarbeiten.

5. Planungsablauf

Die Erschließungsplanung von Wohn- und Gewerbegebieten besteht im Regelfall aus folgenden Ingenieurleistungen:

- Vermessung
- Baugrunduntersuchungen
- Objektplanung Ingenieurbauwerke (Entwässerungseinrichtungen)
- Objektplanung Verkehrsanlagen
- u.U. Fachplanung Tragwerksplanung
- Fachplanung Technische Ausrüstung (Beleuchtung, Maschinen- und Elektrotechnik im Zusammenhang mit Entwässerungsbauwerken)
- Koordination der Versorgungsträger

Wie in den vorangegangenen Ausführungen bereits mehrfach betont, wäre es sowohl für den Prozess als auch für die erreichbare städtebauliche Qualität nachteilig, wenn die Phase der Objektplanung erst nach Erlangung der Rechtskraft des B-Planes beginnt.

Idealerweise erfolgt die Erarbeitung des Planungskonzepts für den B-Plan **gemeinsam** mit

- Entwässerungsstudie/ Starkregenbetrachtung
- Verkehrsuntersuchung
- Lärmgutachten
- Objektplanung Verkehrsanlagen bis Lph. 2 incl. Gradientenplanung/ Grundzüge der Straßenraumgestaltung
- Umwelt - und Artenschutzuntersuchung
- Aufstellen des städtebaulichen Konzepts

Vorbereitend werden dafür benötigt:

- Entwurfsvermessung
- Baugrundgutachten

Die Gründe für dieses iterative und interdisziplinäre Vorgehen ergeben sich aus vielfältigen Projekterfahrungen. Es ist z.B. wichtig zu wissen, welche Tiefe und damit letztendlich welche Breite Entwässerungseinrichtungen zur Versickerung bzw. offenen Ableitung von Oberflächenwasser haben werden, damit die Flächen entsprechend im B-Plan Berücksichtigung finden können. Ebenso sind die zu erwartenden Verkehrsverhältnisse und die daraus ableitbare Straßenraumgestaltung entscheidend für die Gesamtbreite des Verkehrsraumes. Straßenraumgestaltungen, bei denen Fahrbahnen von Seitenbereichen mit hohen Borden getrennt werden sollen, erfordern entsprechend Breite Gehwege, damit in Bereichen von Bordabsenkungen die Anforderungen der Barrierefreiheit eingehalten werden können.

Im Übrigen ist immer zu berücksichtigen, dass die Planung von Verkehrsanlagen grundsätzlich eine Angebotsplanung darstellt und die Verkehrsmittelwahl in der Zukunft stark beeinflusst.

Wohn- und Gewerbegebiete werden in der überwiegenden Zahl der Fälle zweistufig ausgebaut. Zuerst werden Entwässerungseinrichtungen und Baustraßen hergestellt. Dann verlegen die Versorgungsunternehmen Kabel und Leitungen. Nachdem der Hochbau abgeschlossen ist bzw. einen hohen Fertigstellungsgrad erreicht hat, werden die Straßen endausgebaut. Dazwischen liegen vielfach mehrere Jahre. Damit das Verkehrsverhalten der neuen Einwohner bzw. Beschäftigten der Gewerbeeinrichtungen sich in der Zwischenzeit nicht nur auf den PKW ausrichtet, sollten von Beginn an Zugangsstellen zum Nahverkehr und/ oder Fahrradinfrastruktureinrichtungen hergestellt werden.

Ebenso sollten der Umgang mit dem ruhenden Verkehr von Beginn an im Blick behalten werden. Durch entsprechende Ortssatzungen und / oder Festsetzungen im B-Plan sollte die Anzahl von Stellplätzen und/ oder auch die Zuweisung an gewisse Nutzergruppen klar geregelt werden. Auf diesem Gebiet besteht im Interesse der Schaffung attraktiver Stadtquartiere ein Handlungsbedarf. Zu beachten ist, dass in Metropolen knapp 20 % der öffentlichen Verkehrsflächen mit Autos zugestellt, 50 % aller Autos im öffentlichen Raum abgestellt sind und nur die anderen 50 % sich in Bewegung be-

finden und andererseits jede 5. Garage anderweitig aber nicht als Stellplatz genutzt werden.

Im Interesse der Förderung des Radverkehrs sollten auch bereits frühzeitig Überlegungen zur Integration von Fahrradabstellmöglichkeiten angestellt werden. Ebenso sollte die Straßennetzkonzeption dem Fahrradverkehr die entsprechende Aufmerksamkeit entgegen bringen (Rad-schnellwege, Velorouten etc.).

Für die Erschließung von Wohn- und Gewerbegebieten sollten deshalb folgende Punkte Berücksichtigung finden:

1. Entscheidende Weichenstellungen erfolgen im B-Plan
2. Aus dem Ausland lässt sich einiges lernen:
 - Keine kostenfreien Parkplätze im Innenstadtbereich
 - Mehreinnahmen kommen dem Ausbau von ÖPNV und Radverkehr zu Gute
 - P+R Ausbau
 - Autos müssen nicht unmittelbar vor der Haustür stehen, Quartiersgaragen
3. Gewonnener öffentlicher Raum kann Freizeit, Entspannung und sozialem Leben zu Gute kommen

Zwei weitere Aspekte sind für die Planung von Wohn- und Gewerbegebieten bedeutsam:

Zum einen müssen in einem interdisziplinären Ansatz von Beginn an baukulturelle Aspekte im Planungsprozess Berücksichtigung finden und letztlich im B-Plan festgesetzt werden. Es geht nicht nur um zweckmäßige Straßen und Kanäle die im Grunde das Minimum für die Sicherung der Erschließung darstellen, sondern letztlich um die Schaffung öffentlicher Räume, von denen ein angenehmes Wohlgefühl für die künftig dort lebenden Menschen ausgeht. Und das gilt nicht nur für Wohngebiete sondern auch in gewissem Maße für Gewerbegebiete.

Zum anderen sind auch die Belange der Barrierefreiheit von Beginn an konzeptionell mitzudenken.

Im Planungsablauf mit dem Übergang in den Bauprozess treten immer wieder Probleme mit Versorgungsunternehmen und deren plangerechter Leitungsverlegung aber auch mit der Einhaltung geplanter Höhen durch private Bauherren auf.

In beiden Fällen ist eine intensive Kommunikation mit den beteiligten Unternehmen bzw. betroffenen Einzelpersonen notwendig.

Es empfiehlt sich mit den Versorgungsunternehmen entsprechende Planvereinbarungen über die Verläufe der Versorgungsleitungen abzuschließen und deren Umsetzung zu überwachen.

Für die privaten Bauherren bzw. deren beauftragte Architekten sollten individuelle Bauherreninformationsblätter für jedes Grundstück mit allen relevanten Lage- und Höhenangaben für Straßen und Kanäle erarbeitet werden

und mit Erläuterungen zusammen mit dem Kaufvertrag übergeben werden.

6. Realisierung

Entscheidend für einen reibungslosen Bauablauf sind die sorgfältig vorbereiteten Planungsunterlagen. Defizite in der Planung führen immer zu Baubehinderungen, baubegleitenden Planungen, Nachträgen und Mehrkosten. In diesem Zusammenhang ist die Kostenverfolgung über den gesamten Planungs- und Bauvorbereitungsprozess von entscheidender Bedeutung. Jedes Leistungsverzeichnis sollte deshalb immer bepreist werden, weil mit dieser letzten Kontrolle auch die letzte Möglichkeit für den ggf. notwendigen Abbruch der Ausschreibung besteht.

Bereits in der Planung sollte darauf geachtet werden, dass alle Planungsbeteiligten in demselben Koordinatensystem arbeiten.

Insbesondere bei komplexen unterirdischen Leitungssystemen ist eine sehr sorgfältige Kollisionsprüfung im unterirdischen Bauraum bereits in frühen Planungsphasen notwendig. Der zunehmende Übergang in die 3-dimensionale Planung ist hierbei eine gute Unterstützung.

Die oft über mehrere Jahre bestehenden Zwischensituationen bis zum Erreichen des endgültigen Straßenendausbaus führen gelegentlich zu ungeklärten Entwässerungssituationen in den unbefestigten Seitenbereichen. Deshalb ist bereits bei der Planung der Baustraßen diese Situation hinreichend tiefgründig zu berücksichtigen.

Generell gilt, dass auch in frühen Phasen der Planung die Baudurchführung mit allen zu beachtenden Randbedingungen (Verkehrsführung während der Bauzeit incl. ASR A5.2 - Anforderungen an Arbeitsplätze und Verkehrswege auf Baustellen im Grenzbereich zum Straßenverkehr - Straßenbaustellen) zu beachten sind.

Bereits Luc de Clapiers Marquis de Vauvenargues (1715-1747) hat festgestellt. „*Die Kunst der Planung ist es, den Schwierigkeiten der Ausführung zuvor zu kommen*“

7. Fazit

Die Planung der Erschließung von Wohn- und Gewerbegebieten ist ein äußerst komplexer Vorgang, der zwingend eine interdisziplinäre Zusammenarbeit erfordert. Diese Art der Planung ist im Interesse eines positiven Gesamtergebnisses außerordentlich sinnvoll. Dieser Prozess erfordert von jedem Einzelnen Zielbewusstsein, Leistungsbereitschaft und Toleranz.

Interdisziplinäre Teams sind heute nicht mehr wegzudenken, da sie in der Lage sind, Problemstellungen zu bearbeiten und zu lösen, an denen einzelne Disziplinen scheitern würden.

Diese Interdisziplinarität soll zum Beginn eines Planungsprozesses kultiviert werden, damit alle Fachbereiche ihre Planungsergebnisse in den Bebauungsplanprozess einbringen können und dort entsprechend Berücksichtigung finden.



**Oberbau-
dimensionierung**

Zielführende Straßenerhaltung – Bewertung der strukturellen Substanz

Prof. Dr.-Ing. Jörg Patzak

Ingenieurgesellschaft für Dimensionierung und Analyse von Verkehrsflächen (IDAV GmbH), Dresden

Dr.-Ing. Alexander Zeißler

Ingenieurgesellschaft für Dimensionierung und Analyse von Verkehrsflächen (IDAV GmbH), Dresden

Zusammenfassung

Seit der Einführung der RDO Asphalt im Jahre 2009 [1] besteht die Möglichkeit, Straßenbefestigungen in Asphaltbauweise im Rahmen von Neubaumaßnahmen rechnerisch zu dimensionieren. Für Bestandsstrecken in Asphaltbauweise kann die strukturelle Substanz nach den RSO Asphalt, Entwurf 2016 [2] bewertet und deren Restnutzungsdauer rechnerisch prognostiziert werden. Für eine nachhaltige und wirtschaftliche Erhaltungsplanung stellt die Restnutzungsdauer der Befestigung die entscheidende Grundlage dar. Als wirtschaftlich einzustufen ist eine Maßnahmenplanung dann, wenn die Nutzungsdauer neu einzubauender Schichten an die Restnutzungsdauer in der Konstruktion verbleibender Schichten angepasst wird.

Grundlage für die Anwendung des Verfahrens nach den RSO Asphalt, Entwurf 2016 [2] sind u. a. die Kenntnis der sogenannten Performance-Kennwerte der in situ vorhandenen Asphalte sowie die möglichst genauen Belastungen aus Klima und Verkehr. Am Beispiel wird gezeigt, wie beginnend von der strukturell homogenen Abschnittsbildung bis zum Ergebnis, der Restnutzungsdauer der bestehenden Befestigung, voranzugehen ist. Vergleichend wird auf die deterministische und die probabilistische Verfahrensweise eingegangen, Unterschiede erläutert und die Ergebnisse diskutiert. Für die zeitgemäße ingenieurtechnische und insbesondere praxisgerechte Anwendung wird unter Verwendung der Software ADtoPave [12] gezeigt, wie schnell und effektiv die strukturelle Substanz von Straßenbefestigungen im Vorfeld von Erhaltungsmaßnahmen bewertet werden kann.

1. Einleitung

Mit den deutschen Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht (RDO Asphalt [2], eingeführt mit dem Allgemeinen Rundschreiben Straßenbau (ARS) vom 26.08.2009, ist im Vergleich zur konventionellen Dimensionierungsmethodik nach den RStO [4] ein wesentlicher Schritt hin zu einer ökonomischen und nachhaltigen Dimensionierung von Verkehrsflächenbefestigungen in Asphaltbauweise erfolgt.

Mit dem Bundesverkehrswegeplan 2030 unter dem Titel „Erhalt geht vor Neubau“ hat die Bundesregierung die Priorität auf den Erhalt der Verkehrswege mit 69 % der zur Verfügung gestellten Mittel gesetzt [3]. Der verbindliche Haushaltsgrundsatz der Sparsamkeit und Wirtschaftlichkeit verpflichtet die Träger der Straßenbaulast, die für Bundesstraßen zur Verfügung gestellten Mittel möglichst effizient zur Instandsetzung der Verkehrswege einzusetzen (Art. 114 Abs. 2 Satz 1 GG, § 6 HGrG, § 7 BHO). Natürlich gilt dieser Grundsatz

gleichermaßen für das nachgeordnete Netz. Umso mehr ist eine Bewertung der strukturellen Substanz vorhandener Straßenbefestigungen die Grundlage für ein zielführendes und abgestimmtes Konzept der Erhaltungsplanung. Die Grundlage hierfür wurde mit den Richtlinien zur Bewertung der strukturellen Substanz des Oberbaus von Verkehrsflächen in Asphaltbauweise (RSO Asphalt, Entwurf 2016) [2] geschaffen. Im Ergebnis dieser Bewertung kann eine Maßnahmenplanung erst dann als wirtschaftlich eingestuft werden, wenn die Nutzungsdauer neu einzubauender Schichten an die Restnutzungsdauer von in der Konstruktion verbleibender Schichten angepasst wird.

Bereits mit der Einführung der aktuell geltenden Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (RStO) [4] wurde den genannten Grundsätzen Rechnung getragen und unter Pkt. 4 „Erneuerung von Fahrbahnen“ explizit darauf verwiesen, dass Art und Zustand der vorhandenen Befestigung (Pkt. 4.1.4) für die Belastungsklassen Bk10 bis Bk100 rechnerisch überprüft und bewertet werden sollten. Kon-

kret sind in diesem Fall Materialuntersuchungen (Performanceprüfungen) an Probekörpern hergestellt aus vor Ort entnommenen Bohrkernen durchzuführen. Für Asphaltte gelten hierfür die TP Asphalt-StB Teil 24 [5] und TP Asphalt Teil 26 [6] sowie für Beton die TP B-StB [7]. Insbesondere sei in diesem Zusammenhang auf Tabelle 5 der RStO 12 [4] verwiesen (Abbildung 1), in welcher für Erneuerungen in Asphaltbauweise auf vorhandener Befestigung ab Bk 10 keine standardisierten Befestigungsvarianten vorgegeben sind.

Belastungsklasse	Bk100	Bk32	Bk10	Bk3,2	Bk1,8	Bk1,0	Bk0,3
B(Ma)	> 32	> 10 - 32	> 3,2 - 10	> 1,8 - 3,2	> 1,0 - 1,8	> 0,3 - 1,0	≤ 0,3
Asphaltdecke Asphalttragschicht als Ausgleichsschicht vorhandene Befestigung	Einzelfallbetrachtung						

Abbildung 1: Erneuerung in Asphaltbauweise auf vorhandener Befestigung [4]

Deshalb ist im Einzelfall zu überprüfen und rechnerisch zu bewerten, ob und welche Erneuerungsbauweise als wirtschaftlich sinnvoll einzustufen ist. Nur auf einer derartigen, belastbaren Basis können Fehlentscheidungen vermieden werden.

2. Bewertung der Strukturellen Substanz von Befestigungen in Asphaltbauweise

2.1 Grundlagen zur Verfahrensweise

Die Anwendung des Verfahrens nach den RSO Asphalt, Entwurf 2016 [2] stützt sich im Wesentlichen auf 4 nachfolgend dargestellte und einzeln erläuterte Bearbeitungsschwerpunkte.

1. Festlegung strukturell homogener Streckenabschnitte
2. Probennahme (Bohrkernentnahme) als Querschnitts- oder Abschnittsbeprobung innerhalb der strukturell homogenen Abschnitte
3. Ermittlung der dimensionierungsrelevanten Materialkennwerte/-kennwertfunktionen aller Asphalt-schichten
4. Bewertung der strukturellen Substanz gem. den RSO Asphalt, Entwurf 2016 nach der deterministischen oder der probabilistischen Verfahrensweise

2.2 Strukturell homogene Streckenabschnitte

Die zu untersuchende Strecke ist im Hinblick auf eine erforderliche Unterteilung in Unterabschnitte zu untersuchen. Strecken oder Streckenabschnitte, welche nach bautechnischen Gesichtspunkten, hinsichtlich ihrer Belastungen aus Klima und Verkehr sowie sonstiger Rand-

bedingungen als homogen eingestuft werden können, werden als strukturell homogene Abschnitte bezeichnet. Beispielsweise sind Netzknotenabschnitte im Hinblick auf die Belastung aus Verkehr meist als homogen einzustufen. Als strukturell homogen gelten diese aber nur dann, wenn alle weiteren relevanten Kriterien wie beispielsweise der Befestigungsaufbau, das Alter der Befestigungsschichten oder die Tragfähigkeit als homogen einzustufen sind.

2.3 Bohrkernentnahme

Nach der Festlegung der strukturell homogenen Streckenabschnitte werden die Bohrkernentnahmestellen festgelegt. Mit der Art der Bohrkernentnahme (Anzahl und Entnahmepunkte) wird das Ziel verfolgt, eine repräsentative Stichprobe zu erreichen. Zu bevorzugen ist das Prinzip der Abschnittsbeprobung, bei welchem die Bohrkernkerne innerhalb des strukturell homogenen Abschnitts zufallsverteilt entnommen werden. Hierdurch werden die Streuungen der Materialparameter und ggf. auch der Aufbaudaten erfasst und bei der Berechnung der strukturellen Substanz explizit berücksichtigt. Die Entnahme der Proben ist vorzugsweise in der in Fahrtrichtung rechten Rollspur vorzusehen und erfolgt gemäß der TP Asphalt-StB, Teil 27 [8].

2.4 Ermittlung der dimensionierungsrelevanten Materialkennwerte/-kennwertfunktionen

Die Ermittlung der dimensionierungsrelevanten Materialkennwerte/-kennwertfunktionen erfolgt an Probekörpern, hergestellt aus in der Strecke entnommenen Bohrkernen. Für alle in der Konstruktion existenten Asphalt-schichten ist die

- Bestimmung der Steifigkeit (TP Asphalt-StB, Teil 26) [6]

labortechnisch durchzuführen. Zusätzlich ist für die Asphalttragschicht (ggf. die Asphalttragschichten) die

- Beständigkeit gegen Ermüdung (TP Asphalt-StB, Teil 24) [5]

labortechnisch zu untersuchen.

Die Weiteren ist die

- Prüfung des Schichtenverbundes mittels Abscher-versuch (TP Asphalt-StB, Teil 80) [9]

entsprechend der vorhandenen Anzahl gebundener Befestigungsschichten durchzuführen.

2.5 Bewertung der strukturellen Substanz

Die Bewertung der strukturellen Substanz gem. den RSO Asphalt, Entwurf 2016 [2] kann auf Grundlage zweier Verfahren erfolgen.

Bei Anwendung der deterministischen Verfahrensweise wird die Restsubstanz bzw. Restnutzungsdauer auf Grundlage von Mittelwerten relevanter Eingangsparameter rechnerisch abgeschätzt. Bei Anwendung der probabilistischen Verfahrensweise wird die Variabilität der relevanten Eingangsparameter berücksichtigt. Damit ist es wahlweise möglich, die Ausfallwahrscheinlichkeit jedes strukturell homogenen Abschnitts für eine zuvor festgelegte Restsubstanz bzw. die Restsubstanz bei definierter Ausfallwahrscheinlichkeit zu berechnen. Nachfolgend werden beide Verfahrensweisen anhand eines Beispiels aufgezeigt.

3. Erläuterung der Vorgehensweise am Beispiel

Im konkreten Beispiel handelt es sich um einen strukturell homogenen Abschnitt einer Bundesstraße mit einer Länge von rd. 1200 m.

Für die Berechnung der Restnutzungsdauer der Befestigung sowohl auf Grundlage der deterministischen als auch der probabilistischen Verfahrensweise wurde die Softwarelösung ADtoPave [12] verwendet (Abbildung 2), mit welcher unterschiedlichste Aufgaben rund um die rechnerische Dimensionierung von Asphaltbefestigungen bearbeitet werden können.



Abbildung 2: Analysing and Design Tool for Pavements (ADtoPave) [12]

Die modulare Struktur der Software (Abbildung 3) gewährleistet dabei größtmögliche Flexibilität für jeden Anwendungsfall.

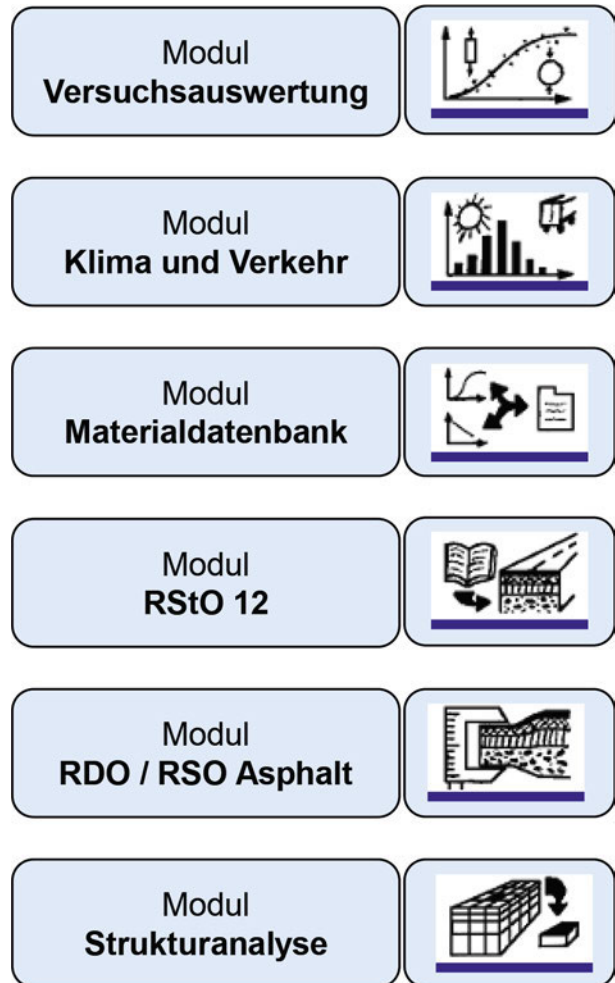


Abbildung 3: ADtoPave-Modulübersicht [12]

Im relevanten Streckenabschnitt lag folgender Befestigungsaufbau vor:

- i. M. 4 cm Asphaltdeckschicht
- i. M. 5 cm Asphaltbinderschicht
- i. M. 13 cm Asphalttragschicht
- i. M. 15 cm Verfestigung auf anstehendem frostsicheren Untergrund

Die Daten zum Befestigungsaufbau wurden bereits im Vorfeld der Substanzbewertung auf Grundlage von Georadarmessungen und Bohrkernentnahmen überprüft. Durch die Untersuchungen im Labor konnte der Asphaltdeckschicht die Mischgutart SMA (obere Siebgröße 11 mm), der Asphaltbinderschicht die Mischgutart AC (obere Siebgröße 16 mm) und der Asphaltbinderschicht die Mischgutart AC (obere Siebgröße 32 mm) zugeordnet werden.

3.1 Verkehrsbelastung

Auf Basis der vorliegenden Verkehrszählung (Jahr 2015) wurde eine durchschnittliche Anzahl täglicher Achsübergänge des Schwerverkehrs ($DTA_{(SV)}$) von 4856

AÜ zu Grunde gelegt. Zum Vergleich und im Hinblick auf die Einordnung der Untersuchungsstrecke gem. den RStO [4] berechnet sich hiernach die dimensionierungsrelevante Beanspruchung B mit rd. 9,5 Mio. AÜ. Damit erfolgt eine Zuordnung in die Belastungsklasse 10. Unschwer zu erkennen ist, dass die Summe der Schichtdicken aller Asphalt-schichten dem Aufbau gem. RStO 12 (Tafel 1, Zeile 2.2) entsprechen (1 cm Mehrdicke) und die Schichtdicken von Asphaltdeck- und -binderschicht vom Regelwerk abweichen.

3.2 Bohrkernentnahme

Die Bohrkernentnahme erfolgte nach TP Asphalt-StB, Teil 27 [8] im strukturell homogenen Abschnitt als Abschnittsbeprobung (vgl. Pkt. 2.3). Der relevante Abschnitt wurden entsprechend der Anzahl der zu entnehmenden Bohrkern (im konkreten Beispiel 21 Bk bei rd. 1200 m Abschnittslänge) in Bereiche unterteilt, in welchen die Bohrkern zufallsverteilt gem. den TP BF-StB E 1 [9] entnommen wurden.

Die Bohrkern sind wie folgt für die durchzuführenden Materialprüfungen zu verwenden (vgl. Pkt. 2.4):

- 13 Bohrkern für die Prüfung der Beständigkeit gegen Ermüdung (Bestimmung der Ermüdungsfunktion)
- 5 Bohrkern für die Prüfung der Steifigkeit (Bestimmung der Hauptkurven)
- 3 Bohrkern für die Prüfung des Schichtenverbundes

3.3 Ermittlung der dimensionierungsrelevanten Materialkennwerte/-kennwertfunktionen

Hauptkurve und Steifigkeitsmodul-Temperaturfunktion
Entsprechend den TP Asphalt-StB, Teil 26 [6] dient als funktionaler Ansatz der Hauptkurve (Masterfunktion) nachfolgende Gleichung.

$$|E^*| = |E^*|_{-\infty} + \frac{|E^*|_{+\infty} - |E^*|_{-\infty}}{1 + e^{(\dot{\epsilon}_1 \cdot x^* + \dot{\epsilon}_0)}} \quad (1)$$

mit

$|E^*|$ absoluter Wert des komplexen E-Moduls (Steifigkeitsmodul) [MPa]

$|E^*|_{+\infty}$ Grenzwert des Steifigkeitsmoduls bei sehr niedrigen Temperaturen und/oder hohen Frequenzen [MPa]

$|E^*|_{-\infty}$ Grenzwert des Steifigkeitsmoduls bei sehr hohen Temperaturen und/oder niedrigen Frequenzen [MPa]

x^* beliebiger Wert auf der Abszissenachse der Hauptkurve, bestimmt mit Hilfe der Temperatur-Frequenz-Äquivalenz [Hz]

$\dot{\epsilon}_p, \dot{\epsilon}_c$ Materialparameter der Hauptkurve [-]

In der Tabelle 1 sind exemplarisch die Materialparameter der Hauptkurve des absoluten E-Moduls für die geprüfte Asphaltdeckschicht mit den zusätzlich benötigten Parametern,

T_0 Referenztemperatur [°C]

Φ materialspezifischer Parameter [-]

aufgeführt, welche zur eindeutigen Beschreibung der Hauptkurve erforderlich sind.

Tabelle 1: Parameter der Hauptkurve der Asphaltdeckschicht

$E_{-\infty}$ [N/mm ²]	$E_{+\infty}$ [N/mm ²]	$\dot{\epsilon}_1$ [-]	$\dot{\epsilon}_0$ [-]	T_0 [°C]	Φ [-]
0	23277	-0,751602	1,998533	20	22377

Abbildung 4 zeigt die Hauptkurve der Asphaltdeckschicht einschließlich der Messwerte der Materialprüfung.

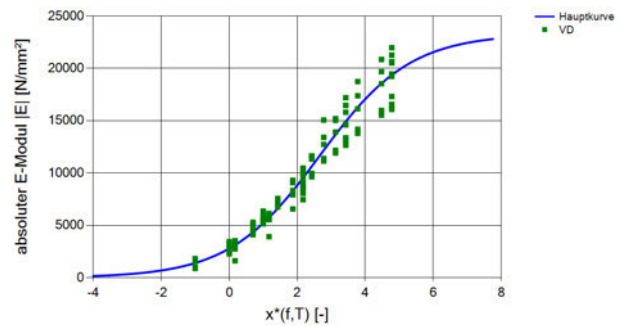


Abbildung 4: Hauptkurve der Asphaltdeckschicht

Zur besseren Verdeutlichung zeigt Abbildung 5 vergleichend die Steifigkeitsmodul-Temperaturfunktion aller geprüften Asphalt-schichten der vorhandenen Befestigung. Erkennbare Unterschiede zeigen sich zwischen Asphaltdeck- und Asphalttragschicht, mit erwartbar tendenziell größeren absoluten E-Moduln der Asphalttragschicht. Auffallend im Beispiel sind die vgl. großen absoluten E-Modul der Asphaltbinderschicht im Bereich niedriger Temperaturen.

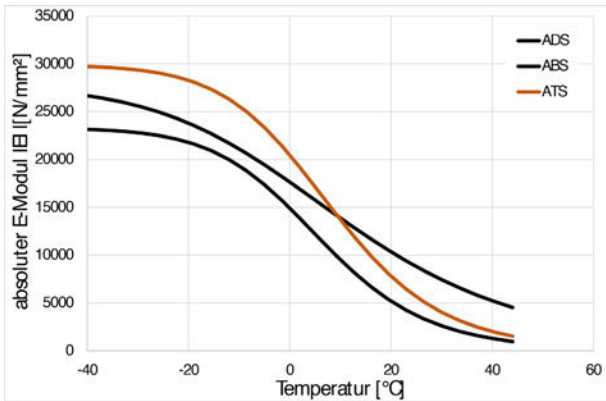


Abbildung 5: Steifigkeitsmodul-Temperaturfunktion aller geprüften Asphalte

Ermüdungsfunktion

Die Ermüdungsfunktion der Asphalttragschicht ist essenzielle Grundlage von Dimensionierungs- und Prognoseberechnungen. In Gleichung (2) ist der funktionale Zusammenhang aufgeführt.

$$N_{zul} = k \cdot \varepsilon_{el, Anf}^n \tag{2}$$

dabei sind:

- $\varepsilon_{el, Anf} \dots$ elastische Anfangsdehnung [%]
- $N_{zul} \dots$ max. ertragbare Lastwechselzahl
- $k, n \dots$ Regressionsparameter [-]

In der nachfolgenden Tabelle 2 sind die Materialparameter der Ermüdungsfunktion einschließlich Einzelwerte aus der Materialprüfung für die Asphalttragschicht aufgeführt.

Tabelle 2: Parameter der Ermüdungsfunktion der Asphalttragschicht

k [-]	n [-]
8,888921	-2,676168

Abbildung 6 zeigt den entsprechenden funktionalen Zusammenhang.

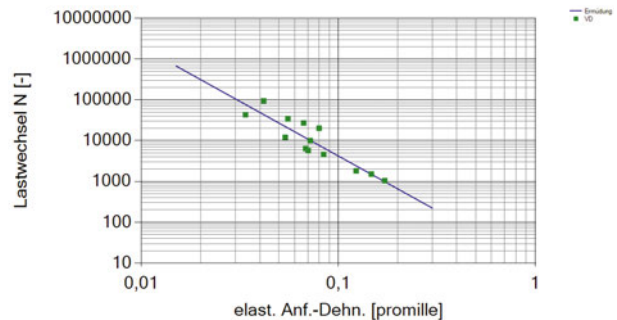


Abbildung 6: Ermüdungsfunktion der Asphalttragschicht

Schichtenverbundzustand

Die Prüfung des Schichtenverbundes mittels Abscherversuch (TP Asphalt-StB, Teil 80) [9] wurde für alle Schichtgrenzen zwischen Asphaltsschichten an drei Bohrkernen (vgl. Pkt. 2.4 durchgeführt). Bei allen Prüfungen wurden die Grenzwerte der Scherkraft gem. ZTV Asphalt-StB [11] eingehalten, weshalb von vollständig wirksamem Verbund ausgegangen wurde.

3.4 Ermittlung der strukturellen Substanz nach der deterministischen Verfahrensweise

3.4.1 Befestigungsaufbau

Die Schichtdicken des vorhandenen Befestigungsaufbaus entsprechen für alle Schichten den Mittelwerten der festgestellten Schichtdicken. Hierbei basieren die Mittelwerte für Asphaltdeck- und -binderschicht auf Georadarmessungen, die der Verfestigung auf Messungen am Bohrkern. Die Schichtdicke der Asphalttragschicht wird aus Sicherheitsgründen mit dem 10 %-Quantil ($p = 0,1; \alpha = 95 \%$) in Ansatz gebracht. Abbildung 7 zeigt den dafür anzusetzenden Befestigungsaufbau.

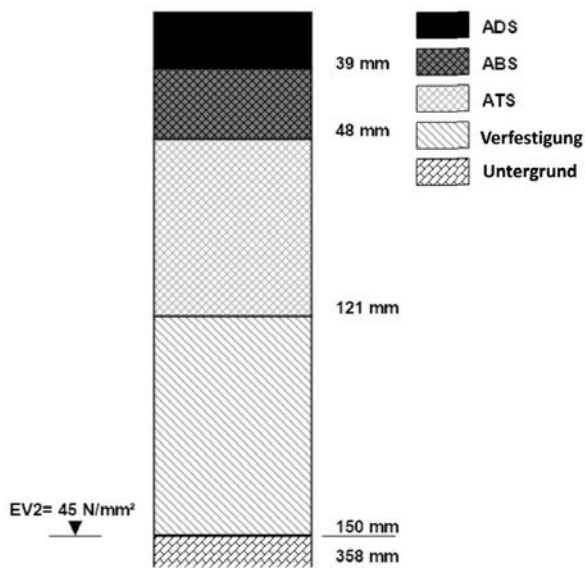


Abbildung 7: im Berechnungsmodell angesetzter Befestigungsaufbau

3.4.2 Belastung aus Verkehr und Klima

Da in den seltensten Fällen detaillierte Achslastdaten bekannt sind, können diese im Vorfeld einzelfallspezifisch ermittelt werden oder es wird auf bekannte Achslastkollektive gem. den RDO Asphalt [1] zurückgegriffen. Im konkreten Fall wurde das Achslastkollektiv BAB Fernverkehr (Abbildung 8) verwendet, da die Untersuchungsstrecke als Autobahnzubringer dient und vergleichsweise hoher Schwerverkehrsanteil vorliegt.

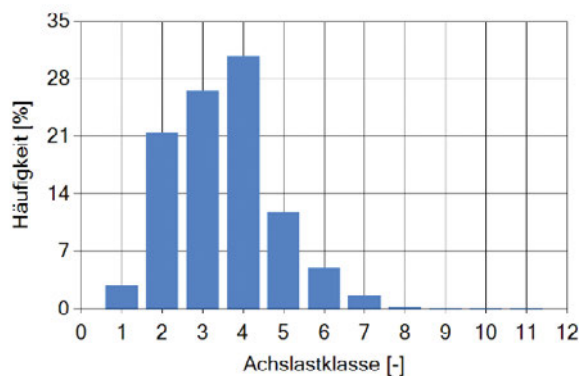


Abbildung 8: Achslastkollektiv „BAB – Fernverkehr“ [1]

Für die Berücksichtigung der relevanten Temperaturbedingungen in den Asphaltsschichten der Befestigung sind gem. RSO Asphalt, Entwurf 16 [2] normierte, charakteristische Temperaturprofile zu verwenden. Die Auftretenshäufigkeit dieser charakteristischen Temperaturprofile ist abhängig von der jeweiligen klimainduzierten Straßentemperaturen-Zone (KiST-Zone). Eine KiST-Zone repräsentiert eine Region, in der bei gleichen Verkehrslasten klimabedingt ähnliche Beanspruchungen

in der Asphaltbefestigung auftreten. Im vorliegenden Betrachtungsfall wurde Temperaturzone 1 verwendet. Die Auftretenswahrscheinlichkeit der normierten, charakteristischen Temperaturprofile innerhalb einer KiST-Zone sind nach den RSO Asphalt, Entwurf 2016 [2] festgelegt und können Tabellenwerten entnommen werden.

Alternativ kann die Festlegung der KiST-Zone in ADtoPave direkt über die Eingabe von Gauß-Krüger-Koordinaten bestimmt werden. Die Häufigkeitsverteilung der Oberflächentemperaturen für die jeweiligen KiST-Zonen sind bereits im Programm hinterlegt.

3.4.3 Materialkennwerte/-kennwertfunktionen

Die verwendeten dimensionierungsrelevanten Materialkennwerte/-kennwertfunktionen sind unter Pkt. 3.3 dargestellt und beschrieben.

3.4.4 Berechnungsergebnis

Zur Berücksichtigung von Unsicherheiten sind gem. den RSO Asphalt, Entwurf 2016 [2] Anpassungsfaktoren bei der Dimensionierung zu berücksichtigen. Der Anpassungsfaktor ist einer Kombination aus Belastungsklasse und möglichem Befestigungsaufbau zugeordnet. Im konkreten Beispiel ist ein Anpassungsfaktor AF von 2169 anzusetzen.

In Abbildung 9 ist das Berechnungsergebnis grafisch dargestellt. Erkennbar ist, dass für den Status quo der Befestigung ein Ermüdungsstatus der Asphalttragschicht von 100 % nach rd. 14,5 erreicht sein wird. Folglich ist die ATS unter den zugrunde gelegten Prognosebedingungen nach Ablauf des prognostizierten Nutzungszeitraumes von rd. 14,5 Jahren (Restnutzungsdauer) nicht mehr in der Lage die Beanspruchungen aus Klima und Verkehr ertragen zu können.

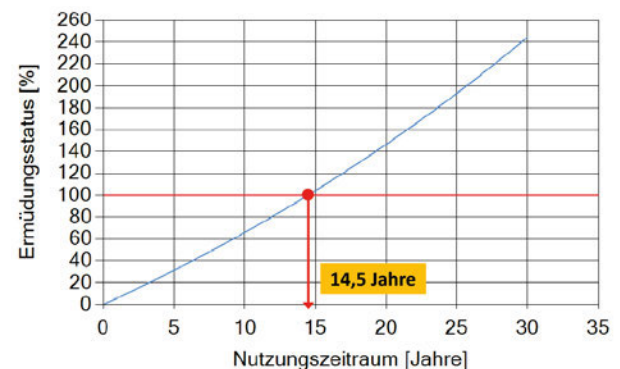


Abbildung 9: Nutzungsdauer der ATS in Jahren bis zum Erreichen eines Ermüdungsstatus von 100 %

3.5 Ermittlung der strukturellen Substanz nach der probabilistischen Verfahrensweise

3.5.1 Befestigungsaufbau

Wesentlicher Unterschied bei Anwendung der probabilistischen Verfahrensweise ist die Berücksichtigung der Variabilität relevanter Eingangsgrößen.

Jeder Befestigungsaufbau unterliegt Schichtdickenschwankungen. Abbildung 10 zeigt beispielhaft einen Ausschnitt der gemessenen Gesamtdicke des gebundenen Oberbaus (Georadarmessung).

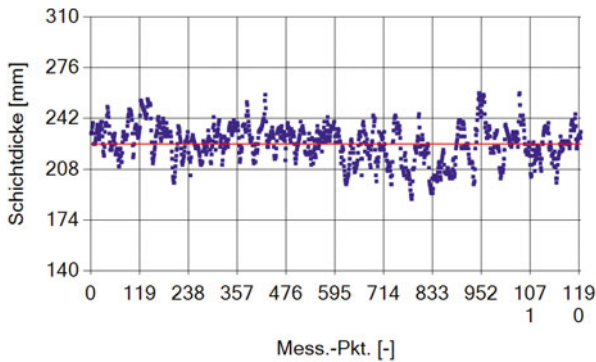


Abbildung 10: Georadarmessung der Schichtdicke des gebundenen Oberbaus (blau – Messdaten; rot – Mittelwert der Messdaten)

Bei ausschließlicher Berücksichtigung von Mittelwerten (Abbildung 10, rote Line) würde die Konsequenz aus in situ vorhandenen größeren Schichtdicken genauso vernachlässigt wie deutlich dünnere Schichtdicken. Die Diskretisierung der Verteilung der gemessenen Schichtdicken, führt zur Schichtdickenklassenbildung mit zugeordneten Klassenwahrscheinlichkeiten.

Im konkreten Beispiel wurden 5 Schichtdickenklassen wie in Abbildung 11 dargestellt verwendet. Klasse 3 entspricht hierbei dem Mittelwert der Gesamtschichtdicke des gebundenen Oberbaus von 225 mm (vgl. Abbildung 12, 39 mm (ADS) + 48 mm (ABS) + 138 mm (ATS)). Die Klassen 1 und 2 repräsentieren Klassen unterhalb der

mittleren Schichtdicke, die Klassen 4 und 5 oberhalb der mittleren Schichtdicke.

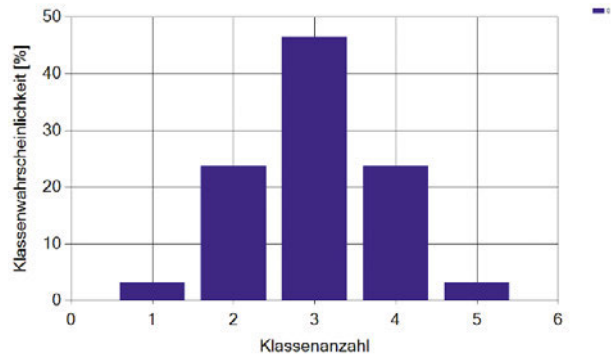


Abbildung 11: Schichtdickenklassen mit zugeordneter Klassenwahrscheinlichkeit

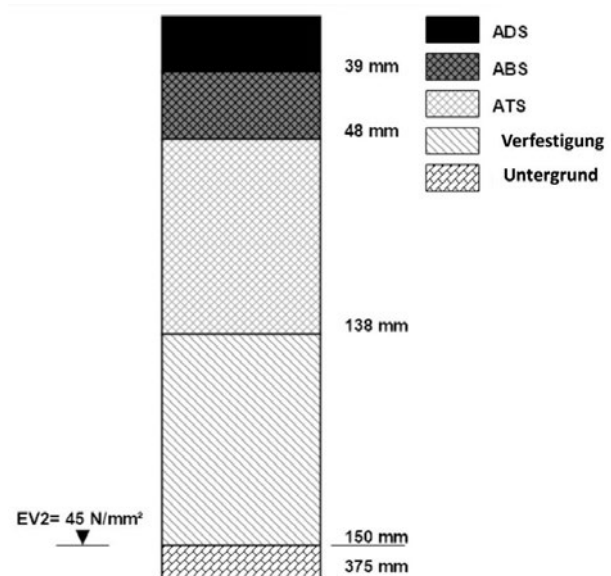


Abbildung 12: im Berechnungsmodell angesetzter Befestigungsaufbau

3.5.2 Belastung aus Verkehr und Klima

Für die Belastungen aus Klima und Verkehr gelten für das probabilistische Verfahren die gleichen Ausführungen wie für das deterministische Verfahren (vgl. Pkt. 3.4.2).

3.5.3 Materialkennwerte/-kennwertfunktionen

So wie die Schichtdicken Schwankungen unterliegen, unterliegen auch die Materialkennwerte/-kennwertfunktionen Schwankungen. In der Abbildung 4 (Pkt. 3.3) ist erkennbar, dass die Hauptkurve der Asphaltdeckschicht, als Regressionsfunktion (Mittelwertfunktion) durch die Werte der Stichprobe sowohl über als auch unterschritten wird. Zur stochastischen Erfassung der Materialstreuungen wird ebenfalls diskretisiert, um Klassen mit zugeordneten Klassenwahrscheinlichkeiten bilden zu können. Abbildung 13 zeigt die Klassenmittelfunktionen (bei 3 zugrunde gelegten Klassen) für die Hauptkurve der Asphaltdeckschicht (hier in linearisierter Form). Die rot markierte Funktion entspricht hierbei der Mittelwertfunktion.

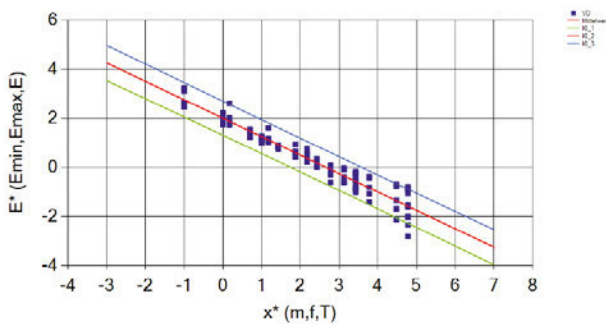


Abbildung 13: linearisierte Hauptkurve der Asphaltdeckschicht mit drei Klassenmittelfunktionen

Zur besseren Nachvollziehbarkeit ist in Abbildung 14 die Steifigkeitsmodul-Temperaturfunktion der Asphaltdeckschicht dargestellt, basierend auf den drei Klassenmittelfunktionen, dargestellt. Rot markiert, wie bereits erläutert, die Mittelwertfunktion (vgl. Abbildung 4 als Hauptkurve) sowie die zwei weiteren gebildeten Klassenmittelfunktionen. In Analogie zur Berücksichtigung der Variabilität des Steifigkeitsmoduls ist die Variabilität der Ermüdung der Asphalttragschicht zu behandeln. Auf die separate Vorstellung wird an dieser Stelle verzichtet.

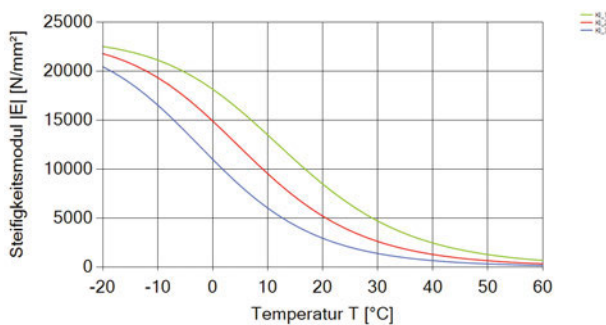


Abbildung 14: Steifigkeitsmodul-Temperaturfunktion der Asphaltdeckschicht (Klassenmittelfunktionen)

3.5.4 Berechnungsergebnis

Die Anzahl möglicher Kombinationen der Eingangs- und Vergleichskenngrößen (Anzahl der virtuellen Teilabschnitte), resultiert aus der Anzahl der gewählten Klassen im Rahmen der Diskretisierung. Im vorliegenden Beispiel wurde folgende Anzahl von Klassen gewählt:

Hauptkurve:	3 Klassen (ADS, ABS, ATS)
Ermüdungsfunktion:	7 Klassen (ATS)
Schichtdicke:	5 Klassen (Asphaltschichten)

Basierend auf dieser Annahme ergeben sich $3 \times 3 \times 3 \times 7 \times 5 = 945$ Kombinationen, welche ausschließlich aus den Variabilitäten des Befestigungsaufbaus bzw. des Materials resultieren (virtuelle Teilabschnitt). Für jeden dieser Teilabschnitte sind die Teilschädigung infolge Belastung aus Klima und Verkehr und die Schadenssumme zu berechnen, was der deterministischen Verfahrensweise entspricht. Die Summe der Auftretenshäufigkeit aller Teilabschnitte mit einer Schadenssumme >1 entspricht der Ausfallwahrscheinlichkeit des untersuchten Streckenbereiches, sprich dem strukturell homogenen Abschnitt. Der Anpassungsfaktor AF ist im Beispiel bei Anwendung der probabilistischen Verfahrensweise mit 2874 anzusetzen.

Im Ergebnis wird eine Ausfallwahrscheinlichkeit von 20 % nach 9 Jahren erreicht (Abbildung 15). D. h. 1/5 der vorhandenen Asphalttragschicht im untersuchten Streckenbereich sind nach 9 Jahren (ab dem Bewertungszeitpunkt) nicht mehr in der Lage die vorhandenen Beanspruchungen aus Klima und Verkehr zu ertragen.

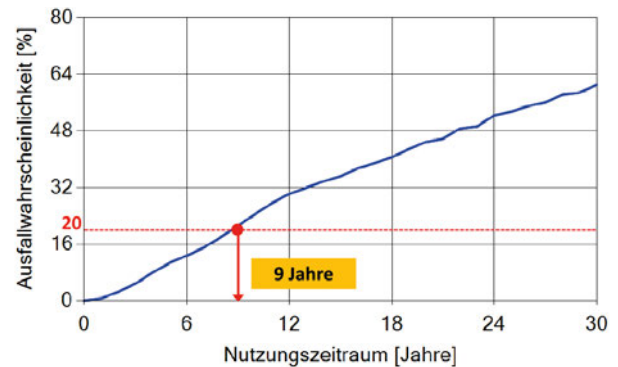


Abbildung 15: Nutzungsdauer der ATS in Jahren bis zum Erreichen einer Ausfallwahrscheinlichkeit von 20%

Wird für den relevanten Abschnitt eine geringere Ausfallwahrscheinlichkeit gefordert, verkürzt sich folglich die prognostizierbare Nutzungsdauer. Abbildung 16 zeigt diesen Sachverhalt bei zugrunde gelegten 10 % Ausfallwahrscheinlichkeit, mit einer dafür prognostizierbaren Nutzungsdauer von nur noch 5 Jahren. Die Festlegung der strecken- bzw. abschnittsspezifisch definierten Ausfallwahrscheinlichkeit, kann der Baulastträger beispielsweise im Hinblick auf Priorität der Strecke, örtliche

Randbedingungen oder Finanzmittel gezielt beeinflussen.

Die RSO Asphalt (Entwurf 2016) empfiehlt Ausfallwahrscheinlichkeiten in Abhängigkeit von der Belastungsklasse zwischen 10 % und 20 %.

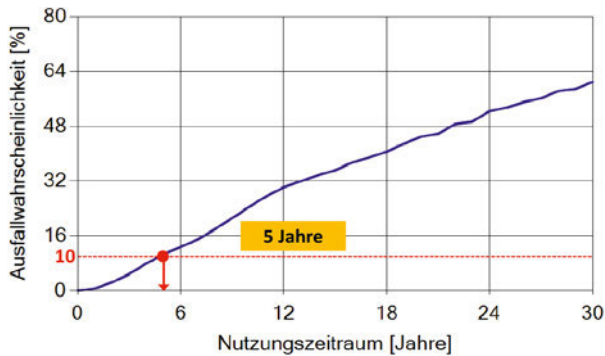


Abbildung 16: Nutzungsdauer der ATS in Jahren bis zum Erreichen einer Ausfallwahrscheinlichkeit von 10%

3.6 Zusammenfassung

Die Bewertung der strukturellen Substanzbewertung nach den RSO Asphalt, Entwurf 2016 dient der Bestimmung des rechnerisch prognostizierten Ausfallzeitpunktes von Asphalttragschichten. Dies ist die Grundlage für die Entscheidung, ob ein vorhandener gebundener Asphaltüberbau erhalten werden kann oder eine Erneuerung angestrebt werden sollte.

Basierend auf den vorgestellten rechnerischen Verfahren der RSO Asphalt, Entwurf 16 und unter Berücksichtigung der erläuterten dimensionierungsrelevanten Randbedingungen, wurde bei Anwendung der deterministischen Verfahrensweise eine rechnerische Restnutzungsdauer von rd. 15 Jahren berechnet. Im Hinblick auf die Entscheidungsgrundlage belastbarer sind die Berechnungsergebnisse bei Anwendungen der probabilistischen Verfahrensweise. Hiermit wurde die Restnutzungsdauer des zu bewertenden Abschnittes zwischen 5 Jahren bei einer Ausfallwahrscheinlichkeit von 10 % und 9 Jahren bei einer Ausfallwahrscheinlichkeit von 20 % rechnerisch

prognostiziert. Anders formuliert sind nach 5 Jahren bzw. 9 Jahren weiterer Nutzung 10 % bzw. 20 % Flächenanteil des untersuchten Abschnittes als ausgefallen zu betrachten, was eine essentielle Aussage für das Konzept der baulichen Erhaltung darstellt.

Literaturangaben

- [1] Richtlinien für die Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht (RDO Asphalt), FGSV 2009
- [2] Richtlinien zur Bewertung der strukturellen Substanz des Oberbaus von Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht (RSO Asphalt, Entwurf), FGSV 2016
- [3] Presse- und Informationsamt der Bundesregierung, 2016
- [4] Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (RStO), FGSV 2012
- [5] Technische Prüfvorschriften für Asphalt, Teil 24 Spaltzug-Schwellversuch – Beständigkeit gegen Ermüdung (TP Asphalt-StB, Teil 24), FGSV 2018
- [6] Technische Prüfvorschriften für Asphalt, Teil 26 Spaltzug-Schwellversuch – Bestimmung der Steifigkeit (TP Asphalt-StB, Teil 26), FGSV 2018
- [7] Technische Prüfvorschriften für Verkehrsflächenbefestigungen – Betonbauweisen, Teil 3.1.05 (TP B-StB, Teil 3.1.05), FGSV 2016
- [8] Technische Prüfvorschriften für Asphalt, Teil 27 Probenahme (TP Asphalt-StB, Teil 27), FGSV 2016
- [9] Technische Prüfvorschriften für Asphalt, Teil 80 Abscherversuch (TP Asphalt-StB, Teil 80), FGSV 2007
- [10] Technische Prüfvorschriften für Boden und Fels im Straßenbau, Teil E1 Prüfung auf statistischer Grundlage – Stichprobenprüfpläne (TP BF-StB E 1), FGSV 1993
- [11] Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt (ZTV Asphalt-StB), FGSV 2007 (Fassung 2013)
- [12] Analysing and Design Tool for Pavements (AD-toPave), IDAV GmbH, Schnorrstraße 70, 01069 Dresden

Ermittlung des dimensionierungsrelevanten Achslastkollektivs zur realitätsnahen Straßenplanung

Dr.-Ing. Wolf Uhlig

Uhlig & Wehling GmbH, Ingenieurgesellschaft, Mittweida, Bundesrepublik Deutschland

Abstract

Im nachgeordneten Netz zu Bundesautobahnen wird der Oberbau in aller Regel nach Methode 1 der RStO 12 dimensioniert. Grundlage der Eingangsgröße Verkehrsbelastung bildet dabei der $DTV^{(SV)}$ -Wert als quantitative Kenngröße, die als einzige einen unmittelbaren Bezug zum Planungsbereich herstellt. Alle weiteren Faktoren zur Beschreibung des qualitativen Niveaus der Verkehrsbelastung (f_A, q_{Bm}) sind deutschlandweit gültige, straßenklassenspezifische Faktoren, deren Übereinstimmung mit den realen Bedingungen einer hohen statistischen Schwankung unterliegt. In dem Beitrag wird ein neues Verfahren zur Ermittlung des dimensionierungsrelevanten Achslastkollektivs für einen spezifischen Streckenabschnitt beschrieben. Grundlage bilden statistische Auswertungen von Achslastmessungen auf Bundesautobahnen sowie Silhouettenerfassungen in situ. Im Ergebnis eines statistischen Vergleichsverfahrens werden den lokal erfassten Fahrzeugtypen des Schwerverkehrs standardisierte Achslastverteilungen zugeordnet, aus denen das dimensionierungsrelevante Achslastkollektiv für den spezifischen Streckenabschnitt ermittelt wird. Die Berechnung der B-Zahl kann somit nach Methode 2 der RStO 12 erfolgen, wodurch ein den tatsächlichen Verkehrsbelastungen signifikant besser angepasstes Ergebnis zu erwarten ist als nach Methode 1 der RStO 12.

1. Einleitung

In der planerischen Praxis wird der Oberbau von Straßenverkehrsflächen – vor allem im nachgeordneten Straßennetz zu Bundesautobahnen – vorwiegend nach den Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (RStO) dimensioniert, die auf empirischer Grundlage entwickelt wurden. Die Eingangsgröße Verkehrsbelastung geht gemäß RStO in Form der dimensionierungsrelevanten Beanspruchung B in die Ermittlung des Befestigungsaufbaus ein. Gegenstand der nachfolgenden Betrachtungen sind die Kriterien zur Ermittlung des Einflusses der Belastung durch Fahrzeuge des Schwerverkehrs auf die Beanspruchung in den Schichten des Befestigungsaufbaus. Die aktuellen RStO 12 einschließlich der Korrektur vom Juni 2020 [RStO 2012] unterscheiden das Verfahren zur Ermittlung der B-Zahl in grundsätzlich zwei Methoden. Methode 1 kommt zur Anwendung, wenn lediglich Daten zum $DTV^{(SV)}$ vorliegen. Methode 2 kann angewandt werden, wenn detaillierte Achslastdaten zum betreffenden Planungsabschnitt vorhanden sind. Im Laufe der mehr als 25-jährigen Berufspraxis des Verfassers konnte Methode 2 kein einziges Mal zur Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen außerhalb von Bundesautobahnen Anwendung finden. Entsprechende technische Voraussetzungen in Form von Achslastwaagen sind im nachgeordneten Netz nicht verfügbar und wohl auf absehbare

Zeit auch nicht zu erwarten. Das heißt, dass lediglich die Anzahl der Fahrzeuge des Schwerverkehrs $DTV^{(SV)}$ als rein quantitative Eingangsgröße zur Ermittlung der Belastung aus Verkehr einen unmittelbaren, lokalen Bezug zum Planungsbereich aufweist. Alle weiteren Eingangsgrößen zur Bestimmung des qualitativen Niveaus der Beanspruchung aus Schwerverkehr (Achszahlfaktor f_A , mittlerer Lastkollektivquotient q_{Bm}) werden im Rahmen der betreffenden Berechnungsmethodik (Methode 1) jeweils auf der Grundlage von lediglich drei straßenklassenspezifischen, deutschlandweit einheitlich geltenden Faktoren festgelegt. Dabei beruhen nur die Faktoren nach den RStO 12 für Bundesautobahnen auf gemessener Datenbasis, alle anderen Faktoren wurden im Zuge der Fortschreibung des Regelwerks zur RStO 12 moderat angepasst [Sieber 2013]. Vor diesem Hintergrund ist davon auszugehen, dass die dimensionierungsrelevante Beanspruchung B nach den RStO 12 im Zuge der planerischen Dimensionierung mit entsprechenden Abweichungen zum tatsächlich auftretenden Belastungsniveau durch Schwerverkehrsfahrzeuge ermittelt wurde und weiterhin ermittelt wird. Dies äußert sich nach der Realisierung von Baumaßnahmen oftmals in unerwarteten Abweichungen zur geplanten Nutzungsdauer des betreffenden Straßenabschnittes, leider auch viel zu oft in einer deutlich kürzeren, tatsächlichen Nutzungsdauer. Der folgende Beitrag beschreibt ein Verfahren zur realitätsnäheren Beschreibung der Verkehrsbelastung, in dessen

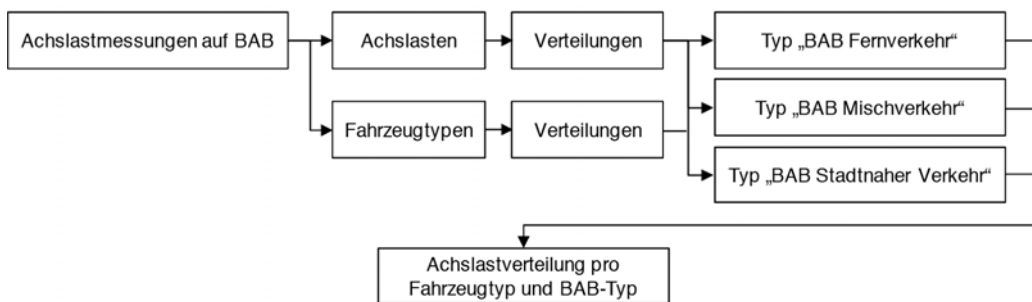
Ergebnis dimensionierungsrelevante Achslastkollektive für den betreffenden Planungsfall auch ohne Achslastwägungen in situ definiert werden können. Die Ermittlung von B kann somit nach Methode 2 der RStO 12 erfolgen, wodurch ein den tatsächlichen Verkehrsbelastungen signifikant besser angepasstes Ergebnis zu erwarten ist.

2. Methodik

Die Methodik des Verfahrens beruht auf der Nutzung vorhandener Kenntnisse der Achslastverteilung gesamter Fahrzeugkollektive und einzelner Fahrzeugtypen auf dem Bundesautobahnnetz sowie aus den untersuchten Zusammenhängen zwischen Achslastniveau und Fahrzeugtypverteilung des Gesamtkollektivs. Daraus kann eine Korrelation von äußerem Erscheinungsbild der Fahrzeuge des Schwerververkehrs (Silhouetten) und dem zu erwartenden Achslastniveau hergestellt werden (Abbildung 1).

Auf der Grundlage von Achslastwägungen an verschiedenen Messquerschnitten im Netz der Bundesautobahnen wurden vom Verfasser bereits dimensionierungsrelevante Achslastkollektive ermittelt, gegenübergestellt und anhand statistischer Kenngrößen klassifiziert. Die Ergebnisse dieses Verfahrens fanden in Form der standardisierten Achslastverteilungen BAB Fernverkehr, BAB Mischverkehr und BAB Stadtnaher Verkehr Eingang in die Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht [RDO Asphalt 09]. Die unterschiedlichen, typischen Achslastverteilungen resultieren aus entsprechend charakteristischen Verteilungen der Fahrzeugtypen (Silhouetten) des Schwerververkehrs. Für alle gemessenen Fahrzeugtypen des Schwerververkehrs konnten somit in Abhängigkeit der klassifizierten Achslastkollektive jeweils unterschiedliche, spezifische Achslastverteilungen ermittelt werden. Im Ergebnis wurde eine umfangreiche Datenbasis mit standardisierten Achslastverteilungen

Datenbasis und Standardisierung



Datenerhebung und Ermittlung des dimensionierungsrelevanten Achslastkollektivs

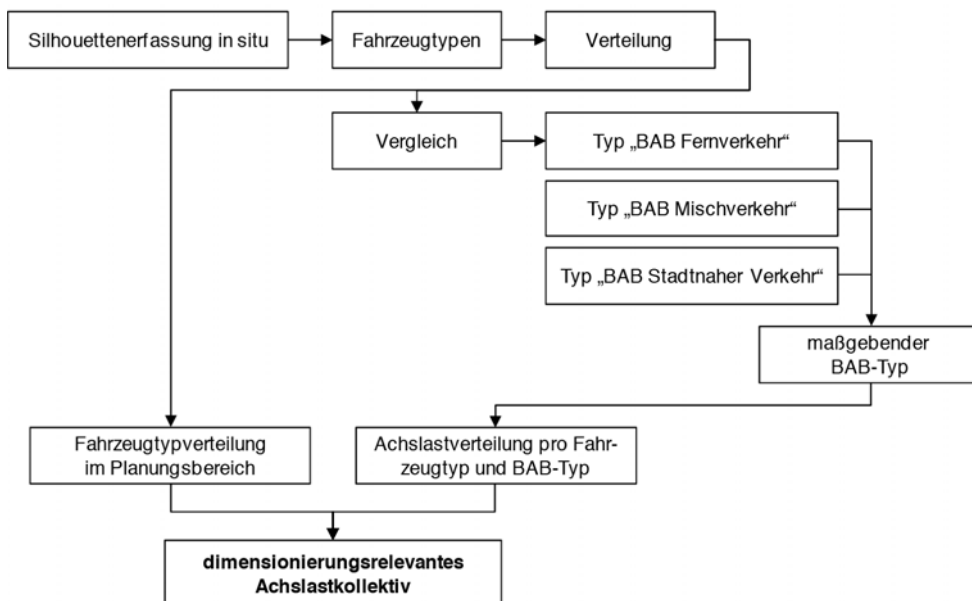


Abbildung 1: Methodik des Verfahrens zur Bestimmung des dimensionierungsrelevanten Achslastkollektivs aus Silhouettenerfassungen

für alle gemessenen Fahrzeugtypen des Schwerververkehrs nach den Technischen Lieferbedingungen für Streckenstationen, Ausgabe 2012 [TLS 2012] auf Bundesautobahnen geschaffen, die je nach Verfügbarkeit aktualisierter Datenmaterials fortlaufend modifiziert werden kann. Für eine konkrete Planungsaufgabe erfolgt zunächst die Erfassung der Struktur des Schwerverkehrs in situ mittels Silhouettenerhebung über einen statistisch relevanten Zeitbereich. Im Ergebnis der nachfolgenden Datenanalyse wird die Verteilung der Fahrzeugtypen bestimmt und drei standardisierten Fahrzeugtypverteilungen gegenübergestellt. Mittels statistischem Signifikanztest erfolgt anschließend die Zuordnung des örtlich erfassten Fahrzeugkollektivs zu einem standardisierten Fahrzeugkollektiv. Zur Berechnung des Achslastkollektivs wird die örtlich gemessene Fahrzeugtypverteilung (ermittelt anhand der Silhouettenverteilung) mit den fahrzeugspezifischen, standardisierten Achslastverteilungen überlagert. Im Ergebnis entsteht das für den betreffenden Straßenabschnitt dimensionierungsrelevante Achslastkollektiv. Dieses ist gekennzeichnet durch eine ortsbezogene, messtechnisch erfasste Fahrzeugtypverteilung in Kombination mit der adäquaten, standardisierten Achslastverteilung der einzelnen Fahrzeugtypen. Für Fahrzeugsilhouetten außerhalb der TLS 2012 bzw. außerhalb des gemessenen Fahrzeugkollektivs auf Bundesautobahnen (z.B. Traktoren, Gelenkbusse) werden Ersatzverfahren zur Bestimmung einer mittleren Achslastverteilung durchgeführt.

Die Dimensionierung des Oberbaus kann somit auf der Grundlage einer spezifischen Achslastverteilung nach Methode 2 der RStO 12 oder rechnerisch nach den RDO Asphalt 09 bzw. den RDO Beton 09 [RDO Beton 09] erfolgen.

3. Datengrundlage

Grundlage der Untersuchungen bilden Achslastmessdaten der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) auf Autobahnen aus den Jahren 1998 [Laffont 1999] und 2004 [Wolf 2010]. An fünf verschiedenen Messquerschnitten in Hessen sowie einem Messquerschnitt in Mecklenburg-Vorpommern wurden neben weiteren Messungen zum Gesamtverkehrsaufkommen auch Einzelfahrzeugdaten des Schwerververkehrs mittels stationärer Achslastmesssysteme erfasst. Die zur Verfügung gestellte Datengrundlage erstreckte sich auf insgesamt 407.383 Fahrzeuge des Schwerververkehrs. Nach Durchführung einer umfassenden Plausibilitätsanalyse verblieben 385.775 Datensätze (Fahrzeuge des Schwerververkehrs) als Untersuchungsgrundlage. Inhalt jedes Datensatzes sind unter anderem Achszahl, Achslasten und Achsabstände sowie der Fahrzeugtyp nach den TLS 2012.

4. Standardisierte verteilungen

4.1 Standardisierte Achslastverteilungen des Gesamtkollektivs Schwerverkehr

In Auswertung der Datenbasis wurden die in Abbildung 2 dargestellten, drei typischen Verteilungen der Achslasten des Schwerververkehrs auf Bundesautobahnen klassifiziert. Sie sind in Form einer Wertetabelle der Häufigkeiten von Achslastklassen in 2-t-Intervallen als standardisierte Verteilungen zur Bestimmung des dimensionierungsrelevanten Achslastkollektivs aus DTV^(SV)-Werten in Anlage 1 der RDO 09 enthalten. Gemäß der jeweils vorwiegenden Verkehrsart wurden die drei Kategorien mit BAB Fernverkehr, BAB Mischverkehr und BAB Stadtnaher Verkehr bezeichnet.

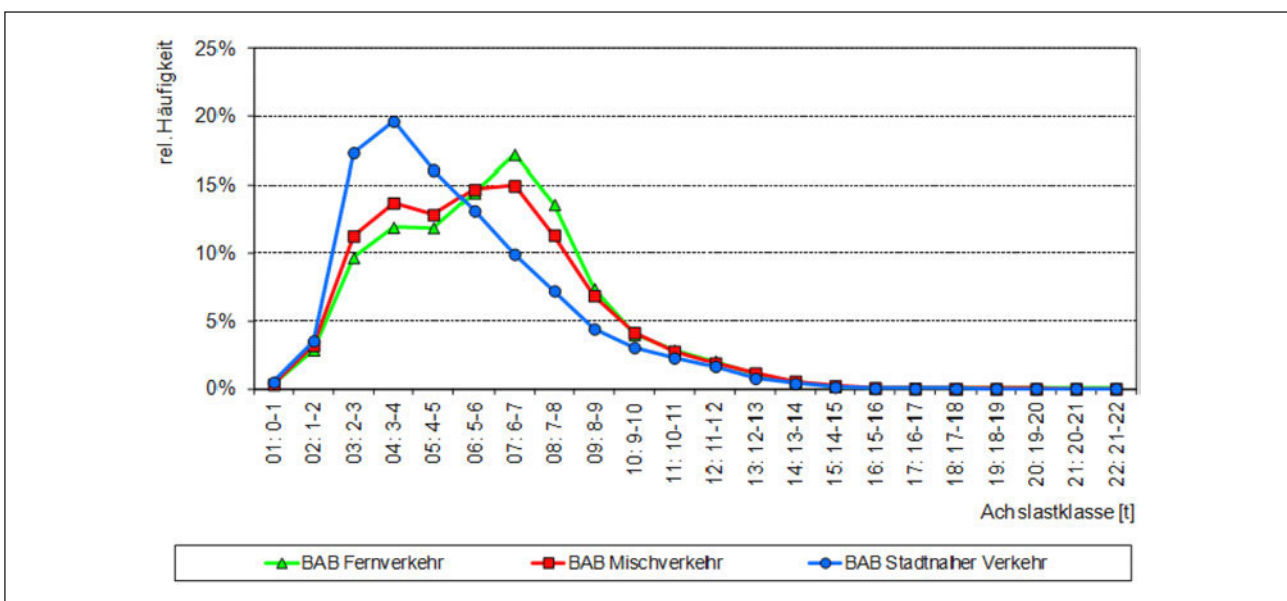


Abbildung 2: Standardisierte Achslastverteilungen auf Bundesautobahnen nach den RDO Asphalt 09

Fahrzeugtypen mit Einsatz überwiegend im Nahverkehr		Fahrzeugtypen mit Einsatz überwiegend im Fernverkehr	
8		34	
9		35	
12		41	
32		42	
33		97	
96		98	
		99	
		105	
		106	
		107	
		120	
		121	

Abbildung 3: Zuordnung der 18 häufigsten Fahrzeugtypen des Schwerververkehrs nach ihrem vorrangigen Einsatzbereich [Wolf 2010]

4.2 Standardisierte Fahrzeugtypverteilungen des Gesamtkollektivs Schwerverkehr

Entsprechend der Ergebnisse nach [Wolf 2010] können die Fahrzeuge des Schwerverkehrs grundsätzlich in Fahrzeugtypen mit überwiegendem Einsatz im Fernver-

kehr und Fahrzeugtypen mit überwiegendem Einsatz im Nahverkehr unterschieden werden. Abbildung 3 zeigt die entsprechende Zuordnung der 18 häufigsten Fahrzeugtypen auf Bundesautobahnen, die sowohl nach [Wolf 2010] als auch nach [Uhlig 2019] einen Anteil von mehr als 99 % des gesamten Schwerverkehrskollektivs umfassten.

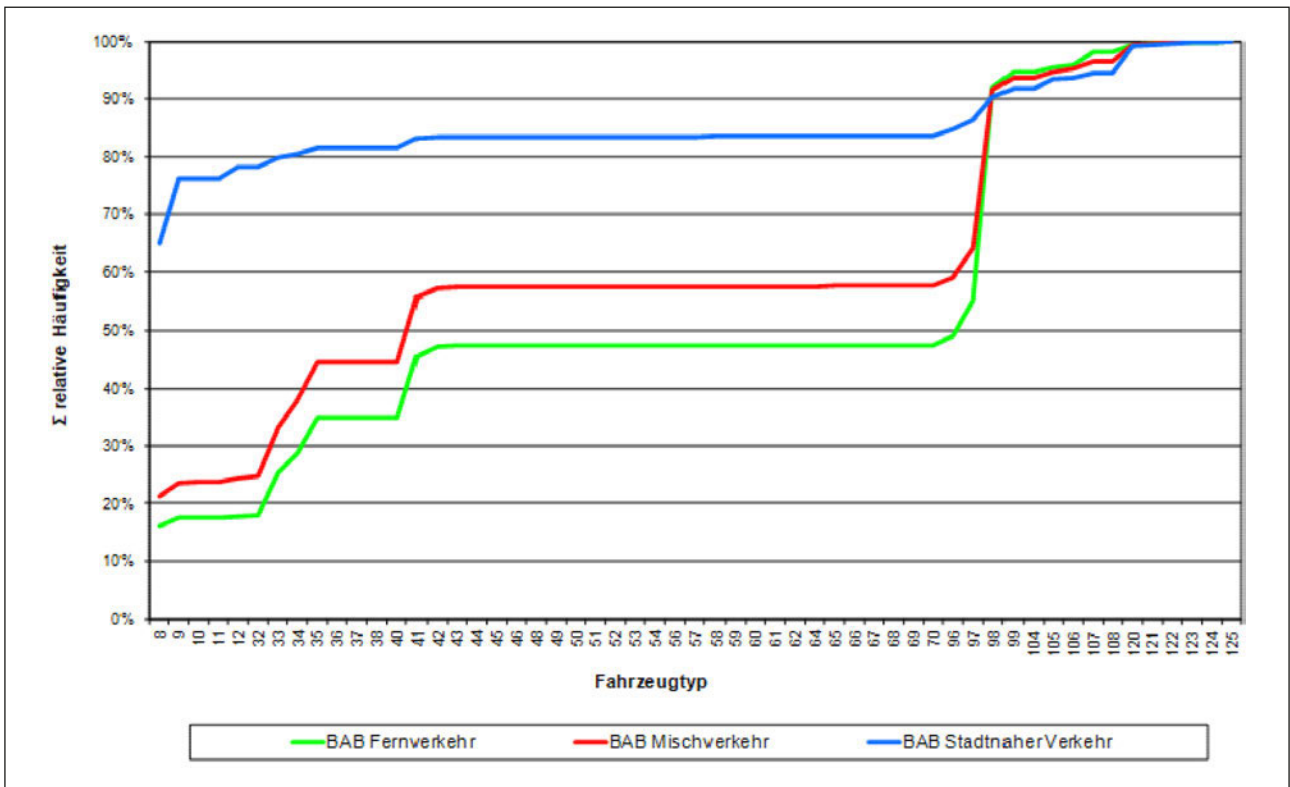


Abbildung 4: Relative Summenhäufigkeiten der Fahrzeugtypen des Schwerverkehrs nach den TLS 2012 auf Bundesautobahnen

Die Analyse der Daten an den untersuchten Messquerschnitten zeigte, dass sich gemäß dem Verhältnis der Häufigkeit von Fahrzeugtypen des Fernverkehrs zur Häufigkeit der Fahrzeugtypen des Nahverkehrs entsprechend typische Verteilungen der Achslasten ergaben. In Abhängigkeit der geographischen Lage des Messquerschnittes (Lage im Streckennetz, Entfernung zu Ballungs- und Wirtschaftszentren) konnten charakteristische Verteilungen der Fahrzeugtypen des Schwerververkehrs festgestellt werden, die wiederum charakteristische Achslastverteilungen bewirkten. Abbildung 4 zeigt die Summenhäufigkeitsfunktionen der Fahrzeugtypverteilungen zu BAB Fernverkehr, BAB Mischverkehr und BAB Stadtnaher Verkehr. Die Analyse der Daten ergab für BAB Fernverkehr einen Anteil an Fahrzeugtypen des Fernverkehrs (Abbildung 3) von mehr als 70 % bis ca. 80 %. Bei BAB Mischverkehr beträgt dieser ca. 60 %, bei BAB Stadtnaher Verkehr lediglich 20 %.

4.3 Standardisierte Achslastverteilungen der Fahrzeugtypen des Schwerververkehrs

Die Analyse der Achslastverteilungen einzelner Fahrzeugtypen in Abhängigkeit des zugeordneten BAB-Typs

nach RDO Asphalt 09 ergab differenzierte Ergebnisse. Im Kollektiv des Schwerververkehrs auf Autobahnen sind sowohl Fahrzeugtypen festzustellen, deren Achslastverteilungen deutliche Unterschiede für BAB Fernverkehr, BAB Mischverkehr und BAB Stadtnaher Verkehr aufweisen (Abbildung 5), als auch Fahrzeugtypen, die nur für einen BAB-Typ eine abweichende Achslastverteilung zeigen (Abbildung 6) oder bei denen keine signifikanten Unterschiede der Achslastverteilungen nach BAB-Typen registriert werden konnten (Abbildung 7). Im Ergebnis der Untersuchungen wurden für alle Fahrzeugtypen standardisierte Achslastverteilungen erstellt und den drei definierten BAB-Typen zugeordnet. Aufgrund der differenziert zu betrachtenden Charakterisierung der Verteilungsfunktionen ergaben sich somit Fahrzeugtypen mit ein, zwei oder drei standardisierten Achslastverteilungen in Abhängigkeit des BAB-Typs. Für Fahrzeugtypen, die nicht in den TLS 2012 definiert sind, wurde jeweils eine identische Achslastverteilung für alle drei BAB-Typen ermittelt.

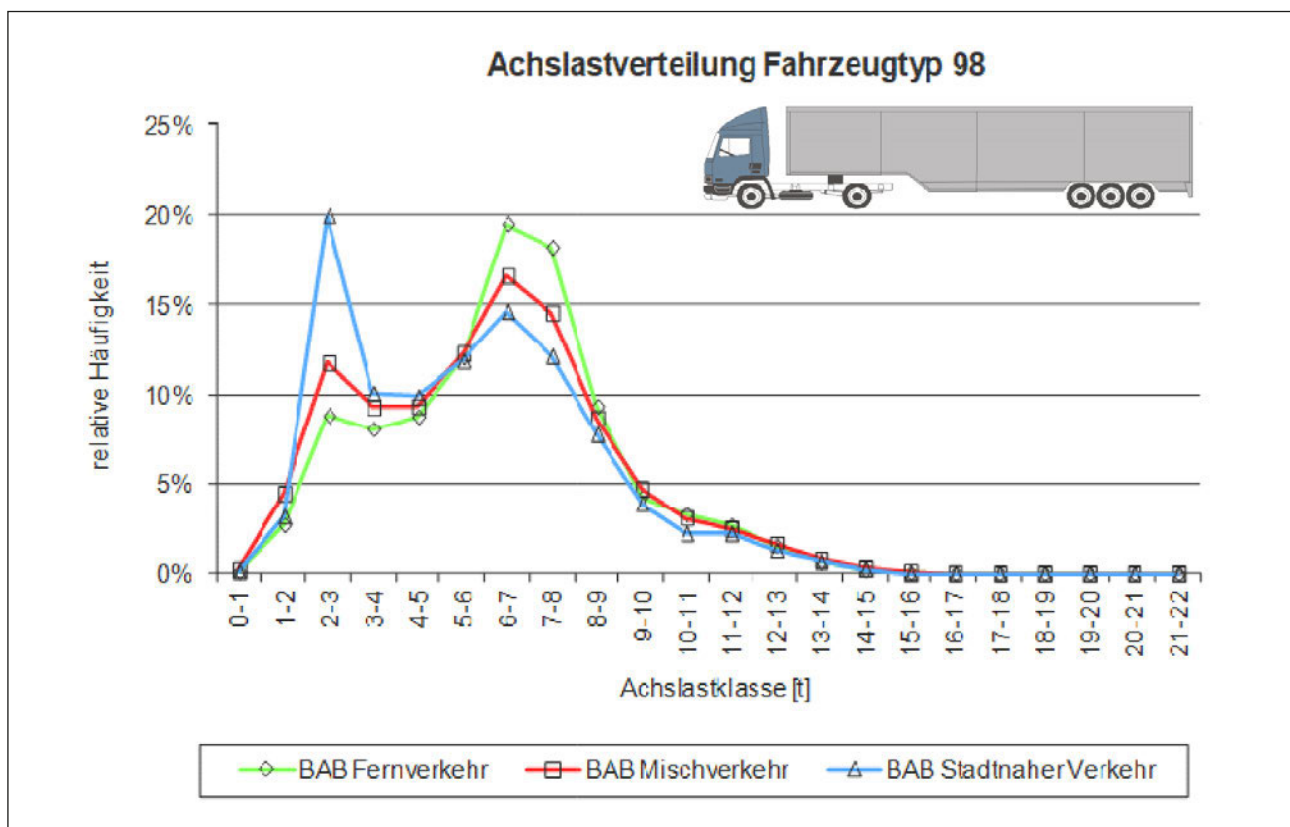


Abbildung 5: Beispiel für einen Fahrzeugtyp mit signifikant unterschiedlichen Achslastverteilungen aller BAB-Typen

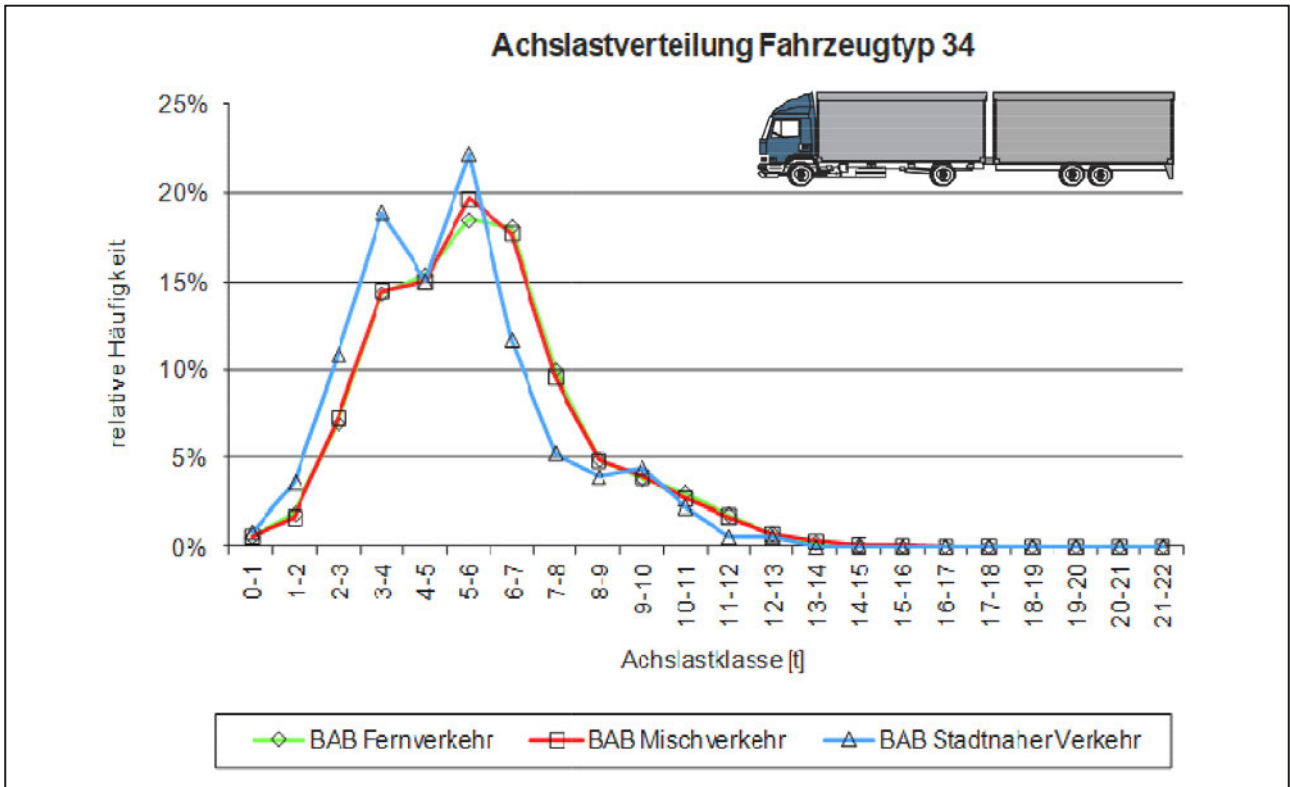


Abbildung 6: Beispiel für einen Fahrzeugtyp mit signifikant unterschiedlicher Achslastverteilung eines BAB-Typs

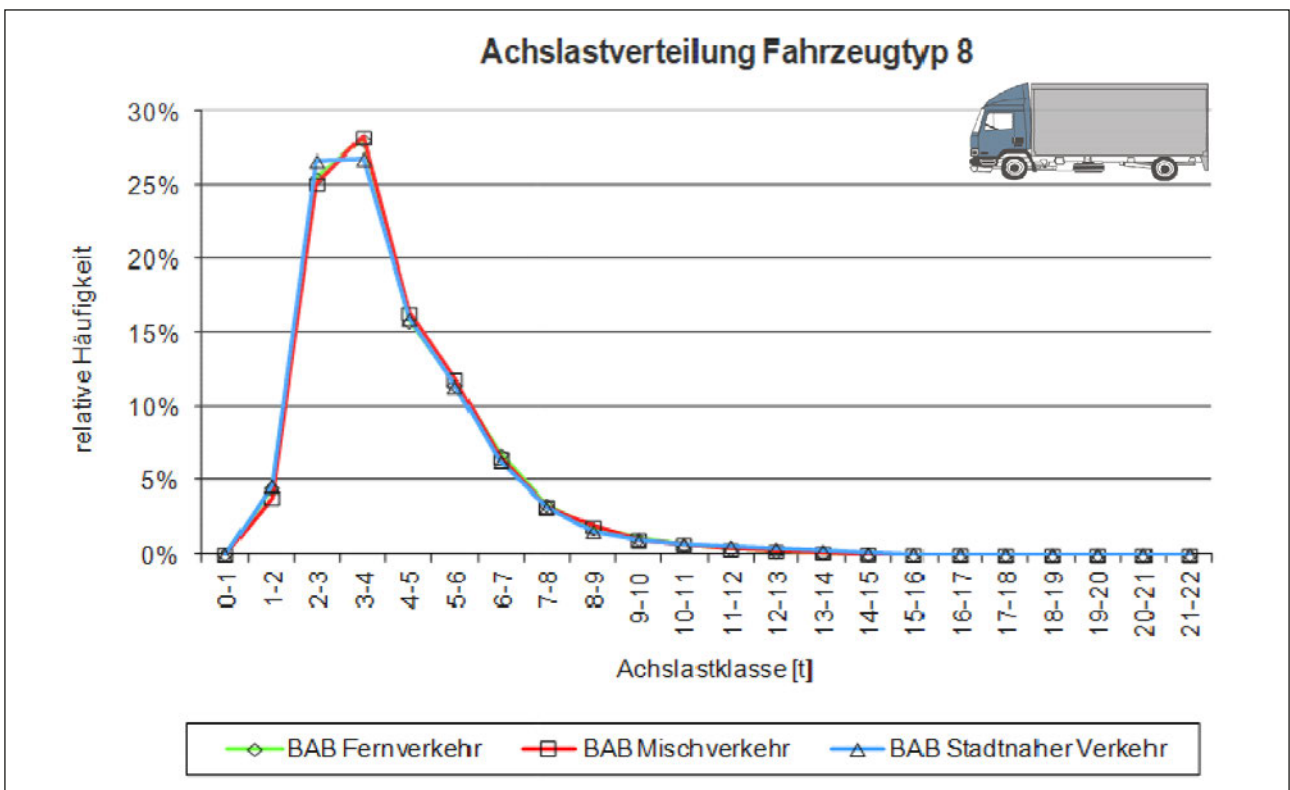


Abbildung 7: Beispiel für einen Fahrzeugtyp ohne signifikante Unterschiede der Achslastverteilungen nach BAB-Typ

5. Erfassung des Fahrzeugtypkollektivs in situ

Die Erhebung des Fahrzeugtypkollektivs im betreffenden Planungsbereich kann beispielsweise per Handfassung mittels vorbereiteter Formulare (Strichlisten) oder per Videoerfassung und anschließender Auswertung am Bildschirm erfolgen. Besonders im nachgeordneten Netz zu Bundesautobahnen ist damit zu rechnen, dass auch Fahrzeugsilhouetten des Schwerverkehrs auftreten können, die in den TLS 2012 nicht durch spezielle Codierung definiert sind (z.B. Traktoren mit oder ohne Anhänger, Gelenkbusse). Insofern sind Formulare oder Datenbankstrukturen entsprechend offen zu halten und nach der Erhebung zu konkretisieren.

Die Festlegung der Zähltage und Zählzeiten kann in Anlehnung an die Regelungen des Handbuchs für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen [HBS 2015] erfolgen. Für Kurzzeitzählungen sollten demnach mindestens zwei 4-Stunden-Zeitbereiche an einem Vormittag und Nachmittag (möglichst Dienstag, Mittwoch oder Donnerstag sowie außerhalb der Wintermonate und Ferienzeiten) gemessen werden, um die Spitzenverkehrszeiten einzuschließen. Sofern mit zufallsbedingten Schwankungen der Fahrzeugtypen des Schwerverkehrs zu rechnen ist, werden Erhebungen an mehreren Tagen erforderlich. Im Rahmen der Erfassung an ausgewählten Bundes- und Staatsstraßen in Sachsen wurden Videoaufzeichnungen an 11 verschiedenen Messstellen realisiert. Die anschließende Auswertung und Dokumentation der bis zu 56 verschiedenen Fahrzeugtypen erfolgte in 30-Minuten-Intervallen. Tendenzielle, tageszeitabhängige Änderungen der Zusammensetzung des Schwerverkehrskollektivs konnten nicht festgestellt werden. Ebenso wenig abzuleiten waren signifikante Unterschiede der Zusammensetzung des Schwerverkehrs in Abhängigkeit der Straßenklassen Bundesstraße und Staatsstraße [Hennig 2009].

6. Ermittlung des äquivalenten Fahrzeugtypkollektivs

Die an den 11 Messstellen erfassten Fahrzeugtypkollektive wurden den standardisierten Fahrzeugtypverteilungen BAB Fernverkehr, BAB Mischverkehr und BAB Stadtnaher Verkehr nach Abbildung 4 gegenübergestellt.

Mittels des Chi-Quadrat-Tests wurde die empirische Verteilung gegen jede der 3 Standardverteilungen geprüft und anschließend jenem Typus Standardverteilung zugeordnet, der den geringsten Wert der Prüfgröße aufweist [Uhlig 2019]. Im Ergebnis der Berechnungen konnten den Messstellen die in Tabelle 1 ausgewiesenen, maßgebenden BAB-Typen zugeordnet werden.

Tabelle 1: Messstellen und maßgebende BAB-Typen der Fahrzeuge des Schwerverkehrs

Messstelle		maßgebender BAB-Typ
Nr.	Bezeichnung	
1	B 169 Hainichen	Mischverkehr
2	B 173 Chemnitz	Stadtnaher Verkehr
3	B 175 Rochlitz	Stadtnaher Verkehr
4	B 169 Döbeln	Mischverkehr
5	B 101 Freiberg	Mischverkehr
6	S 36 Minkwitz	Mischverkehr
7	S 38 Großpösna	Mischverkehr
8	S 24 Sitzenroda	Mischverkehr
9	S 242 Hartmannsdorf	Stadtnaher Verkehr
10	S 243 Röhrsdorf	Mischverkehr
11	S 286 Mülsen	Mischverkehr

7. Dimensionierungsrelevantes Achslastkollektiv

Die Ermittlung des dimensionierungsrelevanten Achslastkollektivs erfolgte durch Überlagerung des im Planungsbereich gemessenen Fahrzeugtypkollektivs nach Abschnitt 5 mit den fahrzeugtypspezifischen Achslastverteilungen des maßgebenden BAB-Typs nach Abschnitt 6. In Abbildung 8 ist das Ergebnis in Form eines Histogramms zur Achslastverteilung des dimensionierungsrelevanten Achslastkollektivs beispielhaft für eine Messstelle dargestellt. Die Differenzen zur standardisierten Achslastverteilung des zugehörigen, maßgebenden BAB-Typs (hier BAB Stadtnaher Verkehr) resultieren aus der an der betreffenden Messstelle abweichenden Verteilung der Fahrzeugtypen.

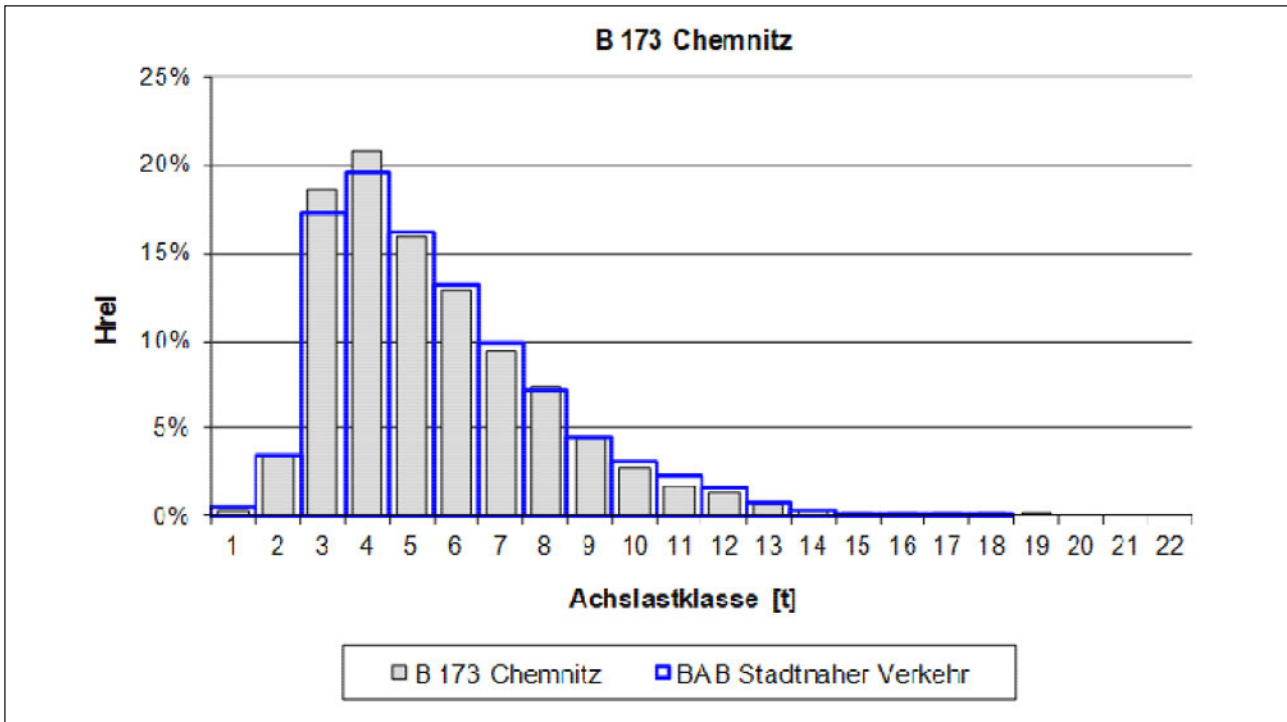


Abbildung 8: Dimensionierungsrelevantes Achslastkollektiv mit Gegenüberstellung der standardisierten Verteilung des maßgebenden BAB-Typs

8. Auswirkungen des Verfahrens

8.1 Achszahlfaktor

Auf der Grundlage der in situ erfassten Fahrzeugtypverteilung wurde für jede Messstelle der entsprechende Achszahlfaktor ermittelt. Aus Tabelle 2 ist ersichtlich, dass im Vergleich zu den Achszahlfaktoren nach Tabelle A 1.1 der RStO

12 teilweise signifikante Differenzen auftreten (SV-Anteil der S-Straßen $\leq 4\%$). Diese können sowohl deutlich höher als auch deutlich niedriger als die Werte nach den RStO 12 (einschließlich Korrektur vom Juni 2020) liegen, das Maximum beträgt 25 % Abweichung (hier: Unterschreitung). Der Achszahlfaktor geht nach Methode 1 der RStO 12 als linearer Faktor in die Berechnung der dimensionierungsrelevanten Beanspruchung B ein, womit sich entsprechende Auswirkungen im gleichen Verhältnis auf die Höhe von B niederschlagen.

Tabelle 2: Vergleich der Achszahlfaktoren f_A

Messstelle		f_A nach RStO 12	f_A berechnet	Δ relativ
Nr.	Bezeichnung			
1	B 169 Hainichen	4,00	3,83	-4%
2	B 173 Chemnitz	4,00	3,00	-25%
3	B 175 Rochlitz	4,00	3,05	-24%
4	B 169 Döbeln	4,00	3,83	-4%
5	B 101 Freiberg	4,00	3,17	-21%
6	S 36 Minkwitz	3,30	3,15	-5%
7	S 38 Großpösna	3,30	3,49	6%
8	S 24 Sitzenroda	3,30	3,75	14%
9	S 242 Hartmannsdorf	3,30	2,81	-15%
10	S 243 Röhrsdorf	3,30	3,15	-5%
11	S 286 Mülsen	3,30	3,68	12%

Tabelle 3: Vergleich von B und den zuzuordnenden Belastungsklassen

Messstelle		f ₁	f ₂	f ₃	f _z	RStO 12 Methode 1.2		RStO 12 Methode 2.2		Δ rel. B-Zahl
Nr.	Bezeichnung					B-Zahl	Bk	B-Zahl	Bk	
1	B 169 Hainichen	0,50	1,40	1,02	1,352	5.476.528	Bk10	6.097.225	Bk10	11%
2	B 173 Chemnitz	0,50	1,10	1,02	1,352	2.865.888	Bk3,2	2.060.062	Bk3,2	-28%
3	B 175 Rochlitz	0,50	1,40	1,14	1,352	4.005.714	Bk10	3.617.143	Bk10	-10%
4	B 169 Döbeln	0,50	1,10	1,00	1,352	14.895.453	Bk32	17.142.583	Bk32	15%
5	B 101 Freiberg	0,50	1,40	1,00	1,352	10.416.970	Bk32	8.638.025	Bk10	-17%
6	S 36 Minkwitz	0,50	1,40	1,09	1,159	2.919.042	Bk3,2	3.118.956	Bk3,2	7%
7	S 38 Großpösna	0,50	1,00	1,00	1,159	2.698.257	Bk3,2	3.549.882	Bk10	32%
8	S 24 Sitzenroda	0,50	1,40	1,00	1,159	1.740.376	Bk1,8	2.542.622	Bk3,2	46%
9	S 242 Hartmannsdorf	0,50	1,10	1,00	1,159	4.022.812	Bk10	3.543.231	Bk10	-12%
10	S 243 Röhrsdorf	0,50	1,10	1,00	1,159	3.524.598	Bk10	3.637.228	Bk10	3%
11	S 286 Mülsen	0,50	1,10	1,00	1,159	8.745.244	Bk10	14.801.499	Bk32	69%

8.2 Dimensionierungsrelevante Beanspruchung B

Zur vergleichenden Analyse der Auswirkungen des entwickelten Verfahrens wurde B mit konstanten Faktoren nach Methode 1.2 (Grundlage sind $DTV^{(SV)}$ -Werte) und Methode 2.2 (Grundlage sind dimensionierungsrelevante Achslastkollektive) der RStO 12 ermittelt und gegenübergestellt. Die Ergebnisse in Tabelle 3 weisen größtenteils signifikante Unterschiede in der Höhe von B aus – mit Werten nach Methode 2.2 sowohl oberhalb als auch unterhalb der Werte nach Methode 1.2. Das Maximum ergab sich mit einem um 69 % höheren Wert an Messstelle 11. Die deutlichen Differenzen zwischen den verschiedenen berechneten Werten B führen in vier Fällen zu unterschiedlichen Belastungsklassen nach Methode 1.2 und 2.2 (rot markierte Werte).

9. Zusammenfassung und Empfehlung

Für Straßenklassen unterhalb von Bundesautobahnen stehen in der Regel keine detaillierten Achslastdaten zur Verfügung. Bei der Planung von Straßenbaumaßnahmen erfolgt die Dimensionierung des Oberbaus daher zum überwiegenden Teil nach Methode 1 der RStO 12. Bezogen auf den Einflussfaktor Fahrzeug (in aller Regel Schwerverkehr) weist somit lediglich die rein quantitative Eingangsgröße $DTV^{(SV)}$ einen unmittelbaren, lokalen Bezug zum Planungsbereich auf. Die zur Ermittlung der Beanspruchungswirkung des Schwerverkehrs erforderlichen qualitativen Größen Achszahl und Achslast werden in den RStO 12 durch den mittleren Achszahlfaktor f_A sowie den mittleren Lastkollektivquotient q_{Bm} berücksichtigt. Für beide Einflussgrößen sind in Abhängigkeit der Straßenklasse lediglich jeweils drei unterschiedliche, deutschlandweit einheitlich geltende Werte verfügbar. Insofern ist davon auszugehen, dass die im jeweiligen Planungsbereich tatsächlich auftretenden Beanspruchungs-

größen aus Schwerverkehr mitunter deutlich von den standardisierten Ersatzwerten der RStO 12 abweichen.

Die hier beschriebene Methode des neuen Verfahrens zur Ermittlung des dimensionierungsrelevanten Achslastkollektivs mit Hilfe einer Silhouettenerfassung berücksichtigt die spezifische, örtliche Zusammensetzung des Schwerverkehrs hinsichtlich der Verteilung auftretender Fahrzeugtypen. Diese wird auf der Grundlage von Stichprobenerhebungen in situ ermittelt und standardisierten Verteilungen gegenübergestellt. In Abhängigkeit der für den Planungsbereich maßgebenden Art des Schwerverkehrs wird jedem in situ gezählten Fahrzeugtyp eine standardisierte, fahrzeugtypspezifische Achslastverteilung zugeordnet. Die standardisierten, fahrzeugtypabhängigen Achslastverteilungen beruhen auf Datenanalysen von Achslastmessungen auf Bundesautobahnen. Es ist zu erwarten, dass die Fahrzeuge auf Bundesautobahnen im Mittel einen höheren Beladungsgrad haben als auf anderen Straßenklassen, weshalb die Berechnung von B bei Verwendung der fahrzeugtypabhängigen Achslastverteilungen, ermittelt aus den Messdaten von Bundesautobahnen, auf der „sicheren Seite“ liegt. Durch Überlagerung der spezifischen Achslastverteilung mit der relativen Häufigkeit jedes in situ erfassten Fahrzeugtyps ermittelt sich in Summe das dimensionierungsrelevante Achslastkollektiv für den zu betrachtenden Streckenabschnitt. Die Dimensionierung des Oberbaus kann somit unter Anwendung von Methode 2 der RStO 12 erfolgen, wodurch ein deutlich realitätsnäheres Ergebnis zu erwarten ist als unter Anwendung von Methode 1.

Die praktische Anwendungsmöglichkeit des Verfahrens sowie die Auswirkungen auf die ermittelte Größe der Belastungszahl nach den RStO 12 wurden an 11 verschiedenen Streckenabschnitten auf Bundes- und Staatsstraßen in Sachsen nachgewiesen. In 9 Fällen ergaben sich signifikante Abweichungen zwischen den nach Methode 1 und Methode 2 der RStO 12 berechneten dimensionie-

rungsrelevanten Beanspruchungen B, was in 4 Fällen zu unterschiedlichen Belastungsklassen führte. Es waren sowohl höhere als auch niedrigere Werte von B nach Methode 2 im Vergleich zu Methode 1 zu verzeichnen, das Maximum der Differenz betrug 69 %.

Im Vergleich zu Bundesautobahnen ist im nachgeordneten Netz von einer größeren Diversität eingesetzter Fahrzeugtypen des Schwerverkehrs mit lokal unterschiedlich hohen Anteilen im Gesamtkollektiv auszugehen. Die Anwendung der in den RStO 12 ausgewiesenen, mittleren Werte für Achszahl f_A und Lastkollektivquotient q_{Bm} bergen daher eine relativ hohe Wahrscheinlichkeit der signifikanten Abweichung vom örtlich auftretenden Belastungsniveau durch den Schwerverkehr in sich. Diesem Umstand kann mit dem beschriebenen, neu entwickelten Verfahren zur Ermittlung des dimensionierungsrelevanten Achslastkollektivs entgegengewirkt werden. Durch seine Anwendung ist ein deutlich realitätsnäheres, den örtlichen Bedingungen besser angepasstes Ergebnis der Ermittlung von B und damit der Dimensionierung des Schichtenaufbaus zu erwarten. Daraus abzuleiten ist ein enorm hohes, volkswirtschaftliches Potenzial durch Vermeidung von zu hoch, aber auch zu niedrig ermittelten Belastungsklassen und damit des Ausbaustandards des Oberbaus von Straßen.

Das beschriebene Verfahren wird neben weiteren Verfahren [BASt 2019] Bestandteil des in Bearbeitung befindlichen Arbeitspapiers „Eingangsgrößen für die Dimensionierung und Bewertung der strukturellen Substanz“ der FGSV Köln sein. Die Veröffentlichung des Arbeitspapiers ist für 2021 geplant.

Quellen

- [1] [BASt 2019]
Forschungsprojekt FE 04.0285/2014/ORB „Aktualisierung und Anpassung der Straßenbelastungsdaten für die Dimensionierung“, Bundesanstalt für Straßenwesen Bergisch Gladbach, 2019
- [2] [HBS 2015]
Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS), Ausgabe 2015. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV Verlag, Köln, 2015
- [3] [Hennig 2009]
Hennig, P.: Untersuchungen zur Ermittlung von Achslastkollektiven für das nachgeordnete Straßennetz, Diplomarbeit, Universität Leipzig, 2009
- [4] [Laffont 1999]
Laffont, S.; Schmidt, G.: Aufbau eines Teilnetzes zur Achslasterfassung in Hessen - Phase 2 (Probetrieb). Forschung Straßenbau und Verkehrstechnik, Heft 775, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, 1999
- [5] [RDO Asphalt 09]
Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaues von Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht, Ausgabe 2009 (RDO Asphalt 09). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV Verlag, Köln, 2009
- [6] [RDO Beton 09]
Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung von Betondecken im Oberbau von Verkehrsflächen, Ausgabe 2009 (RDO Beton 09). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV Verlag, Köln, 2009
- [7] [RStO 12]
Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen, Ausgabe 2012 (RStO 12). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV Verlag, Köln, 2001, einschließlich Korrektur vom Juni 2020
- [8] [Sieber 2013]
Sieber, R.; Wellner, F.: Die neuen “Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen”, Ausgabe 2012 (RStO 12). Straße und Autobahn, Heft 8-2013, Kirschbaumverlag Bonn, 594-600
- [9] [TLS 2012]
Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen, Ausgabe 2012 (TLS 2012). Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Berlin, 2012
- [10] [Uhlig 2019]
Uhlig, W.: Grundlagen für Lastannahmen zur Dimensionierung von Straßenbefestigungen, Dissertation, Technische Universität Dresden, Fakultät Bauingenieurwesen, Dresden, 2019
<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa2-337040>
- [11] [Wolf 2010]
Wolf, A.: Modell zur straßenbautechnischen Analyse der durch den Schwerverkehr induzierten Beanspruchung des BAB-Netzes. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft S 61, Bundesanstalt für Straßenwesen Bergisch Gladbach, 2010

Dimensionierung und Qualitätsüberwachung im Straßenbau zur Sicherung der geplanten Lebensdauer bei ÖPP Projekten

Dipl.-Ing. Gregor Benning

HOCHTIEF PPP Solutions GmbH; 45133 Essen

Zusammenfassung

Die Erfahrungen, die die HOCHTIEF PPPS GmbH bei der Planung und Ausführung von ÖPP Projekten im Straßenbau in Bezug auf die Qualitätsüberwachung gesammelt hat, werden dargestellt. Dabei liegt ein wesentlicher Fokus auf die Unterschiede bei einer Ausführung in Beton- oder Asphaltbauweise. Ausgehend von den unterschiedlichen Ansätzen zur Dimensionierung und deren wesentlichen Eingangsparameter wird beschrieben, wie diese bei Prüfungen zur Kontrolle der hergestellten Leistung verifiziert werden. Abschließend erfolgt eine Gegenüberstellung der damit verbundenen Kosten für diese besondere Art der Kontrollprüfung.

1. Ausgangslage

Die Risikoübernahme durch den Auftragnehmer bei einem ÖPP Projekt unterscheidet sich in vielen Aspekten von der bisher üblichen Risikoverteilung in VOB Verträgen. Einer der wesentlichsten Unterschiede dabei ist die Verlängerung der Gewährleistungspflicht.

Der Auftragnehmer übernimmt die Verantwortung bei einem ÖPP Auftrag bezüglich seiner Gewährleistungspflicht nicht für 5 Jahre gemäß ZTV Asphalt [26] bzw. ZTV Beton [22], sondern für die Dauer der Vertragslaufzeit von in der Regel 30 Jahren. Hierbei handelt es sich nicht um eine Gewährleistung im üblichen Sinn, sondern um Schuldung eines definierten Zustands des Straßenoberbaus über die gesamte Vertragslaufzeit. Dieser geschuldete Zustand ist über messbare Größen in Bezug auf Ebenheit, Griffigkeit und Anzahl und Ausmaß von Schadstellen definiert. Alle zur Sicherstellung dieses geschuldeten Zustands erforderlichen Maßnahmen von Instandhaltungs- über Instandsetzungs- bis hin zu Erneuerungsmaßnahmen sind durch den Auftragnehmer auszuführen, und sind mit der zu Vertragsbeginn vereinbarten Vergütung pauschal abgegolten.

2. Grundlegende Strategie

Da jeder Eingriff in den Straßenverkehr für erforderlich werdende Maßnahmen durch Verfügbarkeitsabzüge pönalisiert ist, hat es sich als eine optimale Strategie für den Straßenoberbau herausgestellt, dass Betonoberbauten so geplant werden, dass keine Erneuerungsmaßnahme der Betondecke während der Vertragslaufzeit erforderlich wird. Bei einem Oberbau aus Asphalt ist die Asphalttragschicht so herzustellen, dass diese keine Erneuerungsmaßnahmen benötigt.

3. Dimensionierung Oberbau

Damit der Fahrbahnaufbau mit der erforderlichen Widerstandsfähigkeit hergestellt werden kann, wie sie für die zuvor beschriebene grundlegende Strategie benötigt wird, wird eine rechnerische Dimensionierung des Fahrbahnoberbaus unumgänglich. Dies insbesondere, da die erwarteten Verkehrsbelastungen in den ÖPP Strecken üblicherweise oberhalb einer B-Zahl von 100 Mio. äquivalenten 10 Tonnen Achsübergängen liegt, ab der in der RStO [21] empfohlen wird, eine rechnerische Dimensionierung durchzuführen.

3.1 Verkehrsbelastung

Damit die Verkehrsbelastung über den gesamten Vertragszeitraum in der Dimensionierung möglichst zutreffend berücksichtigt werden kann, wird eine Aktualisierung der in den Planfeststellungsunterlagen enthaltenen Verkehrsstudie durchgeführt.

In dieser Aktualisierung werden die Entwicklungen zwischen Zeitpunkt der Erstellung der Verkehrsstudie für die Planfeststellung des Ausbauabschnitts und der Durchführung der Dimensionierungsberechnung eingearbeitet. Auch werden aktuelle Erkenntnisse über Planungen der Erweiterungen im Netz sowie Ansiedlungen von möglichen Gewerbegebieten im unmittelbarem Umfeld des geplanten Streckenausbaus berücksichtigt.

3.2 Klimatische Belastung

Beim Ansatz der klimatischen Belastungen wird auf die Vorgaben des gültigen Regelwerks zurückgegriffen.

3.3 Materialeigenschaften

Neben der Verkehrsbelastung haben auf das Dimensionierungsergebnis auch die Materialeigenschaften einen wesentlichen Einfluss. Es ist zu klären, welche Rohstoffe für das Projekt zur Verfügung stehen und es ist ein Konzept für die beim Rückbau anfallenden Ausbaustoffe zu entwickeln. Dazu werden entweder Erstprüfungen mit den Baustoffen durchgeführt, die in der Ausführung Verwendung finden werden, oder es wird auf vorhandene Erfahrungswerte zurückgegriffen, die mit hoher Wahrscheinlichkeit erreicht werden können.

3.4 Ergebnis der Dimensionierung

Das Ergebnis dieser Untersuchungen und Berechnungen, die in der Angebotsphase eines ÖPP Projekts durchgeführt werden, sind mögliche Aufbaustärken für eine Fahrbahn aus Beton und aus Asphalt, die erforderlich sind, um der grundlegenden Strategie gerecht zu werden.

4. Lebenszykluskostenvergleich

Die Entscheidung, welcher Oberbau dem Angebot zugrunde gelegt wird, erfolgt auf Basis eines Lebenszykluskostenvergleichs der möglichen Alternativen.

Dabei werden

- die Herstellungskosten (Abhängig im Wesentlichen von der Verfügbarkeit der Rohstoffe, Umfang der möglichen/erforderlichen Wiederverwendung von Ausbaustoffen, den Transportkosten der Rohstoffe zur Mischanlage, den vorhandenen Mischanlagen in der Projektumgebung oder der Notwendigkeit der Verwendung mobiler Mischanlagen),
- die Erhaltungskosten (für die Betonbauweise abhängig von Kosten, Umfang und Häufigkeit der Fugenerneuerungen, Kantensanierungen, Ersatz von Einzelplatten, griffigkeitsverbessernden Maßnahmen; (für die Asphaltbauweise abhängig von der Erneuerung Deckschicht (auch mehrmals während der Vertragslaufzeit), Erneuerung der Binderschicht und Sanierung von Arbeitsnähten und Flickstellen)
- die Verfügbarkeitsabzüge (Abhängig von Dauer, Zeitpunkt und betroffenen Fahrspuren der erforderlichen Erhaltungsmaßnahmen)

ermittelt und für die untersuchten Varianten gegenübergestellt. Die Variante mit dem geringsten Nettobarwert der Kosten über den Vertragszeitraum wird der Vorzug für die Umsetzung im ÖPP Projekt gegeben.

5. Umsetzung

Auf Basis der grundlegenden Oberbaustrategien für die Bauweisen werden die erforderlich werdenden Erhaltungsmaßnahmen ermittelt und im Angebotspreis be-

rücksichtigt. Maßnahmen die nicht in dieser Erhaltungsplanung enthalten sind, müssen daher im Rahmen des ÖPP Vertragsmodells vom Auftragnehmer aus eigener Tasche finanziert werden.

In der Projektumsetzung liegt daher der besondere Fokus des Auftragnehmers darauf, dass durch die Qualität der Ausführung sichergestellt wird, dass die der Kalkulation zugrunde gelegte Erhaltungsplanung realisiert werden kann.

Es ist dabei aber nicht zwangsläufig erforderlich, dass der in der Angebotsphase ermittelte Aufbau umgesetzt wird. Ergeben sich zwischen Angebotsabgabe und Bauausführung äußere Einflüsse, die das Ergebnis der Lebenszykluskostenanalyse durch eine geänderte Bauweise weiter optimieren lassen, ist eine Umsetzung dieser Optimierung unter den folgenden Randbedingungen möglich.

- Die gewählte geänderte Oberbaustrategie muss durch eine Dimensionierungsberechnung nachgewiesen werden.
- Änderungen innerhalb einer Oberbaubauweise haben keinen Einfluss auf die Erhaltungskosten (Änderung Zeile RStO [21], Schichtdicke Asphalttragschicht / Betondecke)
- Änderung der Oberbauweise führen zwangsläufig zu einer Änderung der Erhaltungs- und Verfügbarkeitskosten. Anfallende Mehrkosten müssen durch den bauausführenden Teil des Auftragnehmers dem betreibenden Teil des Auftragnehmers aus den Einsparungen aus der Änderung erstattet werden.
- Der Auftraggeber muss der Optimierung zustimmen

Liegt die zur Ausführung kommende Variante endgültig fest, sind vor Bauausführung alle Einflüsse auf die erforderliche Nutzungsdauer des Oberbaus zu verifizieren. Konnten in der Angebotsphase nur Annahmen bzgl. der erreichbaren Materialeigenschaften getroffen werden, oder wurde der Aufbau gegenüber der Angebotsphase modifiziert, sind weitere Erstprüfungen zur Absicherung der Dimensionierungsannahmen mit den in der Bauausführung zur Verwendung kommenden Baustoffen erforderlich.

Weitere Sicherheit, welche Materialeigenschaften tatsächlich nach Fertigstellung vorgefunden werden, kann durch Ausführung von Testfelder gewonnen werden, da in diesen Testfeldern die Einbaubedingungen denen der eigentlichen Bauausführung entsprechen.

6. Oberbau aus Beton

In Bezug auf den Betonoberbau hat die HOCHTIEF PPS GmbH Erfahrungen mit zwei unterschiedlichen Herangehensweisen gesammelt.



Betoneinbau © ViA VSN

7. Ansatz TU München

Erfahrungen mit der Einhaltung einer Anforderung an die Spaltzugfestigkeit waren nach Einführung der RDO Beton [23] bei den ausführenden Firmen noch nicht vorhanden. Eine vertragliche Regelung, in der ein bestimmter Spaltzugfestigkeitswert festgelegt wird, konnte deshalb in einigen Projekten nicht getroffen werden.

7.1 Grundlagen und Dimensionierung

Der in diesen Projekten gefundene Kompromiss zwischen dem Bedürfnis der ausführenden Firmen nach einer vertraglichen Regelung im Rahmen ihrer vorliegenden Erfahrungen und dem Bedürfnis der Betreiberseite nach einer Betonfahrbahn, die rechnerisch nachgewiesen die erwartete Verkehrsbelastung ertragen kann war ein Verfahren, das der Dissertation von Herrn Prof. W. Eger zugrunde liegt [1]. In diesem Verfahren werden die einwirkenden Beanspruchungen (Verkehr, Temperatur) und die materialseitigen Widerstände (Deckendicke, Biegezugfestigkeit, Auflagerungsbedingung) mit jeweils aus Untersuchungen an bestehenden Betonstrecken ermittelten statistischen Schwankungen der wesentlichen Einflussparameter in die Berechnung eingebracht und daraus die Versagenswahrscheinlichkeit des untersuchten Betonoberbaus unter der vorgegebenen Verkehrsbelastung ermittelt. Grundzüge dieses Verfahrens wurden durch Herrn Prof. Eger u.a. auch auf der Betonstraßentagung 2013 in Karlsruhe erläutert [2].

Der Untersuchung nach diesem Verfahren wurden von der Betreiberseite die erwartete Verkehrsbelastung, eine Plattenbreite von 4,25m im Hauptfahrstreifen, sowie die maximal akzeptable Ausfallrate der Einzelplatten von 5% vorgegeben. Eine Auflagerung auf einer HGT wurde von der ausführenden Seite zur Vorgabe gemacht, da diese unter den projektspezifischen Randbedingungen aus baupraktischer Sicht zu bevorzugen war.

Basierend auf diesen Vorgaben ergab sich eine erforderliche Plattendicke von 29,0 cm und eine Biegezugfestigkeit von 6,5 N/mm² nach alter Prüfnorm (Einzellast). Die Angabe der erforderlichen Biegezugfestigkeit erfolgt nach alter Norm, da bei der Entwicklung dieses Verfahrens dieser Stand der Normung zugrunde gelegen hat. Nach aktueller Norm (Doppellast) ist umgerechnet daher eine Biegezugfestigkeit von 5,7 N/mm² einzuhalten.

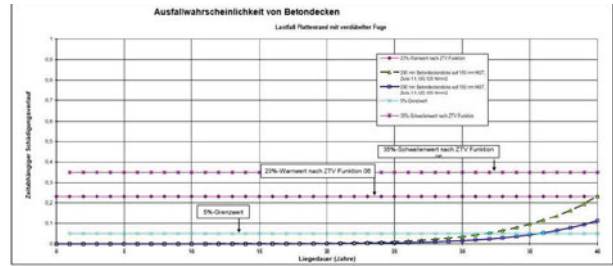


Bild: Bauklasse SV, Tafel 2, Zeile 1.1 der RSO, Betondecke auf HGT - im Vergleich, Plattenbreite = 4250 mm
 Biegezugfestigkeit des Betons = 6,5 N/mm², E_{t,10} = 150 N/mm² und 6,5 N/mm² bei E_{t,10} = 120 N/mm² Variationskoeffizient für die Beanspruchbarkeit jeweils 9,0%.

Ergebnis Dimensionierung [3]

Die Ergebnisse dieser Dimensionierungsberechnung zeigen, dass die geforderte geringe Plattenausfallrate unter den gegebenen Randbedingungen nicht mit einer Ausführung nach gültigem Regelwerk zu erreichen ist. Denn sowohl die Betondeckendicke liegt mit 29,0 cm über den Anforderungen gemäß RStO [21] von 27,0 cm, als auch die erforderliche Biegezugfestigkeit mit 5,7 N/mm² über den Anforderungen gemäß TL Beton-StB mit 4,5 N/mm² [25].

7.2 Korrelation Druck- Biegezugfestigkeit

Das Ausschneiden der benötigten Probekörper mit den Abmessungen 700mm x 150mm x 150mm aus einer fertigen Betondecke wäre der Dauerhaftigkeit dieser Fahrbahn nicht besonders zuträglich. Daher ist die Bestimmung der Biegezugfestigkeit, auf der dieses Verfahren beruht, sinnvoll nur in einer Erstprüfung im Labor möglich.

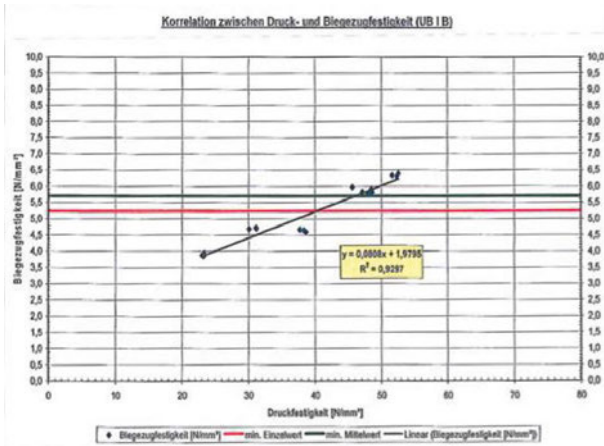
Die von der Betreiberseite gewünschte Qualitätskontrolle der fertigen Leistung erfolgte daher über die Erstellung einer Korrelation für die zum Einsatz kommende Betonrezeptur zwischen der Biegezugfestigkeit und der Druckfestigkeit in einer Erstprüfung, bei der der w/z-Wert und der Luftporengehalt variiert wurde.

w/z / LP	0,42 / 0(1,5)		0,42 / 4,0		0,42 / 7,0	
Festigkeit	Druck [N/mm ²]	Biegezug [N/mm ²]	Druck [N/mm ²]	Biegezug [N/mm ²]	Druck [N/mm ²]	Biegezug [N/mm ²]
1	51,6	6,34	47,1	5,82	30,1	4,68
2	52,3	6,31	45,6	5,97	31,2	4,70
3	52,6	6,39	48,5	5,91	31,1	4,71
w/z / LP	0,47 / 0(1,5)		0,47 / 4,0		0,47 / 7,0	
Festigkeit	Druck [N/mm ²]	Biegezug [N/mm ²]	Druck [N/mm ²]	Biegezug [N/mm ²]	Druck [N/mm ²]	Biegezug [N/mm ²]
4	48,6	5,81	38,6	4,59	23,1	3,87
5	48,3	5,79	37,8	4,66	23,3	3,85
6	47,9	5,78	38,3	4,64	23,4	3,94

Versuchsergebnisse der Erstprüfung zur Korrelationsbestimmung [4]

Aus den Wertepaaren dieser Untersuchung konnte eine Regressionsgerade errechnet werden, die einen Zusammenhang zwischen Druckfestigkeit und Biegezugfestigkeit

tigkeit dieser Betonrezeptur beschreibt. Mithilfe dieser Regression ist es möglich für den in der Dimensionierungsberechnung ermittelten erforderlichen Biegezugfestigkeitswert eine zugehörige erforderliche Druckfestigkeit zu bestimmen.



Korrelation zwischen Druck- und Biegezugfestigkeit aus Erstprüfung [4]

Aus dieser Korrelation wird der geforderte Mittelwert der Biegezugfestigkeit für den Unterbeton I B bei einer Druckfestigkeit von 46,0 N/mm² eingehalten, der einzuhaltende Mindestwert der Biegezugfestigkeit bei einer Druckfestigkeit von 40,4 N/mm².

7.3 Kontrollprüfung

Nach Fertigstellung der Betondecke wurden klassisch Bohrkerne entsprechend der ZTV Beton [22] alle 1.000m² (bei einem RQ 35,5 demnach ca. alle 70 m) entnommen sowie die vorhandene Plattendicke ermittelt. Diese in der Kontrollprüfung ermittelten Werte werden mit den aus der rechnerischen Dimensionierung vorgegebenen Sollwerten verglichen.

		[cm]
Mittelwert	Ist	32,4
Mittelwert	Soll	29,0
Min. Einzelwert	Ist	29,7
Min. Einzelwert	Soll	28,5

Ergebnisse Kontrollprüfung Deckendicke [5]

		[N/mm²]
Mittelwert	Ist	50,7
Mittelwert	Soll	46,0
Min. Einzelwert	Ist	40,5
Min. Einzelwert	Soll	40,4

Ergebnisse Kontrollprüfung Druckfestigkeit [5]

Da sowohl die geforderten Druckfestigkeiten, und über die Korrelation damit auch die benötigten Biegezugfestigkeiten, als auch die geforderten Schichtdicken eingehalten sind, kann der hergestellte Aufbau somit die prognostizierte Verkehrsbelastung sicher ertragen.

8. Ansatz RDO Beton

Aus Betreibersicht bietet das Verfahren nach der RDO Beton [23] den besonderen Vorteil, dass die dimensionierungsrelevanten Eigenschaften an der fertigen Betondecke direkt geprüft werden können. Ein Umweg über eine Korrelationserstellung wie bei dem zuvor dargestellten Verfahren ist nicht erforderlich.



8.1 Grundlagen und Dimensionierung

Die Grundlagen des Dimensionierungsverfahrens werden in der Richtlinie beschrieben, in der die zu erbringenden Nachweise und die zugrundeliegenden Formeln erläutert werden. Es handelt sich um ein semiprobabilistisches Verfahren zur Dimensionierung nach Grenzzuständen der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit. Wesentlicher Parameter der Dimensionierungsberechnung ist die Spaltzugfestigkeit der zur Verwendung kommenden Betonrezeptur. Die Prüfung dieser Spaltzugfestigkeit erfolgt im Labor durch Druckaufbringung mittels zwei sich gegenüberliegender Lasteintragungsschienen, die einen zweiachsigen Spannungszustand erzeugen, wodurch sich in der Zylinderscheibe eine nahezu konstante Zugspannung einstellt.



Spaltzugschwellversuch Bohrkern Beton ©ABPI

In der Angebotsphase wurden mit den zur Verwendung angedachten Baustoffen eine Erstprüfung durchgeführt, um die erreichbare Spaltzugfestigkeit in der Ausführungsphase abschätzen zu können.

Nr.	mittlere Zylinderschleife					obere Zylinderschleife					untere Zylinderschleife					
	Ø [mm]	Hohe [mm]	Gewicht [kg]	Bruchlast [kN]	f _{ct} [N/mm ²]	Ø [mm]	Hohe [mm]	Gewicht [kg]	Bruchlast [kN]	f _{ct} [N/mm ²]	Ø [mm]	Hohe [mm]	Gewicht [kg]	Bruchlast [kN]	f _{ct} [N/mm ²]	
1	100	104	2009	2,46	463	59,3					100	53	1031	2,49	39,3	4,72
2	100	101	1540	2,46	478	68,9					100	53	1040	2,50	40,5	4,92
3	100	104	2001	2,45	445	56,7					100	51	997	2,49	40,7	5,08
4	100	100	1523	2,45	450	57,3					100	54	1051	2,48	39,4	4,65
5	100	103	1502	2,45	478	59,9					100	54	1056	2,49	38,8	4,58
6	100	103	1509	2,46	467	59,5					100	53	1045	2,51	41,5	4,99
7	100	103	1590	2,46	458	58,3					100	53	1035	2,49	45,5	5,47
8	100	102	1557	2,44	454	61,7					100	52	1020	2,50	36,2	4,43
9	100	101	1545	2,45	454	59,1					100	51	1038	2,52	36,4	4,92
10	100	103	1578	2,45	465	59,4					100	53	1035	2,49	40,6	4,88
11	100	102	1665	2,45	467	59,5					100	53	1030	2,47	42,4	6,10
12	100	101	1525	2,43	478	68,9					100	54	1040	2,47	45,6	5,31
13	100	100	1531	2,46	477	68,8					100	52	1010	2,49	39,7	4,86
14	100	101	1543	2,45	499	63,5					100	51	1007	2,51	40,5	5,06
15	100	103	1500	2,46	493	62,5					100	51	991	2,47	35,7	4,46
Mittelwerte			2,45			59,3							2,49		4,89	

Ergebnis Erstprüfung Spaltzugfestigkeit [6]

Aus dem Mittelwert der Spaltzugfestigkeit der Erstprüfung von 4,9 N/mm² konnte unter Berücksichtigung des bei kürzlich ausgeführten Projekten erreichten Variationskoeffizienten von im Mittel 10% ein charakteristischer Wert für die Spaltzugfestigkeit von 4,3 N/mm² für die Ausführungsphase ermittelt werden.

Um weitere Sicherheit für die Ausführungsphase zu erhalten, wurde entschieden, für die Dimensionierungsrechnungen einen charakteristischen Spaltzugfestigkeitswert von 3,7 N/mm² zu verwenden, was einer deutlichen Abminderung gegenüber dem möglichen Wert aus der Erstprüfung entspricht.

Für die Berechnung war die erwartete Verkehrsbelastung, die wieder von der Betreiberseite auf Grundlage der durchgeführten Verkehrsstudie vorgegeben wurde, eine zu berücksichtigende Vorgabe. Des Weiteren eine Auflagerung auf einer HGT, sowie einer Plattenbreite des Hauptfahrestreifens von 4,00m, die Seitens der Ausführung zur Vorgabe gemacht wurden, da diese unter den projektspezifischen Randbedingungen aus baupraktischer Sicht zu bevorzugen waren.

Bei den gegebenen Randbedingungen ergab sich rechnerisch eine erforderliche Betondeckendicke von 26,0 cm.

8.2 Kontrollprüfung

Nach Fertigstellung der Betondecke wurden wie beim zuvor beschriebenen Verfahren im gleichen Umfang

Bohrkerne entnommen und dabei wieder die vorhandene Plattendicke ermittelt. Im Labor wurde dann an diesen Kernen die Spaltzugfestigkeitsprüfung durchgeführt und die Ergebnisse statistisch ausgewertet.

Da die Richtlinie ZTV RDO Beton [24] sich zwar seit längerem in Vorbereitung befindet, wie den Seiten der FGSV zu entnehmen ist, aber bis heute nicht veröffentlicht wurde, musste zwischen den Beteiligten der Weg der Qualitätskontrolle im Projekt abgestimmt werden.

Die Auswertung der Kontrollprüfungsergebnisse erfolgte in Abstimmung mit Fachleuten exakt nach dem Ansatz, wie er auch zur Dimensionierungsberechnung vor Herstellung verwendet wurde. Demnach ist der Nachweis der geforderten Tragfähigkeit erbracht, wenn die in der Dimensionierung bestimmten Werte für die erforderliche Betondeckendicke und die benötigte Spaltzugfestigkeit eingehalten werden.

	Deckendicke 10%-Quantilwert [cm]	Spaltzugfestigkeit Oberbeton 5%-Quantilwert [N/mm ²]	Spaltzugfestigkeit Unterbeton 5%-Quantilwert [N/mm ²]
Abschnitt 1	26,62	3,4	3,8
Abschnitt 2	27,16	4,0	4,1
Abschnitt 3	26,14	4,2	4,5
Vorgabe Dimensionierung	26,00	3,7	3,7

Ergebnis Kontrollprüfung Deckendicke und Spaltzugfestigkeit [7]

Wie der Übersicht der Kontrollprüfungsergebnisse zu entnehmen ist, erfüllt die hergestellte Deckendicke die Anforderung aus der Dimensionierung von 26,0 cm in jedem Abschnitt.

Den Ergebnissen der Kontrollprüfung kann weiter entnommen werden, dass die Entscheidung, den Wert der erreichbaren Spaltzugfestigkeit gegenüber dem in der Erstprüfung ermittelten Wert von 4,3 N/mm² auf 3,7 N/mm² zu reduzieren, goldrichtig war. Der in der Ausführung erreichte Wert lag nur zwischen 3,4 und 4,5 N/mm², also in Abschnitten deutlich unterhalb des Erwartungswertes aus der Erstprüfung.

Der benötigte Spaltzugfestigkeitswert von 3,7 N/mm² wird vom Unterbeton sicher eingehalten. Beim Oberbeton wird aber im homogenen Abschnitt 1 nur eine charakteristische Spaltzugfestigkeit von 3,4 N/mm² erreicht, und damit der in der Dimensionierung geforderte Mindestwert der Spaltzugfestigkeit unterschritten. Ob die geforderte Qualität geliefert wurde, erfordert weiterer Überlegungen.

8.3 Überprüfung der Dimensionierung mit den hergestellten, abweichenden Eigenschaften

Für diesen kritischen homogenen Abschnitt 1 erfolgte daher eine Aktualisierung der Dimensionierungsberechnung unter Verwendung der hergestellten geringeren vorhandenen charakteristischen Spaltzugfestigkeit von 3,4 N/mm². Die erforderliche Betondeckendicke wurde für diese vorhandene Spaltzugfestigkeit unter den sonst unveränderten Vorgaben zu 26,5 cm ermittelt. Mit die-

sen Werten konnte nachgewiesen werden, dass die in der Verkehrsprognose ermittelte Schwerverkehrsbelastung durch den Betonoberbau mit den ermittelten Eigenschaften ebenfalls sicher aufgenommen werden kann, da die vorhandene Betondeckendicke mit 26,62 cm über der erforderlichen von 26,5 cm liegt [8].

9. Oberbau aus Asphalt

Durch seine thermoplastischen Eigenschaften stellt der Asphalt im Vergleich zum Beton bezüglich der Dimensionierung einen viel komplexeren Baustoff dar.



Asphalteinbau © Via6West

Zur Durchführung dieser Dimensionierung steht die RDO Asphalt [27] zur Verfügung.



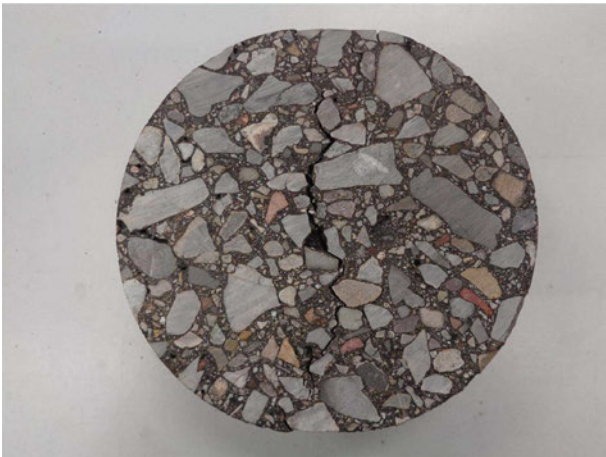
Auch hierbei ist die Prüfung der dimensionierungsrelevanten Eigenschaften direkt an der fertigen Leistung möglich.

9.1 Grundlagen und Dimensionierung

Die Grundlagen des Dimensionierungsverfahrens werden in der Richtlinie beschrieben. Die Verkehrsbelastung wird durch Aufteilung des Schwerverkehrs in 11 Achslastklassen, die Temperaturbelastung durch Aufteilung in 13 Oberflächentemperaturen und dem zugehörigen Temperaturverlauf im Untergrund berücksichtigt. Die Ermittlung der zugehörigen Spannungen und Dehnungen bei den sich hieraus ergebenden 143 Belastungskombinationen erfolgt auf Grundlage der Mehrschichtentheorie. Diese Belastungskombinationen werden dann auf Grundlage der Miner Theorie miteinander überlagert. Wesentliche Materialparameter der Dimensionierungsberechnung sind die Ermüdungsfunktion sowie die Steifigkeits-Temperaturfunktion der zur Verwendung kommenden Asphaltrezeptur. Die Prüfung dieser Eigenschaften erfolgt im Labor mittels Spaltzug-Schwellversuchen.



Servohydraulische Prüfanlage zur Durchführung von Spaltzug-Schwellversuchen © KIT



Asphaltprobe nach Spaltzug-Schwellversuch zur Ermittlung der Ermüdungsfunktion © KIT

Basierend auf Erstprüfungsergebnissen mit dem vor Ort vorhandenen und zum Einsatz kommenden Rohstoffen inklusive des zur Wiederverwendung vorgesehenen Asphaltgranulats wurde eine Dimensionierung des herzustellenden Asphaltoberbaus vor Beginn der Oberbauarbeiten durchgeführt.

Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten ergibt sich, dass ein vollständig gebundener Oberbau für Abschnitte mit offenporigem Asphalt die wirtschaftlichste Bauweise ist. Die Dimensionierungsberechnung führte zu einer Asphaltbefestigung von 39,5 cm Schichtdicke, die auf einer 15,0 cm mächtigen Verfestigung, die wiederum auf einer 15,0 cm starken Bodenverfestigung aufgelagert ist.

Zur Absicherung der Einflüsse aus Bautoleranzen, Variationen der Eigenschaften der frisch hinzugekauften Baustoffe, aber vor allem aus den Schwankungen der Eigenschaften des Asphaltgranulats wurde in dieser Phase nur eine geringe Ausnutzung der Asphalttragschicht angesetzt.

Verwendete Sicherheitsbeiwerte

Sicherheitsbedürfnis RDO 09 (RSTO 01)

Asphaltschichten *)	2,10 (F=	1,10)
Hydraulisch gebundene Schichten		1,50
Schichten ohne Bindemittel		1,50
Planum		2,50

*) Der Faktor F wird programmiert in Abhängigkeit der Unterlage aus dem Sicherheitsbeiwert für den Asphalt abgeleitet und repräsentiert den nach den RDO Asphalt 09 einzustellenden Wert.

Resultierende Werte der berechneten Konstruktion

Berechnete Ermüdungszustände	
Asphalt	33,1 %
HGT/Verfestigung	0,0 %

Ergebnis Dimensionierungsberechnung [9]

Wie dem Auszug aus der Dimensionierung zu entnehmen ist, wurde in der Vordimensionierung das Tragfähigkeitspotential der Asphalttragschicht nur zu 33,1% ausgenutzt.

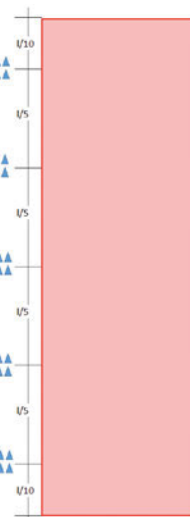
9.2 Kontrollprüfung

Nach Bauausführung erfolgte die Qualitätsüberwachung durch Entnahme von Bohrkernen und Bestimmung der Performancewerte im Labor.



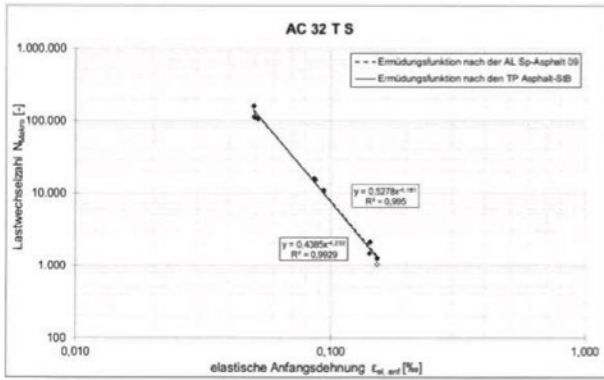
Bohrkernentnahme © PrüfARGE ABPI/IBE GbR

Neben der Bohrkernentnahme entsprechend der ZTV Asphalt [26] zur Bestimmung der in diesem Regelwerk geforderten Kennwerte einer Kontrollprüfung, die alle 6.000 m² durchgeführt wird, erfolgt zur Bestimmung der erreichten Performanceeigenschaften die Entnahme von 20 Bohrkernen aus dem Standstreifen in 5 gleichmäßig über den homogenen Bauabschnitt aufgeteilten Bohrkerngruppen.



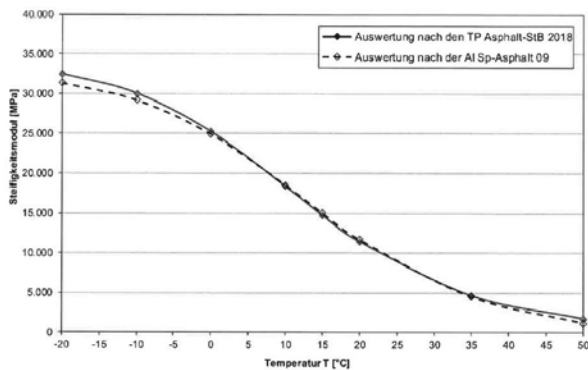
Bohrkernentnahmeplan ViA6West [10]

Der hergestellte Asphaltaufbau beinhaltet 2 unterschiedliche Asphalttragschichten. Damit die Nachweisführung an der Unterseite jeder dieser beiden Tragschichten durchgeführt werden kann, erfolgt die Bestimmung der Ermüdungsfunktion für beide Asphalttragschichten. Abgebildet ist das Laborergebnis der maßgebenden unteren Asphalttragschicht.



Ermüdungsfunktion AC 32 TS [11]

Die Ermittlung der Steifigkeitsmodul - Temperaturfunktion erfolgte für beide Tragschichten und die Binderschicht. Abgebildet wird wiederum nur das Laborergebnis der AC 32 TS.



Steifigkeitsmodul – Temperaturfunktion [12]

Auch das Kälteverhalten der eingebauten Tragschicht wurde im Labor untersucht.

Temperatur [° C]	-20	-15	-10	-5	0	+5	+20
Mittlere Kryogene Zugspannung [N/mm ²]	3,049	2,324	1,575	0,948	0,508	0,245	0,000

Mittlere Kryogene Zugspannungen [13]

Weitere zur Berechnung der vorhandenen Tragfähigkeit erforderlichen Parameter wie die Schichtdicke des hergestellten Oberbaus, den vorhandenen Schichtenverbund und die Auflagerfestigkeit wurden aus den Ergebnissen der Kontrollprüfung entnommen.

Kontrollprüfungsergebnisse Schichtdicke, Schichtenverbund u. Auflagerfestigkeit [14]

Wie bei der Betonbauweise liegt auch bei der Asphaltbauweise bisher keine Veröffentlichung einer ZTV RDO Asphalt [28] vor, die die bauvertragliche Umsetzung der mittels RDO Asphalt [27] hergestellten Asphaltüberbauten regelt. Daher erfolgte, wie auch schon für den Umfang der Beprobung, eine Abstimmung zwischen den Projektbeteiligten, wie der Nachweis der zulässigen Überrollungen für den hergestellten Oberbau geführt werden kann. Ein wesentlicher Punkt dieser Abstimmung ist die Festlegung des anzusetzenden Sicherheitsbeiwerts bei der Beurteilung des fertigen Asphaltüberbaus. Der bei der Rückrechnung angesetzte Sicherheitsbeiwert kann gegenüber der Dimensionierungsberechnung reduziert werden, da in diesem ein Vorhaltemaß für Toleranzen beim Einbau und den Materialeigenschaften berücksichtigt ist. Daher erfolgte, nach Rücksprache mit Fachleuten, eine Reduzierung des Sicherheitsbeiwerts bei der Rückrechnung auf 70% des Sicherheitsbeiwertes der Dimensionierungsberechnung vor Bauausführung.

Des Weiteren wird die geringste gemessene Asphalt-schichtstärke der Berechnung zugrunde gelegt. Im Ergebnis zeigt sich, dass die Entscheidung mit einem großen Vorhaltemaß in die Dimensionierung zu gehen die Richtige war. Denn trotz einer Ausnutzung der Materialparameter der Erstprüfung von nur 36% in der Dimensionierung, und der bei der Nachrechnung berücksichtigten Reduzierung des Sicherheitsbeiwerts auf 70% gegenüber der RDO Asphalt [27], ergibt sich in dem betrachteten Abschnitt, bei Ansatz der ungünstigsten Randbedingungen, ein Ermüdungszustand von 97,5% unter der erwarteten Verkehrsbelastung.

Verwendete Sicherheitsbeiwerte

Sicherheitsniveau der RDO 09 (RStO 01)

Asphaltschichten *)	2,70 (F= 0,77)
Hydraulisch gebundene Schichten	2,50
Schichten ohne Bindemittel	1,50
Planum	2,50

*) Der Faktor F wird programmiert in Abhängigkeit der Unterlage aus dem Sicherheitsbeiwert für den Asphalt abgeleitet und repräsentiert den nach den RDO Asphalt 09 einzustellenden Wert.

Resultierende Werte der berechneten Konstruktion

Berechnete Ermüdungszustände	
Asphalt	97,5 %
HGT / Verfestigung	2,8 %

Ergebnis Dimensionierungsberechnung Kontrollprüfung

Im Ergebnis der Qualitätsüberwachung kann aber auch hier die erwartete Verkehrsbelastung durch den hergestellten Asphaltüberbau im betrachteten homogenen Abschnitt ertragen werden.

10. Kostenbetrachtung

In diesem Abschnitt werden die Kosten für die Kontrollprüfungen der unterschiedlichen Oberbauweisen miteinander verglichen. Dies erfolgt auf Grundlage einer fiktiven Streckenlänge von 45 km bei einem Regelquerschnitt RQ 35,5.

10.1 Betonbauweise; Korrelation

Es ergeben sich keine über die üblichen Kontrollprüfungskosten hinausgehenden Aufwendungen.

10.2 Betonbauweise; RDO Beton

Entsprechend dem in der ZTV Beton-StB [22] vorgegebenen Prüfumfang in der Kontrollprüfung wird je 1.000m² Betonfahrbahn ein Bohrkern entnommen.

Streckenlänge (beide Richtungsfahrbahnen)	90.000 [m]
Fahrbahnbreite	14,5 [m]
Fläche	1.305.000 [m ²]
Fläche pro Bohrkern	1.000 [m ²]
Anzahl Bohrkern	1.305 [Stck.]

Die Kosten für die Bohrkernentnahme und Untersuchung der Spaltzugfestigkeit ergeben sich entsprechend der folgenden Aufstellung.

	Bohrkern
Bohrkernentnahme/-verfüllung	75,00 €
Probenvorbereitung	5,00 €
Probenvorbereitung Sägen (3/Bohrkern)	36,00 €
Prüfung Spaltzugfestigkeit (Ober- und Unterbeton)	70,00 €
	186,00 €

Für die Verifikation der Tragfähigkeit im eingebauten Zustand ergeben sich demnach folgende Kosten für das Gesamtprojekt.

Bohrkerne / Laborversuche	1.305 [Stck]	242.730,00 €
An-/ Abfahrten Bohrtrupp		21.000,00 €
		263.730,00 €

10.3 Asphaltbauweise; Projekt

Der im Projekt vereinbarte Umfang der Bohrkernentnahme wurde im Abschnitt 9.2. dargestellt. Nimmt man weiterhin an, dass sich durch den Bauablauf und Art der Deckschicht im Gesamtprojekt 16 homogene Abschnitte

ergeben, ergibt sich die Anzahl der erforderlichen Bohrkern zu:

Streckenlänge (beide Richtungsfahrbahnen)	90.000 [m]
Annahme Anzahl homogener Bauabschnitte	16 [Stck.]
Anzahl Bohrkern je homogener Abschnitt	20 [Stck.]
Erforderliche Anzahl Bohrkern (Ø150)	304 [Stck.]
Bohrkerne Abkühlversuche (Ø300)	16 [Stck.]

Die Kosten für die Bohrkernentnahme und Untersuchung der benötigten Performancewerte ergeben sich entsprechend folgender Aufstellung. Hierbei ist zu beachten, dass 2 Asphalttragschichten bei den Untersuchungen der Ermüdungsfunktion berücksichtigt sind.

	Abschnitt
Bohrkernentnahme/-verfüllung (Ø150)	75,00 €
Bohrkernentnahme/-verfüllung (Ø300)	100,00 €
Laborversuche	
Spaltzug-Schwellversuch; Ermüdungsfunktion	4.340,00 €
Spaltzug-Schwellversuch; Steifigkeitsmodul-Temperaturfunktion	6.344,00 €
Abkühlversuche	627,50 €
	11.311,50 €

Für die Verifikation der Tragfähigkeit im eingebauten Zustand ergeben sich demnach folgende Kosten für das Gesamtprojekt.

Bohrkerne	320 [Stck]	24.400,00 €
An-/ Abfahrten Bohrtrupp		7.000,00 €
Laborversuche für homogene Abschn.	16 [Stck]	180.984,00 €
		212.384,00 €

10.4 Asphaltbauweise; RSO Asphalt

Neben dem zwischen den Projektparteien abgestimmten Umfang der Beprobung gibt es weitere, sich noch in der Diskussion befindliche Ansätze, in Bezug auf den Umfang der Beprobung. Für die sich in Entwicklung befindliche RSO Asphalt [29] ist der in der folgenden Abbildung wiedergegebene Probenumfang [15] angedacht. Die Entnahme der Bohrkern erfolgt dabei in der Form der Abschnittsbeprobung. Dabei wird der zu untersuchende Abschnitt in so viele Bereiche unterteilt, wie Bohrkern entnommen werden. Die Bohrkernentnahme innerhalb eines so ermittelten Bereichs erfolgt zufällig.



Bohrkernentnahmeplan RSO Asphalt [15]

Der Untersuchungsumfang entsprechend dem Entwurf der RSO Asphalt [29] würde die folgenden Bohrkernentnahmen erfordern. Dabei werden auf dem ersten Kilometer eines homogenen Abschnitts 16 Bohrkernentnahmen entnommen, auf jedem weiteren Kilometer dieses homogenen Abschnitts weitere 5 Bohrkernentnahmen.

Streckenlänge (beide Richtungsfahrbahnen)	90.000 [m]
Annahme Anzahl homogener Bauabschnitte	16 [Stck.]
Erforderliche Anzahl Bohrkernentnahmen	
BK Ø150 erste km der homogenen Abschn.	240 [Stck.]
BK Ø150 weitere km der homogenen Abschn.	370 [Stck.]
	610 [Stck.]
Abkühlversuche (Ø300)	16 [Stck.]

Bei den Performanceprüfungskosten nach dem Entwurf der RSO Asphalt [29] sind zusätzlich zu den Prüfungskosten des ersten Kilometers eines homogenen Abschnitts die Prüfungskosten der weiteren Kilometer eines homogenen Abschnitts zu ergänzen.

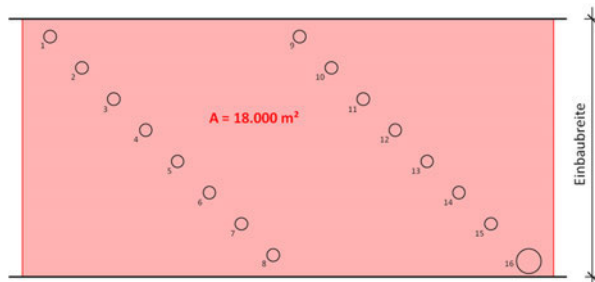
	jeder weitere km
Spaltzug-Schwellversuch; Ermüdungsfunktion	1.395,33 €
Spaltzug-Schwellversuch; Steifigkeitsmodul-Temperaturfunktion	2.036,00 €
	3.431,33 €

Die Kosten für die Performanceprüfung lassen sich daher wie folgt ermitteln.

Bohrkerne	626 [Stck]	55.000,00 €
An-/ Abfahrten Bohrtrupp		10.000,00 €
Laborversuche für homogene Abschn.	16 [Stck]	180.984,00 €
Laborversuche für weitere km	74 [km]	253.918,67 €
		499.902,67 €

10.5 Asphaltbauweise; ZTV RDO Asphalt

Für die sich ebenfalls noch in der Entwicklung befindliche ZTV RDO Asphalt [28] wird aktuell die Entnahme der erforderlichen 16 Bohrkernentnahmen zur Bestimmung der Performancewerte für jede angefangene Asphaltfläche von 18.000m² diskutiert. Das Entnahmeschema und die Bohrkernverwendung kann der folgenden Abbildung entnommen werden.



Probeentnahmeschema Entwurf ZTV RDO Asphalt [16]

Bei einem Vorgehen entsprechend dem aktuellen Diskussionsstand der ZTV RDO Asphalt [28] würden daher die folgende Bohrkernanzahl benötigt werden.

Streckenlänge (beide Richtungsfahrbahnen)	90.000 [m]
Fahrbahnbreite	14,5 [m]
Fläche	1.305.000 [m ²]
Fläche Prüfabschnitt	18.000 [m ²]
Prüfabschnitte	73 [Stck.]
Anzahl Bohrkernentnahmen (Ø150)	1.095 [Stck.]
Abkühlversuche (Ø300)	73 [Stck.]

Hierfür ergeben sich die folgenden Kosten für die gesamte Performanceprüfung.

Bohrkernentnahme/-verfüllung	1.168 [Stck]	89.425,00 €
An-/ Abfahrt Bohrtrupp		25.000,00 €
Laborversuche für Prüfabschnitte	73 [Stck]	825.739,50 €
		940.164,50 €

11. Zusammenfassung

Durch das engmaschige Prüfraster bei der Betonbauweise wird ein dimensionierungsrelevantes Wertepaar (Deckendicke / Festigkeit) durch einen Bohrkern je 1.000m² erzeugt. Bei der Asphaltbauweise werden dahingegen 16 Bohrkernentnahmen benötigt, um alle erforderlichen dimensionierungsrelevanten Parameter (Ermüdungsfunktion / Temperatur – Steifigkeitsfunktion / Kryogene Zugspannungen / Schichtenverbund) zu bestimmen. Im engmaschigsten Verfahren gemäß Entwurf der ZTV RDO Asphalt [28] werden je 18.000m² ein vollständiger Wertesatz ermittelt. Im Vergleich der beiden Oberbauweisen erfolgt die Qualitätskontrolle daher bei der Betonbauweise in einem viel engeren Raster.

Bei den Verfahren nach RDO Beton [23] und RDO Asphalt [27] werden die dimensionierungsrelevanten Parameter direkt an den aus der fertigen Leistung entnommenen Bohrkernen ermittelt. Dies ist der wesentliche Nachteil des Verfahrens bei einem Betonoberbau nach Ansatz der TU München [1], die die Biegezugfestigkeit der fertigen Decke über den Umweg einer Korrelationsermittlung aus der Druckfestigkeit bestimmt.

Nachteil aller Verfahren ist, dass zwischen Herstellung des Fahrbahnoberbaus und Zeitpunkt des Vorliegens der Kontrollprüfungsergebnisse sehr viel Zeit vergeht (Prüfung der 60 Tage Festigkeit der Betondecke, Dauer Laborversuche Asphalt mindestens 1 – 2 Wochen). Daher können die Ergebnisse der Kontrollprüfung nicht zur Steuerung der Einbauqualität genutzt werden.

Der Kostenvergleich zwischen einem Oberbau aus Beton und dem im Projekt abgestimmten Prüfschema für einen Oberbau aus Asphalt zeigt vergleichbare Kosten für die Kontrollprüfung. Diese Kontrollprüfungskosten verdp-

peln sich aber fast bei Ansatz der Bohrkernentnahme entsprechend Stand RSO Asphalt [29] und vierfachen sich fast, wenn der Entwurf der ZTV RDO Asphalt [28] zugrunde gelegt wird.

Literatur:

[1] Prof. W. Eger; Mitteilungen des Prüfamtes für Bau von Landverkehrswegen der TU München „Langzeitverhalten von Betonstraßen – Eine Untersuchung mit statistischen und wahrscheinlichkeitstheoretischen Methoden 1995“

[2] Prof. Dr.-Ing. Walter Eger; Langzeitverhalten von Betonfahrbahnen Betonstraßentagung 2013

[3] Prof. Dr.-Ing. Walter Eger; Gutachten zur Dimensionierung und zum Langzeitverhalten der Betonfahrbahnen. Betreibermodell BAB A 8 “Ulm – Augsburg” (A-Modell) Bau km 17+540 bis Bau km 58+500

[4] Erstprüfung für den Fahrbahndeckenbeton UB I B; Ermittlung einer Korrelation zwischen Druck- und Biegezugfestigkeit; TPA

[5] „Pendelliste“ Eigenüberwachungs- und Kontrollprüfungsergebnisse PANSUEVIA

[6] Erstprüfung Straßenbeton StC 35/45-3,7 Unterbeton 0/22, Bietergemeinschaft A4 Hörselberge

[7] Kontrollprüfungsergebnisse Via Solutions Thüringen

[8] Sachverständigengutachten Kontrollprüfung Via Solutions Thüringen

[9] Nachweis des Aufbaues der Asphaltbefestigung mittels rechnerischer Dimensionierung; 09.03.2018; Bauarge A6 West

[10] Bohrkernentnahmeplan ViA6West

[11] Ermüdungsfunktion AC 32 TS (11); Kontrollprüfungsergebnis ViA6West

[12] Steifigkeitsmodul – Temperaturfunktion); Kontrollprüfungsergebnis ViA6West

[13] Mittlere Kryogene Zugspannungen); Kontrollprüfungsergebnis ViA6West

[14] Schichtdicke u. Auflagerfestigkeit); Kontrollprüfungsergebnis ViA6West

[15] Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ulf Zander; „Verfahrensweise bei der Bewertung der strukturellen Substanz von Asphaltbefestigungen“ ; Deutschen Straßen- und Verkehrskongress 2014 Stuttgart

[16] Dr.-Ing. Sebastian Lipke; „Performance-basierte Anforderungen für Asphaltbefestigungen in Bauverträgen – Aktueller Stand“; Deutscher Straßen- und Verkehrskongress 2016 Bremen

Regelwerke:

[21] „Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen; RStO 12“, FGSV-Verlag GmbH

[22] „Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton; ZTV Beton-StB 07“, FGSV-Verlag GmbH

[23] „Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung von Betondecken im Oberbau von Verkehrsflächen; RDO Beton 09“, FGSV-Verlag GmbH

[24] „Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Betondecken im Oberbau von Verkehrsflächen bei Anwendung der RDO Beton; ZTV RDO Beton – StB“, FGSV-Verlag GmbH

[25] „Technische Lieferbedingungen für Baustoffe und Baustoffgemische für Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton; TL-Beton-StB 07“, FGSV-Verlag GmbH

[26] „Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt; ZTV Asphalt-StB 07/13“, FGSV-Verlag GmbH

[27] „Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht; RDO Asphalt 09“, FGSV Verlag GmbH

[28] „Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Betondecken im Oberbau von Verkehrsflächen bei Anwendung der RDO Asphalt; ZTV RDO Asphalt – StB“, FGSV-Verlag GmbH

[29] „Richtlinien zur Bewertung der strukturellen Substanz des Oberbaus von Verkehrsflächen in Asphaltbauweise; RSO Asphalt“, FGSV Verlag GmbH

LKW-Platoons und ihre Auswirkungen auf den Straßenoberbau

Sandra Ulrich,

ARNDT IDC GmbH & Co KG, Vienna, Austria (Hauptautor)

David Reisenbichler,

ARNDT IDC GmbH & Co KG, Vienna, Austria (Vortragender)

Überblick

Automatisiertes Fahren hat bereits und wird in Zukunft großen Einfluss auf Verkehrseffizienz, Verkehrssicherheit, Umwelt und auch die Logistik-Branche haben. Hier verspricht insbesondere das s.g. LKW Platooning große Ressourceneinsparungen. Dabei sind mehrere LKWs elektronisch miteinander vernetzt um längs- und/oder Querregelung zentral für den ganzen Platoon über den führenden LKW zu steuern. So könnte in sehr geringem Abstand hintereinandergefahren werden, um Windschatteneffekte zur Treibstoffeinsparung zu nutzen. Neben vieler offener Fragen hinsichtlich der technischen Lösung als auch der Umsetzbarkeit auf bestehenden Verkehrswegen (z.B. Verkehrsfluss bei Auf- und Abfahrten) gilt es auch Auswirkungen auf den Straßenoberbau durch das spurgenaue Fahren und die geringen Abstände zu analysieren um Straßenbetreibern Sicherheit hinsichtlich des Erhaltungsmanagement und der Dimensionierung zu geben. Im Projekt „Spurvariation“ (gefördert durch ASFINAG und BMVIT im Rahmen der österreichischen VIF2018 Ausschreibung) wurde daher die folgende Fragestellung analysiert und beantwortet: „Welche Auswirkungen hat LKW-Platooning auf den Straßenoberbau der ASFINAG und inwiefern kompensiert spurversetztes Fahren im Platoon die Energieeinsparung der LKWs durch gewonnene Windschatteneffekte im Platoon?“ Dazu wurden aufbauend auf der Lastklassenberechnung gem. des österreichischen Bemessungsstandards RVS 03.08.63 auf Basis des Primärwirkungsmodells Ermüdung neue Parameter implementiert, um die Einwirkung von Platoons abzubilden. Die Ergebnisse geben eine erste Orientierung zu möglichen Implementierungsszenarien.

1. 1. Methodische Vorgehensweise

1.1 Projektüberblick

Das Ziel beim LKW-Platooning lautet, dass alle LKWs im Platoon derselben Spur folgen, um den Effizienzgewinn durch den Windschatteneffekt zu maximieren. Da dies aber potentiell negative Auswirkungen auf die Lebensdauer des Straßenoberbaus – insbesondere von Asphaltstraßen – hat, werden in diesem Projekt verschiedene Varianten von Spurvariationen untersucht und die positiven Effekte auf den Oberbau, den Effizienzverlusten beim Windschatten gegenübergestellt. Die initiale Definition eines LKW Platoons für dieses Projekt ist ein Konvoi von maximal 3 LKWs, die in einem Abstand von 10-15m mit einer maximalen Geschwindigkeit von 80 km/h fahren.

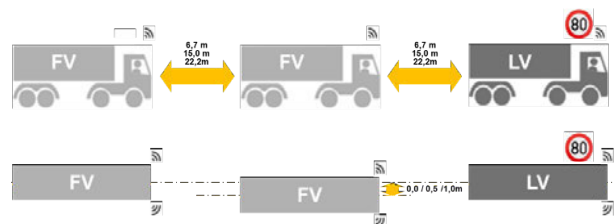


Abbildung 1: Platooning Layout

Das Projekt Spurvariation wurde mit folgender methodischen, stufenweisen Herangehensweise abgearbeitet.

1. Die Basis bildete eine detaillierte Sensitivitätsanalyse von lane assist Systemen (Genauigkeit beim Spurhalten, Querregelung) im Arbeitspaket 2.
2. Darauf aufbauend wurde in Arbeitspaket 3 beim Virtual Vehicle Center mittels Strömungsanalyseberechnungen jener Versatz berechnet, bei dem der Gewinn des Windschattenfahrens durch den Versatz in der Querregelung kompensiert wird. Das unterste Limit zur Berechnung der Auswirkungen auf die Fahrbahnoberfläche ergab sich aus der Sensitivitätsanalyse

- (Varianz in der Querregelung zwischen zwei LKW). Die oberste Grenze wurde durch die Windschattensimulation festgelegt (bei welchem Versatz ergibt sich kein Energiegewinn durch den Windschatten).
3. Die Analyse der Auswirkungen auf den Straßenoberbau in Arbeitspaket 4 baut auf erprobten Lebenszyklusmodellen auf, in die zusätzliche Parameter für neue Einflussfaktoren durch LKW-Platooning festgelegt und integriert wurden. Neue Belastungsfälle innerhalb der Grenzwerte der Sensitivitätsanalyse und auf Basis der definierten LKW-Platoons wurden vorgeschlagen.
 4. Die Wirkungsbetrachtung in Arbeitspaket 5 fasste die Ergebnisse der Arbeitspakete 2-4 zusammen und evaluierte die Gesamtauswirkung von LKW-Platooning auf den Straßenoberbau der ASFINAG.
 5. Die Auswirkungen auf den Straßenoberbau wurden in die „dynamic risk-rated-map“ von Connecting Austria integriert, damit die Auswirkungen der Studie im gesamten Zusammenhang des Verkehrsmanagements der ASFINAG hinsichtlich LKW-Platoons dargestellt werden konnten.

Der Zusammenhang zwischen den Inhalten und Arbeitspaketen ist in nachfolgender Grafik zusammengefasst dargestellt.



Abbildung 2: Methodische Vorgehensweise (Ulrich et al. 2020)

1.2 Herangehensweise zur Ermittlung der Auswirkungen auf den Oberbau

Der Fokus dieses Manuskripts liegt auf der Auswirkung auf den Oberbau, die im Projekt in AP4 um folgende Kernfrage behandelt wird:

Ist infolge der Belastung durch LKW-Platoons mit einer signifikant erhöhten Schadensauswirkung zu rechnen und bei welchem Spurversatz ist bei größtmöglichem Effizienzgewinn durch Platooning, die Auswirkung in Form von Schadensbildern auf den Straßenoberbau möglichst gering?

Für die Analyse der Auswirkungen von LKW-Platooning auf den Straßenoberbau, insbesondere von Asphaltstraßen, wurde einerseits die Relevanz für die Bemessung von Neubau und Sanierungen analysiert und andererseits die zu erwartenden Auswirkungen im Erhaltungs-

management der Bestandsstrecken. Dazu wurden sowohl die üblichen Ansätze auf der Belastungsseite (Bemessungsnormlastwechsel) als auch auf der Widerstandsseite (Materialeigenschaften hinsichtlich Verformungsbeständigkeit) beleuchtet und Ansätze für die Berücksichtigung von LKW-Platoons vorgeschlagen.

Die Bemessung und Berechnung von Zustandsentwicklungen der Zustandsgrößen des Oberbaus folgt seit langem einem einfachen Prinzip: die Einwirkung durch den Schwerverkehr muss kleiner sein als der Widerstand, den der Oberbau entgegensetzt. Die Einwirkung hängt naturgemäß von der Verkehrsbelastung ab, also der Art der auftretenden Fahrzeuge, deren Auftretenswahrscheinlichkeit und deren Achslasten. Zur Bestimmung des Widerstands wird die maßgebliche Belastung des Oberbaus bestimmt, die auf umfangreichen empirischen Daten, die zu den Oberbaudimensionierungsregeln der RVS 03.08.63 geführt haben, basiert. Für die Bemessung und Lebensdauer des Straßenoberbaus ist die Belastung, die sich aus dem Schwerverkehr ergibt, der maßgebende Faktor und der PKW-Verkehr kann vernachlässigt werden. Die maßgebende Größe für die Verkehrsbelastung sind dabei die s.g. Bemessungsnormlastwechsel (BNLW), die sich aus der Anzahl an Übergängen einer Normachse mit einer Achslast von 100 kN (entspricht 10 t) ergeben. Um die tatsächliche Verkehrsstärke zu ermitteln, werden die verschiedenen auftretenden Schwerverkehr (SV) Fahrzeugkategorien mit Äquivalenzfaktoren auf diese BNLW umgerechnet.

Manuell gefahrene LKW folgen keiner exakten Spur, sondern nutzen den verfügbaren Raum einer Fahrspur und pendeln in gewissem Grad darauf hin und her. Dieser Effekt wird als „lateral wander“ bezeichnet und in der Bemessung in Form eines Faktors zur Berücksichtigung der Fahrspurverteilung innerhalb des Fahrstreifens berücksichtigt. Dieser Faktor wurde genutzt, um den Spurversatz von LKW-Platoons abzubilden.

Für die Analyse der Auswirkungen von LKW-Platooning auf den Straßenoberbau wurden geeignete Äquivalenzfaktoren für diese neue Fahrzeugkategorie gesucht und Annahmen für die Fahrspurverteilung getroffen. Zusätzlich wurden Erkenntnisse aus kürzlich veröffentlichten internationalen Studien analysiert und hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit in Österreich bewertet.

Mit Hilfe dieser neuen Werte für die Bemessungsparameter wurden exemplarisch Oberbaubemessungen für typische Verkehrsbelastungen bei üblichen Neubau- oder grundhaften Instandsetzungsmaßnahmen durchgeführt. Dazu wurde ein simplifiziertes Berechnungsmodell auf Basis der RVS 03.08.63 Methodik mit den neuen LKW-Platooning Werten erstellt, um für die Bemessung eine Orientierung hinsichtlich der Auswirkungen von LKW-Platoons zu bekommen. Darüber hinaus wurden die neuen Platooning Werte auch auf die Zustandsentwicklungsmodelle für Spurrinnen gem. PMS Handbuch angewendet und so auch eine Methodik angeboten, um die Auswirkungen von LKW-Platoons auf die Bestandsstrecken zu analysieren. Die Methodik ist in nachfolgender Grafik zusammengefasst.

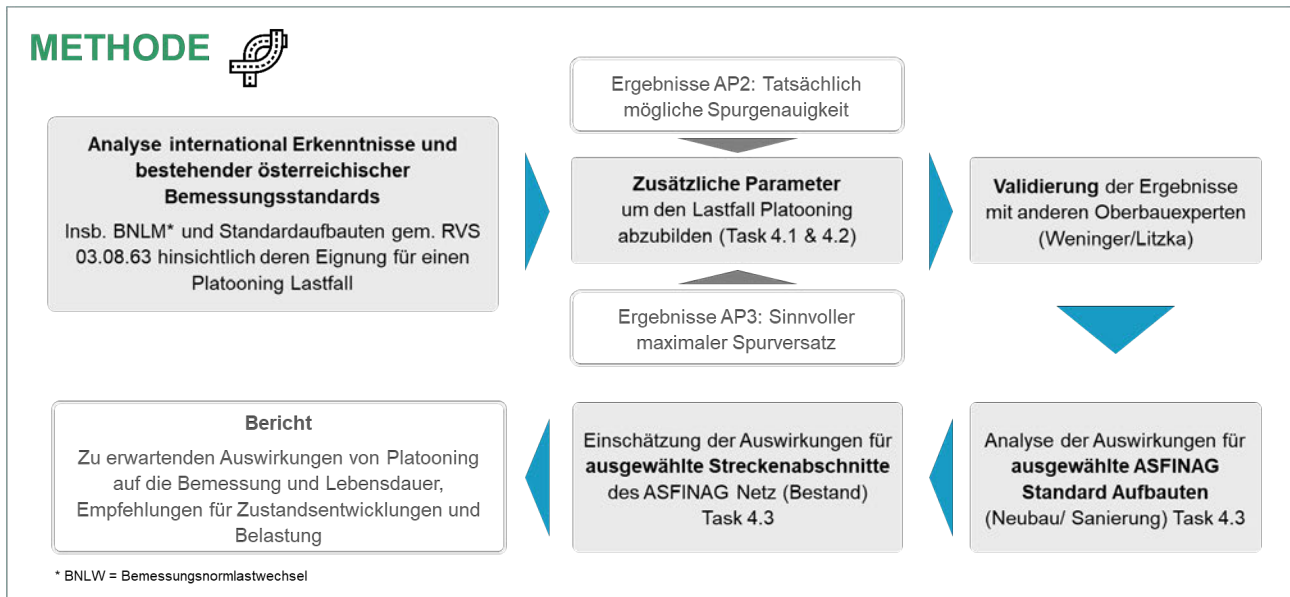


Abbildung 3: Methode Oberbauauswirkungen (Ulrich et al. 2020)

2. Berücksichtigung von LKW-Platooning bei Neubau und Sanierung

Als maßgebende Beanspruchungen werden bei der Dimensionierung von Asphaltstraßen in der Regel die wechselnde Zugbeanspruchung an der Unterseite der Asphalttschichte und die senkrechte Druckbeanspruchung am Unterbauplanum angesehen. Die zyklischen Zugbeanspruchungen infolge der Verkehrsbelastung führen zur Ermüdung des Baustoffes und an der Unterseite der Asphaltkonstruktion entstehen Risse, die sich nach oben hin fortpflanzen („bottom-up cracking“). In der Folge verbinden sich die Einzelrisse zu Netzzissen, wodurch es zur rasch progressiven Herabsetzung der Tragfähigkeit der gesamten Konstruktion kommt – zur Ermüdung des Oberbaus. Das Schadensmerkmal Ermüdung, bedingt in erster Linie durch die Verkehrsbelastung, wird auch im Fall von LKW-Platooning als bemessungsrelevantes Schadensmerkmal für die strukturelle Oberbaudimensionierung herangezogen. Die Auswirkungen auf die Spurrinnenbildung betreffen die Gebrauchstauglichkeit (insbesondere die Verkehrssicherheit), jedoch weniger die Tragfähigkeit und sind daher relevanter in der Lebenszyklusbetrachtung. Um LKW-Platooning in der Oberbaubemessung zu berücksichtigen, ist es daher insbesondere erforderlich, die Verkehrsbelastung, also einen entsprechenden

Äquivalenzfaktor für die Bemessungsnormlastwechsel zu finden.

Bei der Bemessung gemäß der großteils verwendeten RVS 03.08.63 kommt ein Bemessungskatalog zum Einsatz, der Standardoberbauten enthält und so für verschiedene Lastklassen unterschiedliche Bautypen anbietet. Die Verkehrsbelastung wird in der zugrundeliegenden Bemessungsmethodik durch die Kenngröße BNLW ausgedrückt. Diese entspricht einer Anzahl an Übergängen einer Normachse mit einer Achslast von 100 kN (entspricht 10 t), der ein Oberbau während eines definierten Bemessungszeitraums ausgesetzt ist. Diese Anzahl an Normlastwechseln ist über so genannte Äquivalenzfaktoren mit der tatsächlichen Verkehrsstärke (ausgedrückt durch den JD_{TVi} einer Fahrzeugkategorie *i* bzw. den JD_{TLV}) verknüpft. Diese Faktoren geben an, wie viele Übergänge der Normlast bei einem Übergang eines Schwerfahrzeugs in Rechnung zu stellen sind und sind sowohl von der Gesamtgewichtsverteilung der Schwerfahrzeuge als auch von deren Auftretenshäufigkeit im Straßennetz abhängig. Der BNLW wird aus der folgenden Beziehung ermittelt:

$$\text{BNLW} = \text{NLW} \cdot \text{tägl} \cdot \text{R} \cdot \text{V} \cdot \text{S} \cdot 365 \cdot \text{n} \cdot \text{z}$$

	Anzahl der durchschnittlich täglichen Normlastwechsel für den gesamten Querschnitt zum Zeitpunkt der Verkehrsfreigabe. Ergibt sich aus $NLW_{\text{tägl}} = \sum JDTV_i * \ddot{A}_i$
JDTV _i	Mittelwert über alle Tage des Jahres der Anzahl der einen Straßenquerschnitt in beiden Richtungen täglich passierenden Kraftfahrzeuge der Fahrzeugkategorie i
Ä _i	Mittlerer Äquivalenzwert der jeweiligen Fahrzeugkategorie i
R	Richtungsfaktor für die Aufteilung des Lastverkehrs auf die Fahrtrichtungen (0,5 bei gleichmäßiger Aufteilung des Lastverkehrs auf beide Fahrtrichtungen)
V	Faktor zu Berücksichtigung der Verteilung des Lastverkehrs auf mehrere Richtungsfahrstreifen (1,0 bei einem bzw. zwei Richtungsfahrstreifen; 0,9 bei drei oder mehr Richtungsfahrstreifen)
S	Faktor zur Berücksichtigung der Fahrspurverteilung innerhalb des Fahrstreifens
n	Bemessungsperiode [Jahre] (ursprünglich 20 Jahre für bituminöse Befestigungen und 30 Jahre für Betondecken; Seit 2016 für Bundesstraßen A und S einheitlich 30 Jahre)
z	Zuwachsfaktor unter Berücksichtigung einer jährlichen Zuwachsrate p [%]

Für eine einfache, übersichtliche Berücksichtigung von LKW-Platoons kann die verwendete Bemessungsformel genutzt und lediglich um neue Werte für betroffene Parameter ergänzt werden, wie dies in nachfolgender Abbildung zusammengefasst ist.

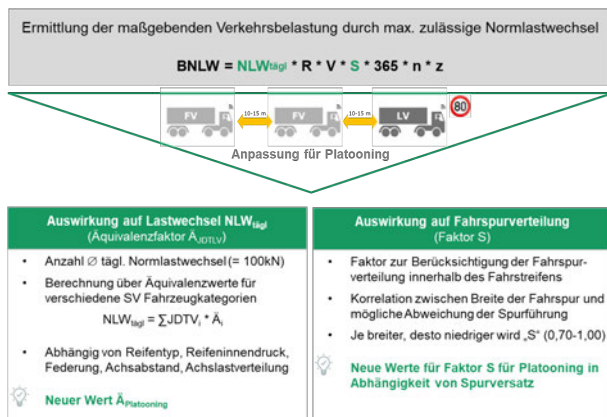


Abbildung 4: Anpassung relevanter Parameter der Bemessungsformel der RVS 03.08.63

Um LKW-Platoons in der Bemessung zu berücksichtigen wird ein neuer Äquivalenzfaktor vorgeschlagen. Auf Basis einer generischen LKW Geometrie (Devesa und Indinger 2011) wird von Platoons mit einem gesetzlich geregelten Maximalgewicht von 44 Tonnen (intermodaler Transport) in Platoons aus 2 oder 3 LKW mit einem Abstand von 10-15 m ausgegangen.

Für die Berechnung der Last wird dabei weiterhin jeder LKW eines Platoons als Fahrzeug gezählt und nicht der Platoon als eine einzelne Einheit. Die Begründung dafür liegt einerseits an den vorgegebenen Abständen zwischen den LKW, die mit 10-15 m als zu groß angesehen werden um eine echte Einheit zu bilden. Andererseits kann

so auch die Variation der Spurgenauigkeit konsequent je LKW umgesetzt werden. Um das Schädigungspotential eines solchen Platoons mit den beschriebenen Annahmen einordnen zu können, wurden die umfangreichen Untersuchungen zu Schadenswirkungen verschiedener Fahrzeugklassen durch die Auswertung von BWiM Daten in Forschungsprojekten der letzten Jahre hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit für LKW-Platoons analysiert. Als Näherung für grobe Abschätzungen wird auf dieser Basis nur von geringfügig höherem Schädigungspotential ausgegangen, die in Form von Äquivalenzwerten in nachfolgender Tabelle für spurgenaue 2er und 3er Platoons mit 15 m Abstand dargestellt sind.

Tabelle 1: Vorgeschlagene Äquivalenzwerte für LKW-Platoons

Fahrzeug	Ä _i	Erläuterung
Fahrzeugklasse VC113	2,10	gem. Projekt Obesto gerundet
2er Platoon spurgenau	2,20	Geschätztes, geringfügig höheres Schädigungspotential +3% geg. Einzel VC113 gerundet
3er Platoon spurgenau	2,30	Geschätztes, geringfügig höheres Schädigungspotential +8% geg. Einzel VC113 gerundet
2er oder 3er Platoon mit Spurversatz	2,10	Schädigungspotential von VC113

Bei einem Spurversatz von > 0,5 m wird mit dem Ä_i der Fahrzeugklasse VC113 (Blab et al. 2014) gearbeitet, da keine erhöhte Schädigung erwartet wird. Dies gilt sowohl für einen 2er als auch einen 3er Platoon.

Der zweite besonders relevante Parameter ist der sogenannte Fahrspurfaktor S, der in Abhängigkeit von der Fahrspurbreite der Verteilung von LKW Fahrspuren und Trajektorien Rechnung trägt. Die Fahrspurbreite auf störungsfreien ASFINAG-Netzabschnitten ist > 3,5 m. Baustellenbereiche sind von der Betrachtung explizit

ausgenommen. Um den Spurversatz von LKW-Platoons in einer Bemessung zu berücksichtigen, werden nachfolgend Vorschläge für den Fahrspurfaktor gemacht.

Tabelle 2: Vorgeschlagene Fahrspurfaktoren für LKW-Platooning Spurversatz

Spurversatz	Faktor S neu
Spurgenaues fahren	1,00
Abweichung des 2. LKW von 0,5 m	0,70
Abweichung des 2. LKW von 1,0 m	0,50

Mit den beschriebenen Werten für die Äquivalenzfaktoren und Spurversatzfaktoren wurden exemplarisch Oberbauten für verschiedene Verkehrsstärken dimensioniert und die Ergebnisse jeweils für die folgenden vier Platooning Szenarien mit Marktdurchdringungen von 0-100 % in einem Diagramm sowie tabellarisch in Abhängigkeit von der Auftretenswahrscheinlichkeit von LKW-Platoons dargestellt.

- 2er Platoon spurgenau
- 3er Platoon spurgenau
- 2er oder 3er Platoon mit Spurversatz 0,5 m
- 2er oder 3er Platoon mit Spurversatz 1,0 m

Es wird davon ausgegangen, dass es bei einem Spurversatz > 0,5 m keinen Unterschied macht ob die Platoons aus 2 oder 3 LKW bestehen. Exemplarisch wurden für verschiedene Verkehrsstärken die Auswirkungen berechnet. Da davon ausgegangen wird, dass Platooning auf logistikrelevanten Streckenabschnitten zuerst eingeführt wird, wird als durchschnittlicher Bemessungsfall ein JDTLV 4000 des gesamten Schwerverkehrskollektivs angenommen. Hier wurden 2 Fahrstreifen mit einer Breite zumindest des 1. Fahrstreifens von 4,0m angenommen.

Tabelle 3: Medium Case Berechnungsrahmenbedingungen

Medium Case	
Parameter	Wert
Verkehrsstärke JDTLV Kollektiv	4000
Verkehrsstärke je Richtungsfahrbahn getrennt	ja
Anzahl Fahrstreifen	2
Fahrstreifenbreite	4,00
Bemessungsperiode	30 Jahre
Jährl. Zuwachsrade	1,50%

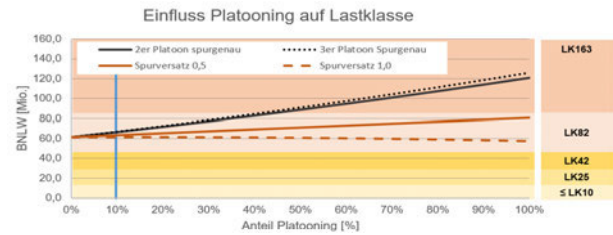


Abbildung 5: BNLW und Lastklassen in Abhängigkeit der Marktdurchdringung für die 4 Platooning Szenarien

Bei dieser Verkehrsstärke wird deutlich, dass bei einer schnellen Verbreitung von LKW-Platoons Maßnahmen erforderlich werden. Bei einer Marktdurchdringung von ca. 40 % würden spurgenaue Platoons bereits die aufnehmbaren Lastwechsel der LK82 überschreiten, was zu einer vorzeitigen Ermüdung des Oberbaus führen würde. Dem kann entweder durch einen verpflichtenden Spurversatz von > 0,5 m vorgebeugt werden oder durch ein Verkehrsmanagement, dass nur einen maximalen Anteil von 40 % LKW-Platoons zulässt.

Dreht man die Betrachtung um und ermittelt auf Basis der maximal aufnehmbaren Normlastwechsel die strukturelle Lebensdauer, ist auch in diesem Szenario bei den Auftretenswahrscheinlichkeiten keine Verkürzung der strukturellen Lebensdauer anzunehmen. Im Spurversatz ergibt sich auch bei 100 % LKW-Platoons noch keine Verkürzung. Bei spurgenauen Platoons besteht ab ca. 35 % (3er Platoon) bzw. 40 % (2er Platoon) Handlungsbedarf in Form von Beschränkungen, oder die strukturelle Lebensdauer beginnt auf bis zu 20 Jahre bei 100 % Marktdurchdringung zu sinken.

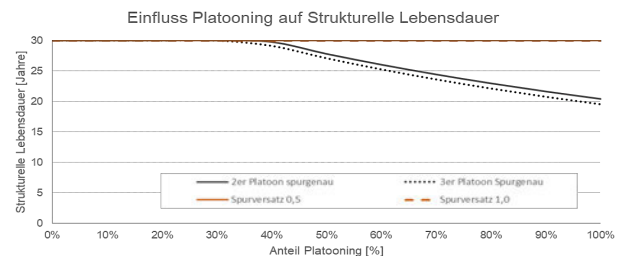


Abbildung 6: Strukturelle Lebensdauer in Abhängigkeit der Marktdurchdringung für die 4 Platooning Szenarien

Zusammenfassend zeigen diese exemplarischen Berechnungen, dass bei einem ausreichenden Puffer innerhalb der Lastklasse bei langsamer Marktdurchdringung keine Einschränkungen zu erwarten sind. Unterdimensionierungen und das Ausreizen der Toleranzbereiche sind hingegen nicht empfehlenswert.

3. Berücksichtigung von LKW-Platooning bei PMS und Lebenszyklusanalyse

Die Prognose des Straßenzustandes für die unterschiedlichen RVS-relevanten Zustandsmerkmale - Spurrinnen, Längsebenheit, Griffigkeit, Risse und Oberflächenschäden - wird auf Basis des PMS für das ganze ASFINAG Netz standardisiert durchgeführt um unter Verwendung von budgetären Grenzwerten die optimalen Erhaltungsmaßnahmen auf jedem untersuchten Streckenabschnitt abzuschätzen.

Internationale Studien legen nun nahe, dass sich durch LKW-Platooning negative Effekte auf das Zustandsmerkmal Spurrinnenbildung ergeben könnten bzw. Ermüdung bereits vor dem Ende der Bemessungsdauer eintreten kann. Dies betrifft spurgenaues LKW-Platooning. (Gungor und Al-Qadi 2020a; Chen et al. 2019; Bouchihati 2020)

Aktuelle Studien kommen jedoch auch zu dem Schluss, dass Platooning nicht nur eine erhöhte Belastung für den Oberbau bedeuten muss, sondern die Vernetzung der LKW auch eine Chance darstellt. Demzufolge kann durch die Möglichkeit von kontrollierter Spurvariation der kanalisierte Lastwechsel von spurgenaues Platoons aufgebrochen und gesteuert so variiert werden, dass sich kein negativer Effekt auf den Oberbau durch Platooning ergibt und des Weiteren das potentielle Problem sogar zu einer Chance für Kosteneinsparung werden kann (Gungor und Al-Qadi 2020b, 2020a).

In diesen Studien werden mit FEM theoretische Berechnungen angestellt, die zu überraschend hohen Einsparungspotentialen von bis zu 50 %, in Abhängigkeit von Oberbaustärke und Gesamtverkehrsbelastung, kommen. Diese Ergebnisse sind äußerst interessant, gehen jedoch von weit in der Zukunft liegenden Rahmenbedingungen aus, bei denen der gesamte Schwerverkehr in optimal gesteuertem Spurversatz fährt. Diese Ansätze sind auch für Österreich interessant und verfolgenswert, entsprechen aber nicht dem praktischen Ansatz dieses Projektes, in dem Aussagen für die nächsten Jahre getroffen werden sollen. Gemeinsam mit der ASFINAG wurden repräsentative Streckenabschnitte ausgesucht, die hinsichtlich ihrer Eignung für Platooning bewertet bzw. hinsichtlich Auswirkungen auf ihre Lebenszyklusentwicklung abgeschätzt wurden.

Zur Einschätzung des Zustands und der Eignung eines Streckenabschnitts für Platooning sind eine Reihe von Werten relevant. Neben der Verformungsbeständigkeit des Oberbaus, die sich vorrangig durch die Verformungsbeständigkeit der Deck- und Binderschicht ergibt, ist die strukturelle Widerstandsfähigkeit der Tragschichten gegen Ermüdung wichtig, um eine Aussage über die weitere Belastbarkeit treffen zu können. Dafür sind vor allem Alter und Auslastung der Bemessung (über- oder unterdimensioniert) relevant. Zusätzlich muss die bereits vorhandene Spurrinrentiefe in die Bewertung miteinbezogen werden. Dazu sollten also die folgenden Daten und

Parameter für eine Einschätzung zur Platooningfähigkeit auf Basis des aktuellen Straßenzustands (Daten aus dem PMS der ASFINAG) analysiert werden:

- Aufbau, Bautype und Alter
- Belastung (Verkehr und Verkehrsbelastungskoeffizient)
- Zustandsmerkmal Spurrinnen (Vorhandene Spurrinrentiefe)
- Verformungsbeständigkeit der verbauten Deck- und Binderschicht

Für die Prognose wurde auf die deterministisch-empirischen Zustandsprognosemodelle für das Zustandsmerkmal Spurrinnen zurückgegriffen, das auf den empirischen Daten, die in den Zustandserfassungen am ASFINAG-Netz erfasst und dokumentiert wurden basiert. Das Prognosemodell der Spurrinnen befindet sich derzeit gerade in Überarbeitung und konnte für das Projekt leider noch nicht zur Verfügung gestellt werden. Deswegen wurden die Berechnungen auf Basis des Prognosemodells von 2016 (Weninger-Vycudil et al. 2016) durchgeführt. Die Verhaltensfunktion Spurrinnen wird über das Alter der Decke und die kumulierten Normlastwechsel definiert. Das folgende deterministisch-empirische Zustandsprognosemodell kommt aktuell zur Anwendung: (Weninger-Vycudil et al. 2016)

$$ZG_{SR,t} = KF_{SR} \cdot \left(a \cdot \text{Alter}_{\text{Decke},t} + \frac{b \cdot \text{NLW}_{\text{kum},t}}{100000} \right)$$

ZG_{SR,t} Zustandsgröße Spurrinnen zum Zeitpunkt t [mm]

Alter_{Decke,t} Alter der Decke zum Zeitpunkt t

KF_{SR} Kalibrierfaktor Spurrinnen

NLW_{kum,t} kumulierte Lastwechsel zum Zeitpunkt t in Mio.

a, b Modellparameter

$$ZG_{SR,t} = KF_{SR} \cdot \left(a \cdot \text{Alter}_{\text{Decke},t} + \frac{b \cdot \text{NLW}_{\text{kum},t}}{100000} \right)$$

ZG_{SR,t} Zustandsgröße Spurrinnen zum Zeitpunkt t [mm]

Alter_{Decke,t} Alter der Decke zum Zeitpunkt t

KF_{SR} Kalibrierfaktor Spurrinnen

NLW_{kum,t} kumulierte Lastwechsel zum Zeitpunkt t in Mio.

a, b Modellparameter






Analog zur Oberbaubemessung finden kumulierte Normlastwechsel Eingang in die Verhaltensfunktionen. Um LKW-Platoons in der Verhaltensfunktion zu berücksichtigen werden daher die vorgeschlagenen Äquivalenzfaktoren für LKW-Platoons sowie die Spurvariationsfaktoren auch in der Verhaltensfunktion angewendet und so die erwarteten Normlastwechsel für unterschiedliche Platooning Szenarien berücksichtigt. Wie auch in der Oberbaubemessung stellt die größte Unbekannte, die jedoch einen wesentlichen Einfluss hat, die Marktdurchdringung der LKW-Platoons dar.

Während in der Oberbaubemessung eine durchschnittliche Marktdurchdringung über die gesamte Bemessungsdauer zur Anwendung gekommen ist, werden für die Verhaltensfunktionen folgende unterschiedliche Marktdurchdringungsszenarien berechnet.

- Base Case: Kein Platooning
- Medium Case: Einführung Platooning ab dem Jahr 2022 mit einem Marktanteil von 5 % und einer folgenden weiteren jährlichen Verlagerung von 3 % hin zu Platooning.
- High Case: Einführung Platooning ab dem Jahr 2022 mit einem Marktanteil von 10 % und einer folgenden weiteren jährlichen Verlagerung von 5 % hin zu Platooning

In der folgenden Tabelle sind die Szenarien, die für die ausgewählten Bestandsabschnitte berechnet werden, noch einmal als Matrix dargestellt.

Tabelle 4: Berechnungsszenarien Bestandsabschnitte

Platooning Szenario		Medium Case	High Case
Kein Platooning		-	-
2er Platoon spurgenau		Platooning Start: 2022 Startjahr: 5% Steigerung/Jahr: +3% (max. 80%)	Platooning Start: 2022 Startjahr: 10% Steigerung/Jahr: +5% (max. 80%)
3er Platoon spurgenau			
2er oder 3er Platoon mit Spurversatz 0,5m			
2er oder 3er Platoon mit Spurversatz 1,0m			

Wichtig dabei ist, dass in diesem Projekt von einer reinen Verlagerung des Gesamtschwerverkehrsaufkommens von einzelnen LKW hin zu LKW-Platoons bei gleichbleibender Gesamtverkehrsbelastung ausgegangen wird. Sollten die dadurch freiwerdenden Kapazitäten jedoch von zusätzlichem Schwerverkehr aufgefüllt werden, kann sich ein ganz anderes Bild ergeben.

Gemeinsam mit der ASFINAG wurden vier Streckenabschnitte ausgewählt, die wie beschrieben hinsichtlich ihrer Eignung für Platooning analysiert werden.

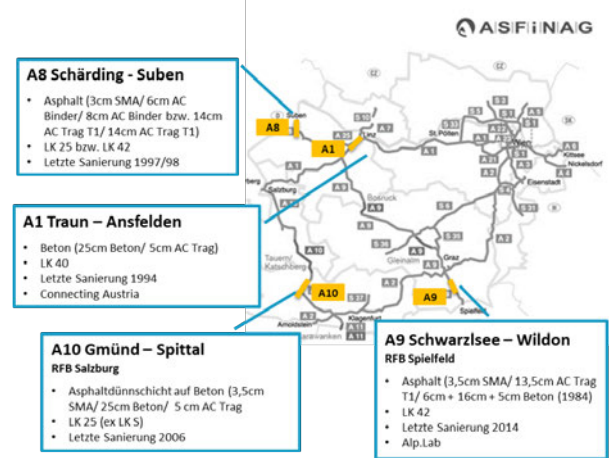


Abbildung 7: Ausgewählte Bestandsabschnitte

Exemplarisch werden nachfolgend die Ergebnisse anhand des Abschnittes A8 Scharding – Suben dargestellt. Der Autobahnabschnitt zwischen Scharding und Suben auf der A8 stellt einen bereits recht alten Asphaltbau-typ dar. In nachfolgender Tabelle sind die aktuellen Zu-standsdaten zusammengefasst:

Tabelle 5: Bestandsdaten A8

	Daten	A8
Ort	Fahrtrichtung	Suben
	von - bis	Ort - Suben
	von - bis [km]	km 69,1 - km 74,9
Aufbau	Gebundener Aufbau	3 cm SMA S1, 1997 6 cm AC Binder, 1997 8 cm AC Binder, 1997 14 cm AC Trag T1, 1985
	Bautype PMS	BT14_V (AS_V)
		Bautype 1-4 Verstaerkung
	Gesamtdicke gebundener Schichten [cm]	31
Alter	Letzte Sanierung [Jahr]	1997
	Rechnerisches Oberbaujahr	1992
Belastung	JDTLV 2017 (max. Wert in Abschnitt) [-]	4513
	Österreichische Tragfähigkeitszahl	19,52
	Verkehrsbelastungskoeffizient [-]	3
Zustand Spurrinnen 1.FS	Zustandsgröße (ZG) Spurrinnen max. [mm]	12,6
	Zustandswert (ZW) Spurrinnen max. [-]	3,2
	Zustandsgröße (ZG) Spurrinnen \bar{A} [mm]	5,0
	Zustandswert (ZW) Spurrinnen \bar{A} [-]	1,9
	Erhebungsjahr Spurrinnen	2014
Verformungsbeständigkeit Deckschicht		gut

Mit einem Verkehrsbelastungskoeffizienten von 3,0 ist die Strecke deutlich überdimensioniert und strukturell nach 23 Jahren noch gut belastungsfähig. Der maximale Zustandswert für Spurrinnen ist mit 3,2 zwar noch in Ordnung, liegt jedoch bereits nahe am Warnwert, was bei diesem Alter nicht überraschend ist. Dieser Wert 3,2 stellt aber eine punktuelle Schwäche in einem Abschnitt dar. Aus diesem Grund wird für die weitere Betrachtung der durchschnittliche Wert von 1,9, der noch in einem durchaus guten Bereich ist, genutzt. Für die Verhaltensfunktion des Zustandsmerkmals Spurrinnen für die verschiedenen Platooning Szenarien und Marktdurchdringung ergeben sich folgende Werte für die Berechnung:

Tabelle 6: Parameter für Verhaltensfunktion Spurrinnen A8

Parameter	Werte		
JDTLV Kollektiv	4513	Erhebungsjahr	2017
		$\ddot{A}_i =$	abh. von Szenario
Verkehrsstärke je Richtungsfahrbahn getrennt ja		$R =$	1,00
Anzahl Fahrstreifen	2	$V =$	1,00
Fahrstreifenbreite	3,75	$S =$	abh. von Szenario
Jährl. Zuwachsrate	1,49 %	$z_t =$	1,49 %
Kalibrierfaktor	SMA	$KFSR =$	0,30
Letzte Messung	2014	$\text{Alter}_{\text{Decke, Messung}} =$	17
Modellparameter a	BT14_V (AS_V)	$a =$	0,7183
Modellparameter b	BT14_V (AS_V)	$b =$	0,0159

Unter Verwendung des errechneten Kalibrierfaktors von 0,30 und der angenommenen Äquivalenzfaktoren sowie Spurvariationsfaktoren für die verschiedenen Platooning Szenarien zeigt sich im nachfolgenden Diagramm, dass im belastungsintensivsten Fall der spurgenaue 3er Platoons mit hoher Marktdurchdringung (High Case) der Warnwert zwar 7 Jahre früher als in einem Verlauf ohne Platooning erreicht wird, dies jedoch erst nach 38 Jahren (im Jahr 2042) geschieht. Ein Spurversatz von 1,0 m ist in diesem Streckenabschnitt aufgrund der durchschnittlichen Fahrstreifenbreite von 3,75m nicht möglich und wird daher nicht dargestellt. Die Lebensdauer der Deckschichten wird jedoch bekannterweise durch alle Zustandsmerkmale gemein-

sam bestimmt und variiert stark in Abhängigkeit von Belastung und Widerstandsfähigkeit. Deswegen ist es auch schwierig eine durchschnittliche Lebensdauer einer Deckschicht anzugeben. Die im Diagramm angegeben 25 Jahre stellen bereits eine sehr lange Lebensdauer für eine bituminöse Deckschicht dar. Im Falle des Streckenabschnitts auf der A8 kann zusammenfassend gesagt werden, dass eine Sanierung und der Austausch der Deckschicht nicht erst durch das Zustandsmerkmal Spurrinnen ausgelöst, sondern bereits lange vor Erreichen eines Spurrinnen-Warnwertes in wenigen Jahren erforderlich sein wird.

Zustandsprognose Spurrinnen mit Platooning

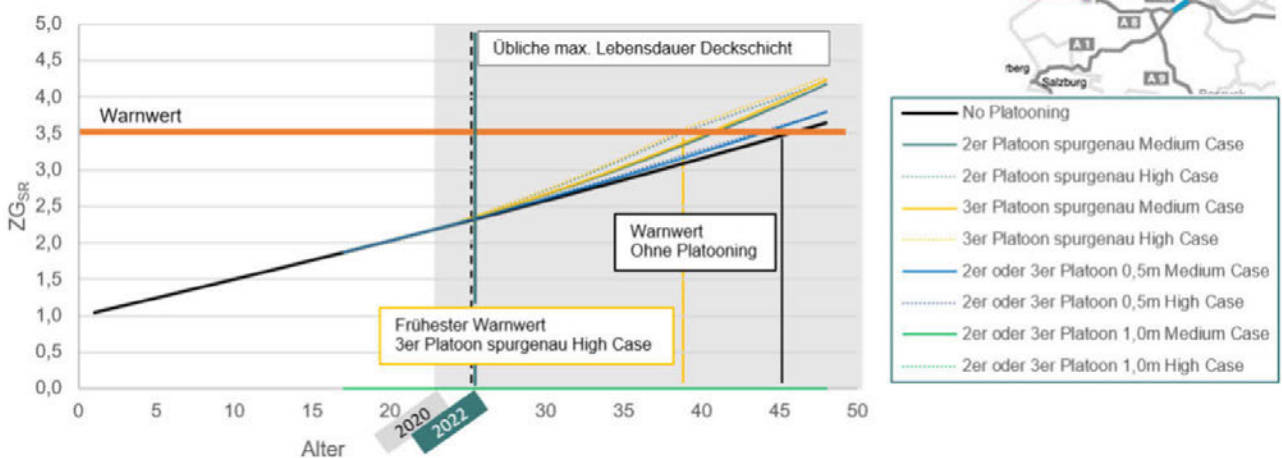


Abbildung 8: Verhaltensfunktion Spurrinnen A8

Die hier betrachteten LKW-Platoons mit geplanten Fahrzeugabständen von 10 bis 15 m sind nicht sehr weit von den Abständen in LKW-Kolonnen im frei fahrenden Verkehrsablauf entfernt. Deshalb ist mit den zu erwartenden Marktdurchdringungsraten in naher Zukunft nicht davon auszugehen, dass sich die Auswirkungen bei gleichbleibenden Gesamtverkehrslasten signifikant verändern. Dies gilt allerdings nur solange, als durch die Anwendung des Platooning nicht in der Folge die Gesamtanzahl des Schwerverkehrs auch erhöht wird, d.h. die Bemessungsverkehrsbelastung (Anzahl der Gesamtnormlastwechsel) erhöht wird. Im PMS wird daher vor allem empfohlen die Zustandsmessungsergebnisse für Spurrinnen kritisch hinsichtlich verstärkter Wirkungen zu beobachten, um auf mögliche Abweichungen zu den üblichen Zustandsentwicklungen (Abweichungen von den Verhaltensfunktionen) zu reagieren. Es ist unbestritten, dass spurgenaue LKW-Platoons die Spurrinnenbildung begünstigen. Wie die Analysen der Bestandsstreckenabschnitte jedoch gezeigt haben, ist die Spurrinnenbildung erst ab einem hohen SV Anteil ein maßgebliches Zustandsmerkmal, während ansonsten Deckschichtsanierungen eher durch andere Zustandsmerkmale, wie z. B. Griffigkeit, ausgelöst werden. Auf solchen Streckenabschnitten mit hohem SV-Anteil, sind meist aber verformungsbeständige Aufbauten aus Beton verbaut.

Mit einem kontinuierlichen Monitoring, wie es durch das PMS am ASFINAG-Netz umgesetzt wird, ist bereits der wichtigste Schritt getan. Überschreitungen von Warnwerten beim Zustandsmerkmal Spurrinnen sollten unmittelbar entweder zu einer Sanierung oder zu Beschränkungen für Platoons führen.

Ebenso ist es essentiell gerade auch mit der allgemeinen zunehmenden Schwerverkehrsbelastung auf dem hochrangigen Straßennetz, den Verkehrsbelastungskoeffizienten zu monitoren und auf Strecken mit LKW-Platooning ein besonderes Augenmerk darauf zu legen, um bereits vor dem Erreichen des Dimensionierungswertes entweder Maßnahmen durch das Verkehrsmanagement zu setzen oder die Erhaltungsplanung entsprechend darauf vorzubereiten.

Durch die Vernetzung der LKW-Platoons und den damit verbundenen Möglichkeiten eines kontrollierten Spurversatzes entsteht die Möglichkeit die Verkehrsbelastung auf den gesamten verfügbaren Querschnitt zu verteilen und so die Widerstandsseite optimal zu nutzen. Gerade aus Sicht des PMS ergeben sich daraus Möglichkeiten für effektive Einsparungen, die künftig weiter untersucht werden sollten.

4. Zusammenfassung

Aus den ersten groben Berechnungen hinsichtlich der Berücksichtigung von LKW-Platoons bei Neubau und Sanierung als auch im Erhaltungsmanagement des Straßenoberbaus ist aus heutiger Sicht innerhalb der Rahmenbedingungen wie sie für dieses Projekt definiert wurden, nicht

davon auszugehen, dass sich große Auswirkungen auf die Bemessung ergeben. Dennoch ergeben sich einige Empfehlungen zu Maßnahmen und neuen Prozessen rund um die Oberbaudimensionierung bei Neubau und Sanierung.

Während zu Projektbeginn noch keine publizierten Forschungsergebnisse zu genau dieser Forschungsfrage vorlagen, zeigt der hier umfassend zusammengefasste Stand der Technik, dass diese Frage mittlerweile auch international betrachtet wird. Die Ergebnisse sind dabei abhängig von den gewählten Rahmenbedingungen breit gestreut. Geringe Bedenken hinsichtlich des Oberbaus bestehen bei einer kurzfristig absehbaren sehr geringen Marktdurchdringung ohne Erhöhung der Gesamtverkehrsstärke und Belastung (Jermann et al. 2017; Ulrich et al. 2020; Bouchihati 2020). Andere Studien, die ein sehr fortschrittliches Szenario abbilden, in dem das gesamte Schwerverkehrskollektiv durch autonome, vernetzte Platoons ersetzt wird gehen bei spurgenauem Fahren von deutlich früherem Erreichen der Warnwerte für Spurrinnen und deutlich früherer Ermüdung aus. (Chen et al. 2019; Gungor und Al-Qadi 2020a, 2020b) Dieselben Studien kommen jedoch auch zu dem Schluss, dass Platooning nicht nur eine erhöhte Belastung für den Oberbau bedeuten muss, sondern gerade durch die Vernetzung der LKW und der damit verbundenen Möglichkeit gezielter Spurvariation sogar eine Chance für eine ebenso deutlich höhere Lebensdauer des Oberbaus. Wichtig dabei ist, dass es sich um theoretische Betrachtungen handelt, die von 100% LKW-Platoons mit kontrolliertem Spurversatz ausgehen und nur in so einem Zukunftsszenario Einsparungen bis 50 % der Oberbauerhaltungskosten bei gezieltem Spurversatz im Vergleichszeitraum möglich sind. (Gungor und Al-Qadi 2020a, 2020b) Während ein gezielter Spurversatz möglicherweise vielversprechend sein könnte, müssten derartige Studien einem harten Praxistest für österreichische Autobahnen unterzogen werden.

Vernachlässigbare Auswirkungen auf die Oberbaudimensionierung bei Sanierung, Neu- und Ausbau

Um LKW-Platoons in der Bemessung des Oberbaus bei Neubau- und Sanierungsprojekten im ASFINAG Netz zu berücksichtigen wurde ein simplifiziertes Berechnungsmodell auf Basis der Methodik der RVS03.08.63 erstellt. Dafür wurden neue Äquivalenzfaktoren eingeführt um die hier behandelten LKW-Platoons (2-3 LKW im Abstand von 10-15 m mit variierendem Spurversatz) abzubilden und Parameter um den Spurversatz entsprechend zu berücksichtigen. Die exemplarischen Berechnungen zeigen, dass bei der zu erwartenden Marktdurchdringung von 10 % in den kommenden Jahren nur geringfügig, höhere Belastungen auftreten, die jedoch keine Auswirkung auf die Dimensionierung haben. Ein Spurversatz von 0,50m wäre grundsätzlich zu begrüßen und ist auch gem. der Ergebnisse in AP3 aus Treibstoffeinsparungssicht effektiv. Größere Spurversätze wären auf Grund der verfügbaren Fahrstreifenbreiten tatsächlich ohnehin nur in einem geringen Teil des ASFINAG Netzes realisierbar. Für Sanierung und

Ausbau von LKW-intensiven Strecken wird dennoch auch die rechnerische Dimensionierung gem. RVS 03.08.68 empfohlen, um dabei das Schwerverkehrskollektiv besser abzubilden und auch innovative, verformungsbeständige Mischgüter zum Einsatz zu bringen. Eine grundsätzliche Empfehlung für schwerverkehrsintensive Strecken, um der Spurrinnenbildung vorzubeugen, ist der Einbau von verformungsbeständigen Deck- und Binderschichten oder Betonfahrbahnen.

Erhaltungsmanagement durch Monitoring und Beschränkungen mittels Verkehrsmanagements

Auch in der Lebenszyklusbetrachtung sind mit den prognostizierten langsam eingeführten Szenarien von LKW-Platoons, gerade auch auf Grund des immer noch großzügigen Abstands von 10-15 m, keine signifikanten Verkürzungen der Strukturellen- oder der Gebrauchsdauer zu erwarten. Im PMS sollten Streckenabschnitte auf denen LKW-Platooning zum Einsatz kommt, sofort bei Erreichen des Warnwertes für Spurrinnen saniert und verformungsbeständige Deckschichten eingebaut werden. Ansonsten sollten Beschränkungen solcher Abschnitte durch das Verkehrsmanagement vorbereitet werden. Dasselbe gilt für Abschnitte die bereits aufgrund eines Verkehrsbelastungskoeffizienten unter 1 als unterdimensioniert zu betrachten sind.

Conclusio

Grundsätzlich ist zu beachten, dass im vorliegenden Bericht lediglich eine modellhafte Sensitivitätsanalyse dargestellt werden kann, da die Rahmenbedingungen einer Markteinführung von LKW-Platooning noch unklar sind. Alle in dem Projekt durchgeführten Validierungsfahrten wurden auf geschlossenem Testgelände (Zalazone, Ungarn) durchgeführt. Fahrten im Platoon auf öffentlicher Straße waren nicht möglich, da die StVO einen Mindestabstand von 50 Metern zwischen LKW vorgibt. Bei einer Einführung von LKW-Platooning muss insbesondere die Entwicklung des Gesamtschwerverkehrskollektivs genau beobachtet werden. In diesem Projekt wird von einer reinen Verlagerung des Gesamtschwerverkehrsaufkommens von einzelnen LKW hin zu LKW-Platoons bei gleichbleibender Gesamtverkehrsbelastung ausgegangen. Sollten die dadurch freiwerdenden Kapazitäten jedoch von zusätzlichem Schwerverkehr gefüllt werden, kann sich ein ganz anderes Bild ergeben. Aus jetziger Sicht ist jedoch nicht davon auszugehen, dass mit signifikant erhöhten Schadensauswirkungen durch LKW-Platoons zu rechnen ist, aber der allgemeine Anstieg des Schwerverkehrs stärkere Auswirkungen haben könnte, als die bloße Einführung von Platooning. Da sich die Marktdurchdringung graduell entwickeln wird und gleichzeitig der Entwicklungsgrad von Vernetzungsmöglichkeiten (V2V als auch V2I) steigt, ergeben sich Möglichkeiten für zentralisierte (V2I durch Verkehrsmanagement), als auch dezentralisiert (V2V Spurversatzregelung zwischen Fahrzeugen) Spurversatzsteuerungen, die eine potentielle zukünftige Schonung des Straßenoberbaus möglich machen können. Eine unkontrollierte

Implementierung von Platooning kann jedoch durchaus zu stärkeren Schäden führen. Eine fortlaufende Analyse von Oberbauoptimierten LKW-Platoon Layouts und der Möglichkeiten einer zentralisierten Steuerung des Spurversatzes mittels V2I Vernetzung wird empfohlen um das Potential eines positiven Einflusses auf die Lebensdauer des Straßenoberbaus auf lange Sicht zu realisieren.

Literaturverzeichnis

- [1] Aigner, Walter; Kulmala, Risto; Ulrich, Sandra (2019): Vehicle fleet penetrations and ODD coverage of NRA-relevant automation functions up to 2040. MANTRA: Making full use of Automation for National Transport and Road Authorities – NRA Core Business, Deliverable 2.1.
- [2] Blab, Roland; Eberhardsteiner, Lukas; Haselbauer, Katrin; Marchart, Bettina; Hessmann, Torsten (2014): OBESTO. Implementierung des GVO und LCCA-Ansatzes in die österreichische Bemessungsmethode für Straßenoberbauten. Bericht für die ASFINAG, FFG Projektnummer 2824558, zuletzt geprüft am 18.09.2019.
- [3] Bouchihati, Mohamed el (2020): The impact of truck platooning on the pavement structure of Dutch Motorways. TU Delft, zuletzt geprüft am 30.06.2020.
- [4] Chen, Feng; Song, Mingtao; Ma, Xiaoxiang; Zhu, Xingyi (2019): Assess the impacts of different autonomous trucks' lateral control modes on asphalt pavement performance. In: Transportation Research Part C: Emerging Technologies 103, S. 17–29. DOI: 10.1016/j.trc.2019.04.001.
- [5] Devesa, Antoine; Indinger, Thomas (2011): Verbrauchsreduktion an Nutzfahrzeugkombinationen durch aerodynamische Maßnahmen. FAT-Schriftenreihe 237, zuletzt geprüft am 24.06.2020.
- [6] Gungor, Osman Erman; Al-Qadi, Imad L. (2020a): All for one: Centralized optimization of truck platoons to improve roadway infrastructure sustainability. In: Transportation Research Part C: Emerging Technologies 114, S. 84–98. DOI: 10.1016/j.trc.2020.02.002.
- [7] Gungor, Osman Erman; Al-Qadi, Imad L. (2020b): Wander 2D: a flexible pavement design framework for autonomous and connected trucks. In: International Journal of Pavement Engineering, S. 1–16. DOI: 10.1080/10298436.2020.1735636.
- [8] Jermann, Jörg; Oehry, Bernhard; Bosch, Ralf; Schmid, Thomas; Gasser, Yves; van Driel, Cornelia; Kryeziu, Gzim (2017): Chancen und Risiken des Einsatzes von Abstandshaltesystemen sowie des Platoonings von Strassenfahrzeugen - Machbarkeitsanalyse. Basel, zuletzt geprüft am 08.03.2019.
- [9] PMS Consult (2019): PMS Daten für die ausgewählten Streckenabschnitte. Bautyp, Schichtenzusammensetzung, Zustand, Verkehrsstärke

- [10] Ulrich, Sandra; Kulmala, Risto; Appel, Kristian; Aigner, Walter; Penttinen, Merja (2020): Consequences of automation functions to infrastructure. MANTRA: Making full use of Automation for National Transport and Road Authorities – NRA Core Business, Deliverable 4.2.
- [11] Ulrich, Sandra; Reisenbichler, David; Fürst, Carolin, Kühn, Nicolas (2020): Projekt Spurvariation, Auswirkungen von LKW Platoons auf den Oberbau, Deliverable D4.2,
- [12] Weninger-Vycudil, Alfred; Brozek, Barbara; Litzka, Johann; Petschacher, Martin; Maerschalk, Günther (2014): Erhaltungsziel Integraler Substanzwert im Anlagenmanagement der ASFINAG, zuletzt geprüft am 03.09.2019.
- [13] Weninger-Vycudil, Alfred; Brozek, Barbara; Simanek, Petra; Litzka, Johann (2016): Handbuch Pavement Management in Österreich 2016.



**Digitale
Prozesse**

Auswirkung der Digitalisierung auf Infrastrukturmaßnahmen

Wo fängt die Digitalisierung an und in welchen Bereichen werden Infrastrukturmaßnahmen davon beeinflusst?

Welchen Einfluss hat die Standardisierung auf die Digitalisierung?

Wieviel Standardisierung benötigt die Digitalisierung?

Rebecca Probst

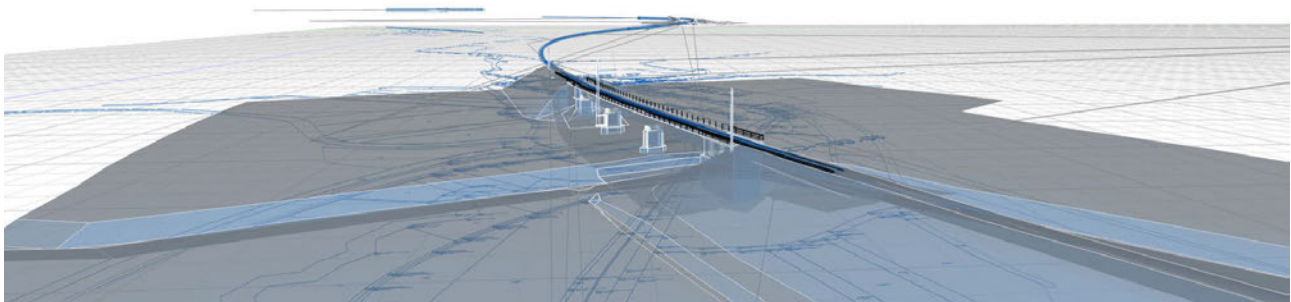
Konstruktionsgruppe Bauen AG, Kempten, Deutschland

Martin Seitner

Konstruktionsgruppe Bauen AG, Kempten, Deutschland

Zusammenfassung

Die Digitalisierung von Verkehrsinfrastrukturen und der Einsatz der BIM-Methode liefern transparente Daten für Entscheidungsgrundlagen. Um daraus auch die Prüf- und Genehmigungsprozesse beschleunigen zu können, bedarf es neben der Software, fähigem Personal und neuen Prozessen vor allem Standards. Diese sind vor allem für die Nutzung von Informationen über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks wesentlich, denn erst standardisierte, strukturierte und maschinenlesbare Daten ermöglichen den Einsatz von maschinellem Lernen und automatisierter Datenverarbeitung. Dabei können die sogenannten digitalen Zwillinge eines Bauwerks durch die automatisierte Verarbeitung von Punktwolkendaten von Bestandsmodellen erzeugt werden, oder durch digitale Planungsmethoden und die Anreicherung von Daten in der Planungs- und Bauphase zu Bestandsmodellen generiert werden. Durch standardisierte Daten können Erhaltungsmaßnahmen bauwerksübergreifend betrachtet und neue Zusammenhänge ermittelt werden, um diese vorausschauend zu steuern, die Lebensdauern zu verlängern und ressourcen- und klimaschonende Aspekte zu beachten.



1. Building Information Modeling

In der Baubranche wird Digitalisierung oft mit Building Information Modeling (kurz BIM) gleichgesetzt. Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur definiert BIM als eine kooperative Arbeitsmethodik, mit der auf der Grundlage digitaler Modelle eines Bauwerks die für seinen Lebenszyklus relevanten Informationen und Daten konsistent erfasst, verwaltet und in einer transparenten Kommunikation zwischen den Beteiligten ausgetauscht oder für die weitere Bearbeitung übergeben werden. Im Mittelpunkt dieser Methode steht ein virtuelles 3D-Bauwerksmodell, welches neben geometrischen und topologischen auch semantische Informationen beinhaltet. Das Bauwerksmodell kann für viele Anwendungsfälle in der Planungs-, Ausführungs- und Betriebsphase verwendet werden und führt zu einer erheblichen Effizienz- und Qualitätssteigerung in allen Lebenszyklusphasen einer Infrastruktur.

Die Digitalisierung von Infrastrukturmaßnahmen beginnt jedoch bereits bevor ein Modell entsteht und entwickelt vor allem in der Betriebs- und Erhaltungsphase erhebliche Potenziale.

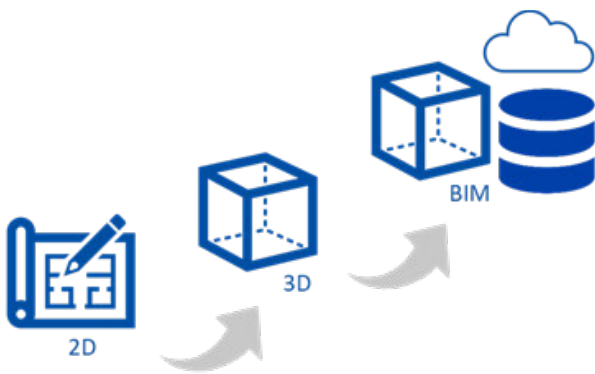


Abbildung 1: Building Information Modeling (BIM)
(Quelle: Konstruktionsgruppe Bauen AG)

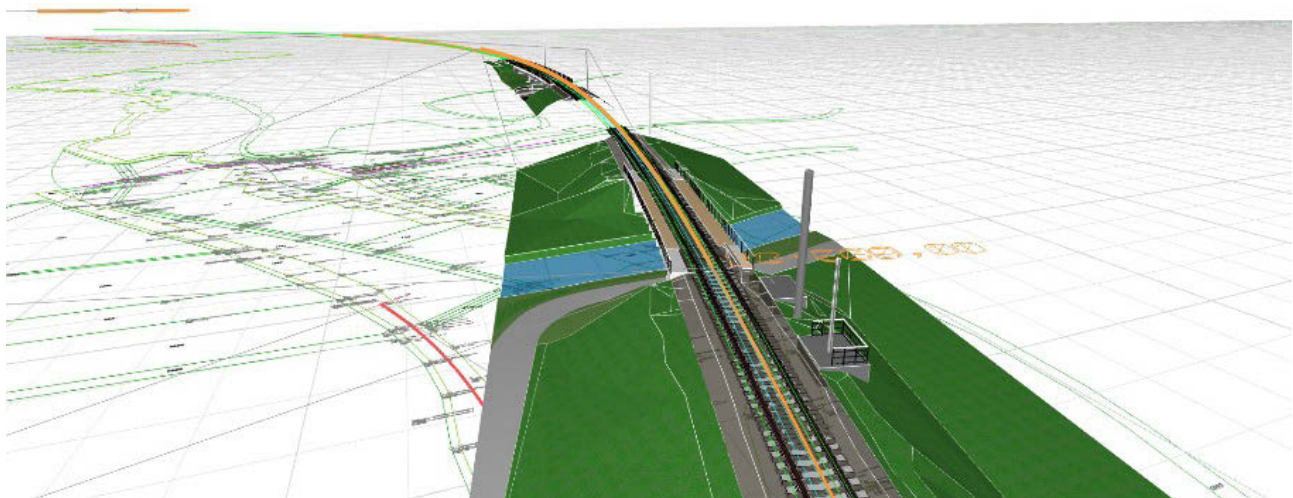


Abbildung 2: Verkehrsinfrastrukturmodell (Quelle: Konstruktionsgruppe Bauen AG)

2. Herausforderungen in Verkehrsinfrastrukturprojekten

Verkehrsinfrastrukturbauwerke sind im Gegensatz zu Hochbauten stark mit ihrer Umwelt vernetzt und müssen so auch im Gesamtkontext betrachtet werden. Infrastrukturprojekte sind entsprechend weitläufig und bestehen aus in Abhängigkeit zueinander stehenden, verschiedenartigsten Bauwerksstrukturen wie den linienförmigen Strecken, den punktförmigen Brücken und dem flächenförmigen Gelände. Während der Bauphase wandert zudem die Baustelle kontinuierlich entlang der Strecke und stellt somit hohe Anforderungen an die geographische Lage der Plandaten.

Weiterhin wechseln Infrastrukturprojekte in der Lebenszyklusbetrachtung eines Bauwerkes häufig die Zuständigkeiten in der Verwaltung auch wenn diese letztendes in einer Hand bleiben. Dennoch ist der Ablauf solcher Projekte von der Idee bis zum Abriss in zahlreichen Regelwerke, Standards, Normen und Richtlinien definiert und werden im konventionellen Planungsprozess auch entsprechend umgesetzt.

3. Digitalisierung und Standardisierung

Die Digitalisierung ist der Wandel von analogen Prozessen hin zu digitalen Prozessen. Die Digitalisierung in Baubranche ist kein IT-Thema, sondern trifft alle Bereiche, in denen durch die Digitalisierung neue Produkte, neue Prozesse und neue Wege entstehen. Ein wesentlicher Mehrwert der Digitalisierung von Infrastrukturprojekten entsteht erst in der Verwendung gleicher Informationen über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks hinweg. Um dies über alle Lebenszyklusphasen zu nutzen sind einheitliche Datenstrukturen über alle Phasen sowie alle Bauwerke einer Verwaltungseinheit, unerlässlich. Um dies gewährleisten zu können, ist es erforderlich nach einheitlichen Standards zu arbeiten und auch die

vorhandenen Standards in das digitale Zeitalter zu heben. Dabei ist es wesentlich auch die Prozesse aller Projektbeteiligten, vom Bauherrn über die Planer, die ausführenden Unternehmen, die Genehmigungsbehörden, die Prüfingenieure, die Projektsteuerer bis hin zum Bauleiter und den Betrieb zu betrachten.

Erst die standardisierten, strukturierten und maschinenlesbare Daten ermöglichen die Anwendung von automatisierten Prozessen, Machine Learning Verfahren, DataMining und den Einsatz von künstlicher Intelligenz. So können Zusammenhänge und Muster automatisiert erkannt werden und durch den ingenieurtechnischen Sachverstand bewertet werden. Erhaltungsmaßnahmen können vorausschauend gesteuert, Lebensdauern der Bauwerke verlängert und ressourcen- und klimaschonende Aspekte beachtet und Maßnahmen optimiert geplant werden. Im Zuge verschiedener Forschungsprojekte werden die Anforderungen an die Standardisierung von digitalen Projekten untersucht.

4. Digitalisierung im Lebenszyklus

Die Digitalisierung von Bauprojekten beginnt bereits bei der ersten Projektidee.

Vor allem in der Projektvorbereitung werden wesentliche Grundlagen für die Digitalisierung eines Infrastrukturprojektes gelegt. In dieser Phase werden die Datenstrukturen definiert, Koordinationsprozesse, Ablagestrukturen und Projektplattformen aufgesetzt und implementiert und die digitalen Aspekte in den Ausschreibungen berücksichtigt. Um die Informationen allen Projektbeteiligten redundanzfrei und transparent zur Verfügung zu stellen werden diese

in 3D-Modellen und damit verknüpften Datenbanken auf einer Projektplattform zentral gespeichert.

In einem kooperativen, modellbasierten Planungsprozess werden die relevanten Daten und Informationen konsistent erfasst, verwaltet und transparent ausgetauscht. Eine große Herausforderung stellt hier derzeit noch die Diskrepanz zwischen den geltenden Regelwerken und den Möglichkeiten digitaler Prozesse dar. So werden beispielsweise Plandarstellungen von Bauwerksentwürfen in den Richtlinien RAB-ING bzw. RE 2012 detailliert beschrieben. Die BIM-Methode bietet jedoch neue Möglichkeiten einen Bauwerksentwurf ohne Pläne darzustellen. Wichtig zu betrachten ist dennoch, dass auch modellbasierte Darstellungen vergleichbar geprüft und weiter bearbeitet werden müssen. Dafür ist es erforderlich, dass es auch die digitalen Planungsergebnisse soweit standardisiert werden, dass auch die Prüfprozesse digitalisiert, standardisiert und ggf. teilautomatisiert werden können. Für die Übergabe von Planungsdaten in die Ausführungsphase werden standardisierte Daten erforderlich, um so die Prozesse der ausführenden Firmen, der Bauoberleitung und Bauüberwachung sowie aller weiterer Projektbeteiligten über alle Projekte hinweg vereinheitlichen zu können. Bei den ausführenden Firmen hebt die Digitalisierung den Mehrwert vor allem in der Vorfertigung von Bauteilen und der optimierten Steuerung ihrer Baumaschinen. Dafür dienen die BIM-Modelle aus der Planungsphase als Grundlage. Die vernetzten Daten zwischen Baumaschinen und digitalen Modellen ermöglichen eine optimierte Ausführungsqualität und effiziente Prozesse. Über Cloud Computing wird die Vernetzung von Informationen mit beispielsweise Echtzeitinformationen von Baumaschinen genutzt, um Bauprozesse zu optimieren.



Abbildung 3: Gründe für die Lebenszyklusbetrachtung von Bauwerke (Quelle: Konstruktionsgruppe Bauen AG)

Die wandernden Baustellen stellen eine Herausforderung für die konsequente, sichere Überwachung des gesamten Baugeschehens sowie der Dokumentation dar. Mit Hilfe von Drohnen können diese Herausforderungen bewältigt und in einen digitalen Prozess integriert werden. Die Modelldaten dienen als Grundlage für die Flugruten. Die Aufnahmen können so am Modell verortet und mit den Modelldaten verknüpft werden.

Durch die strukturierte und analysierbare Datenbasis der digitalen Bauwerksmodelle welche im Zuge von BIM-Projekten in der Planungs- und Bauphase entstehen ergeben sich für die Betreiber von Infrastrukturbauwerken enorme Vorteile. So bilden diese zum einen eine gute Grundlage für die Bewertung des Bauwerkszustandes mit Hilfe von probabilistischen Methoden. Voraussetzung dafür sind auch hier einheitlich strukturierte Daten. Das digitale Bauwerksmodell stelle in erster Linie die 3D-Geometrie aller Bauteile zur Verfügung, was die Verortung von Schädigungen, das Anheften von Photographien und die Visualisierung des ermittelten Zustands ermöglicht. Werden die Daten zusätzlich mit zeitlichen Informationen verknüpft, entsteht ein 4D-Modell, welches hervorragend geeignet ist, um die Schadens- und Zustandsentwicklung des Bauwerks über gewählte Zeiträume wiederzugeben. Über die semantische Klassifi-

zierung der einzelnen Bauteile und der Verknüpfung mit weiteren Attributen könne alle für das Erhaltungsmanagement notwendigen Informationen im BIM-Modell hinterlegt werden.

Im Zuge des Forschungsprojekts „Building Information Modeling (BIM) im Brückenbau“ das von der Technischen Universität München und der Konstruktionsgruppe Bauen im Auftrag der BAST durchgeführt wird, werden konkrete Anforderungen an digitale as-built Modelle zum Einsatz im BIM-gestützten Erhaltungsmanagement erarbeitet. Hier wird neben den semantischen Anforderungen auch berücksichtigt, welche geometrische Genauigkeit ein as-built Modell aufweisen muss, um in verschiedenen Anwendungsfällen eingesetzt werden zu können. Dies bildet einen weiteren Baustein zu Definition von Standards digitaler Prozesse im Bauwesen.

Zusätzlich zur reinen Digitalisierung bestehender Prozesse könne durch die Verwaltung und Vernetzung der Daten über das gesamte Projektportfolio neue Zusammenhänge ermittelt werden. So können beispielsweise mit Hilfe von neuronalen Netzen erwartete Schädigungen zu bestimmten Zeitpunkten sowie die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Schädigungsprozessen ermittelt und erfasst werden.



Abbildung 4: Digitalisierung im Lebenszyklus von Infrastrukturprojekten (Quelle: Konstruktionsgruppe Bauen AG)

Digitalisierung im Bereich Betrieb und Erhaltung von Autobahnen – App-gestütztes Asset Management

Dipl.-Ing., MBA Tobias Kupfer

HOCHTIEF PPP Solutions GmbH, Essen, Deutschland

Leiter Betrieb und Erhaltung bei der ViA6West GmbH & Co. KG

Zusammenfassung

HOCHTIEF PPP Solutions betreibt und erhält eine Vielzahl von Straßeninfrastrukturprojekten. Hierbei sind zahlreiche Anforderungen an Betrieb und Erhaltung zu erfüllen, die von der Dokumentation von Ereignissen, Kontroll-, Prüf- und Wartungstätigkeiten, der Leistungserbringung des Betriebes sowie den Erhaltungsmaßnahmen bis hin zu einem sehr umfangreichen Berichtswesen reichen.

Um Betrieb und Erhaltung wirtschaftlich und organisatorisch erfolgreich zu steuern, wurden die Betriebs- und Erhaltungsprozesse der Straßeninfrastruktur digital abgebildet und werden größtenteils App-gestützt umgesetzt.

Dabei werden anhand eines BIM-Modells die relevanten Informationen zur Verfügung gestellt, welche so die Grundlage für die Abbildung der digitalen Prozesse bilden.

Damit verbunden ist ein ganzheitliches Asset Management System, welches eine prozessgestützte und transparente Zusammenarbeit mit den am Projekt beteiligten Partnern in den Projektphasen Bau, Betrieb und Erhaltung sicherstellt.

1. Digitalisierung im Bereich Betrieb und Erhaltung von Autobahnen

HOCHTIEF PPP Solutions betreibt und erhält eine Vielzahl von Straßeninfrastrukturprojekten. Hierbei sind zahlreiche Anforderungen an Betrieb und Erhaltung zu erfüllen, die von der Dokumentation von Ereignissen, Kontroll-, Prüf- und Wartungstätigkeiten, der Leistungserbringung des Betriebes sowie den Erhaltungsmaßnahmen bis hin zu einem sehr umfangreichen Berichtswesen reichen.



Um Betrieb und Erhaltung wirtschaftlich und organisatorisch erfolgreich zu steuern, wurden die Betriebs- und Erhaltungsprozesse der Straßeninfrastruktur seit Beginn der ersten PPP-Projekte digital abgewickelt. Zu Beginn wurden Arbeitsaufträge und das Berichtswesen automatisiert, mittlerweile werden anhand eines BIM-Modells die relevanten Informationen zur Verfügung gestellt und auf Basis dieses Modells die digitalen Prozesse abgebildet.

Die Digitalisierungsinitiativen erhielten mit der Einführung von Microsoft Office 365 einen neuen Horizont für Eigenentwicklungen neuer Use cases.

Die Projekt- und Betreibergesellschaften haben durch die Integration von Microsoft Office 365 in den Geschäftsablauf folgende Vorteile:

- Prozessoptimierung
- Transparenz intern und extern
- Prozesssicherheit

Ein weiteres Digitalisierungsfeld ist das App-gestützte Asset Management mit Integration innerhalb des BIM-Modells.

2. P3IM – PPP Informationsmanagement

Das PPP Information Modeling (P3IM) ist eine Entwicklung von HOCHTIEF PPP Solutions (Niederlassung Transport Infrastruktur Europa) unter Anwendung der Building Information Modeling (BIM) Methode.

Das P3IM ist auf den Leistungsumfang von Bau- und Projektmanagement sowie Betrieb und Erhaltung von Straßeninfrastrukturprojekten adaptiert. Der besondere Vorteil besteht darin, dass durch die enthaltenen Werkzeuge zur Aufnahme, Integration, Verknüpfung und Auswertung von Daten sowie ihre Visualisierung am Modell Informationen über die gesamte Lebenszyklusphase transparent zur Verfügung gestellt werden, um durch Analysen der Informationen zu neuen Erkenntnissen zu gelangen

2.1 P3IM Management-Modell

Von zentraler Bedeutung ist das P3IM Management-Modell im 3D-BIS von HOCHTIEF Vicon, an welchem Daten und Informationen visualisiert sowie Use Case übergreifend verknüpft und auch ausgewertet werden können. Die Navigation des P3IM Managementmodells erfolgt nach einer Project Breakdown Structure (PBS), die speziell für die Aufgaben einer Projektgesellschaft erarbeitet wurde. Die PBS ist das verknüpfende Element zwischen dem P3IM Managementmodell und den Informationen der verknüpften Use Cases über den Lebenszyklus des PPP-Projekts.

Auch das P3IM Management-Modell ist in seinem Grad der Detaillierung (LoD) für Geometrie (LoG) und Informationen (LoI) auf die Anforderungen des Asset Managements abgestimmt. Es wird dabei kein exakter „Digitaler Zwilling“ modelliert, sondern es werden im Modell alle für das Projekt relevanten Objekte von Strecke und Ingenieurbau schematisch mit einer ausreichenden Genauigkeit abgebildet. Aufgrund des großen räumlichen Umfangs von PPP-Projekten der Verkehrsinfrastruktur kommt der Verfügbarkeit und Auswertung von Informationen unterschiedlicher Use Cases über den Lebenszyklus am Modell eine besondere Bedeutung zu. Mit diesem Ansatz hat sich das P3IM neben Transparenz und Prozesssicherheit auch zu einer wichtigen Säule im Risikomanagement etabliert.

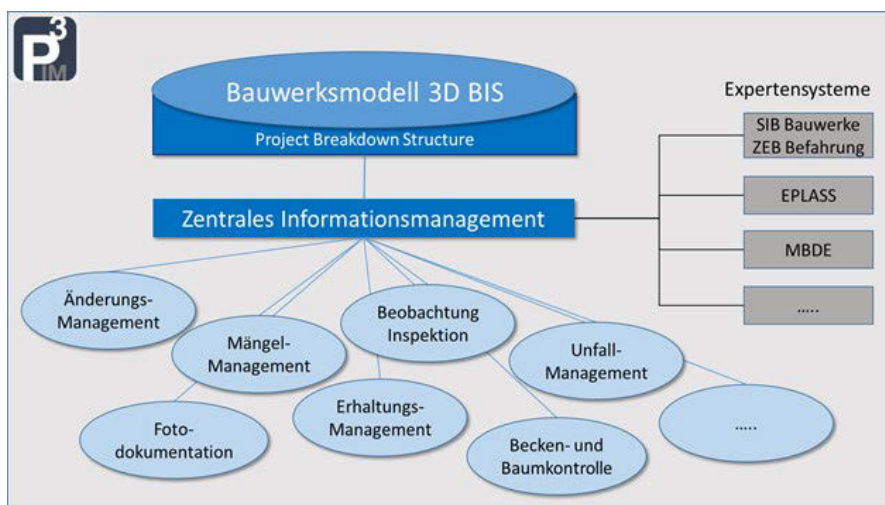


Bild 1: Darstellung P3IM Management-Modell

2.2 Asset Management im P3IM

Das P3IM bestehend aus dem P3IM Management-Modell und hiermit verknüpften Informationen und Daten aus unterschiedlichen Datenquellen ist ein Asset Management System, das sich mit seinen Use Cases auf Baumanagement, Betrieb und Erhaltung sowie der prozessgestützten, transparenten Zusammenarbeit mit anderen am Projekt beteiligten wie dem Baupartner und der Bauüberwachung fokussiert.

Eine wichtige Plattform für neue Use Cases ist Microsoft Office 365. Über die Microsoft Power Platform (bestehend aus Microsoft PowerApps, Flow und Power BI) lassen sich eigene Apps entwickeln, die dann über die PBS mit dem P3IM Management-Modell verknüpft werden können. Diese Apps können sowohl auf mobilen Endgeräten wie Smartphones und Tablets - mit verschiedenen Betriebssystemen wie iOS oder Android - als auch über den lokalen Windows Desktop-PC genutzt werden.

Basierend auf dem P3IM Management-Modell und der zugrundeliegenden Project Breakdown Structure werden die Asset Management Prozesse unter Zuhilfenahme von SharePoint Online und der Power Platform (bestehend aus Power-Apps, Automation, PowerBI) digital abgebildet.

Im SharePoint Online werden Daten unterschiedlichster Datentypen gespeichert. Von der einfachen Speicherung von reinen Textdatensätzen bis hin zu Fotos und PDF-Dokumenten lassen sich innerhalb dieser Umgebung alle erfassten Daten über Listen und Bibliotheken effizient speichern und verwalten. Eine standardisierte Schnittstelle vereinfacht zudem das Zusammenspiel zwischen PowerApps und SharePoint Online.

Power BI ist ein Business Analytics Service innerhalb der Power Platform, über den Reports und Dashboards erstellt werden können. Mittels Microsoft Power BI werden alle in SharePoint Online verfügbaren Daten eines einzelnen Anwendungsfalls visualisiert und analysiert.

Die Reports lassen sich über Webparts einfach in SharePoint Online Webseiten einbinden und bieten den Anwendern so eine einheitliche Umgebung.

Um Geschäftsprozesse zu automatisieren, wird Microsoft Automation eingesetzt. Automation ist ein cloud-basiertes Tool zur automatisierten Abwicklung von Aufgaben bzw. Workflows. Als Beispiele sind u.a. das automatisierte Versenden von Emails an Geschäftspartner, die Abwicklung von Genehmigungsprozessen oder Terminverfolgungen zu nennen.

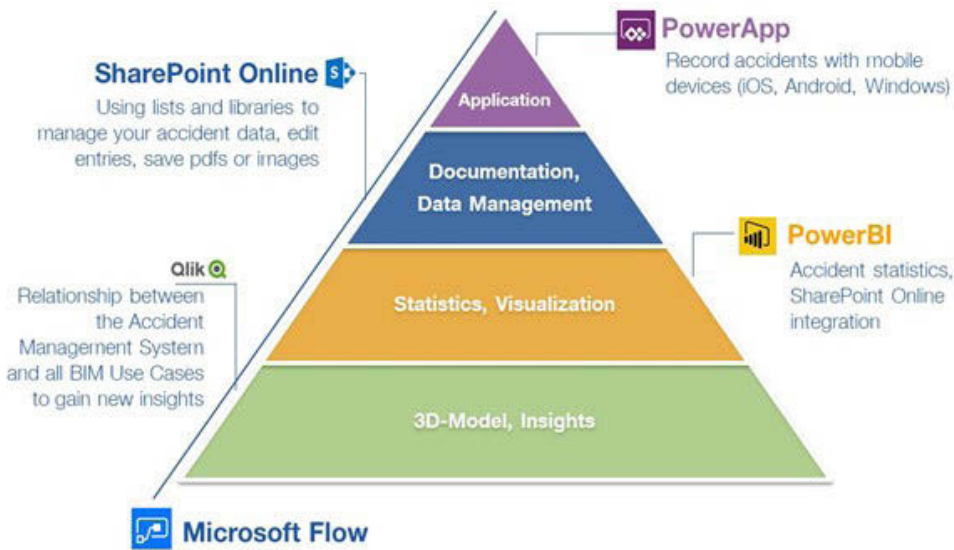


Bild 2: Asset Management Prozesse

Um neue Erkenntnisse zu erhalten, werden die Daten und Informationen der Use Cases innerhalb des P3IM-Management-Modells mithilfe der Project Breakdown Structure miteinander verknüpft. Über eine standardisierte Schnittstelle kann das P3IM-Management-Modell jederzeit auf alle verfügbaren Daten aus der SharePoint Online Umgebung zugreifen. So entsteht ein ganzheitliches Bild über alle Use Cases im P3IM-Management-Modell. Anwendungsfallübergreifende detaillierte Reports und Dashboards innerhalb des P3IM-Management-Modells sind das Resultat des vernetzten Datenmodells.

3. App-gestütztes Asset Management

HOCHTIEF PPP Solutions verwirklicht über P3IM die Umsetzung von zahlreichen mobiler Anwendungen (Apps) als Use Cases für Bau, Betrieb und Erhaltung der Straßeninfrastrukturprojekte mit der Office 365 Technologie.

Im Folgenden werden beispielhaft drei Anwendungen detaillierter dargestellt.



Bild 3: Auszug umgesetzter App-Anwendungen

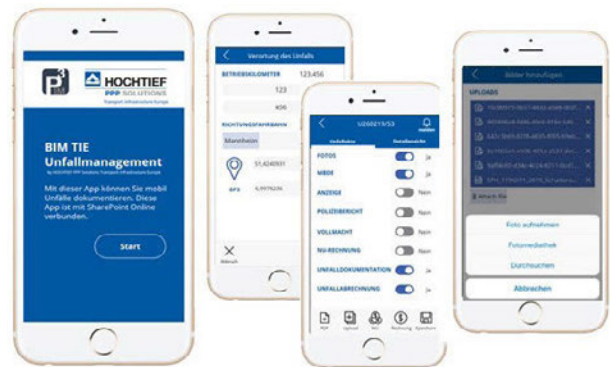


Bild 4: Unfall-Applikation

3.1 Unfallmanagement

Das P3IM-Unfallmanagementsystem der HOCHTIEF PPP Solutions der Niederlassung Transport Infrastruktur Europa wurde entwickelt, um den gesamten Prozess der Unfallabwicklung vom Unfallereignis bis zur Schadensabrechnung und Nachverfolgung zu digitalisieren und automatisieren. Entwickelt wurde das P3IM-Unfallmanagementsystem auf dem Projekt A6, bei welchem der Betriebsdienst jährlich ca. 300 Unfälle mit einer Gesamtschadenshöhe von ca. 1 Mio EUR abzuwickeln hat.

Die Unfallaufnahme erfolgt über eine App. Unfalldaten inklusive Fotos werden direkt am Unfallort eingegeben und an den SharePoint Online übertragen. Dort erfolgt zugleich auch die Verwaltung der Unfalldaten. Mit Microsoft Flow werden die digitalen Prozesse abgewickelt. Nach der Erfassung eines Unfalls lässt sich

direkt über die App die Unfalldokumentation und Schadensabrechnung erzeugen. Ebenfalls kann bei besonders relevanten Ereignissen auch der Projektgeber über einen Flow direkt informiert werden. Aus den Unfalldaten werden mithilfe von Power BI zudem verschiedene Reports erzeugt. Eine dynamisch aktualisierte Unfallsteckkarte visualisiert zudem alle Unfallorte.

Die Vorteile des Unfallmanagement-Systems sind:

KOSTENEINSPARUNG: Dokumentation und Abrechnung erfolgen direkt über die App. Dies sorgt für Entlastung, da weniger „Nacharbeit“ notwendig ist. Administrative Kosten können so bis zu 80 % pro Jahr gesenkt werden und die „Cash-Lücke“ zwischen Abrechnung und Schadensregulierung wird kleiner.

DATEN-MANAGEMENT: Unfalldaten müssen nur einmal erfasst werden und können anschließend über die SharePoint Online Umgebung jederzeit abgerufen werden.

AUTOMATISIERUNG: Automatisierte Prozesse steigern die Sicherheit und Qualität, minimieren die Risiken und ermöglichen die schnellere Durchführung administrativer Aufgaben.

ERKENNTNISSE: Über ein intelligentes Datenmodell können mit Power BI neue Erkenntnisse gewonnen werden. Alle Unfalldaten lassen sich analysieren und visualisieren.

3.2 Gewährleistungsmanagement

Während der Bauausführung werden die baulichen Mängel bzw. Feststellungen über die mobilen Anwendungen der Zustandsfeststellungen für Strecke und Ingenieurbau aufgenommen und am P3IM Management-Modell visualisiert.

Wenn Streckenabschnitte abgenommen und somit in Betrieb genommen werden, läuft ab diesem Zeitpunkt die Gewährleistung. In der Betriebsphase können dann Gewährleistungsmängel auftreten, aber auch Schäden, die durch Dritte verursacht werden, wie z.B. durch Unfälle. Um hier sämtliche auftretenden Mängel und Schäden zu verwalten und die unterschiedlichen Beteiligten und unterschiedlichen Gewährleistungsfristen strukturiert zu managen, wurde der Prozess des Gewährleistungsmanagements digitalisiert.

Die Verwaltung des Gewährleistungsmanagements erfolgt über eine SharePoint Online-Umgebung, in welcher sämtliche Mängel und Schäden mit allen Detailinformationen (Metadaten / Anlagen / Fotos / Schriftverkehr) systematisiert abgelegt werden.

Mobile Anwendungen unterstützen den Prozess:

- Aufmaße zur Behebung von Unfallschäden
- Abnahmen vor Ort

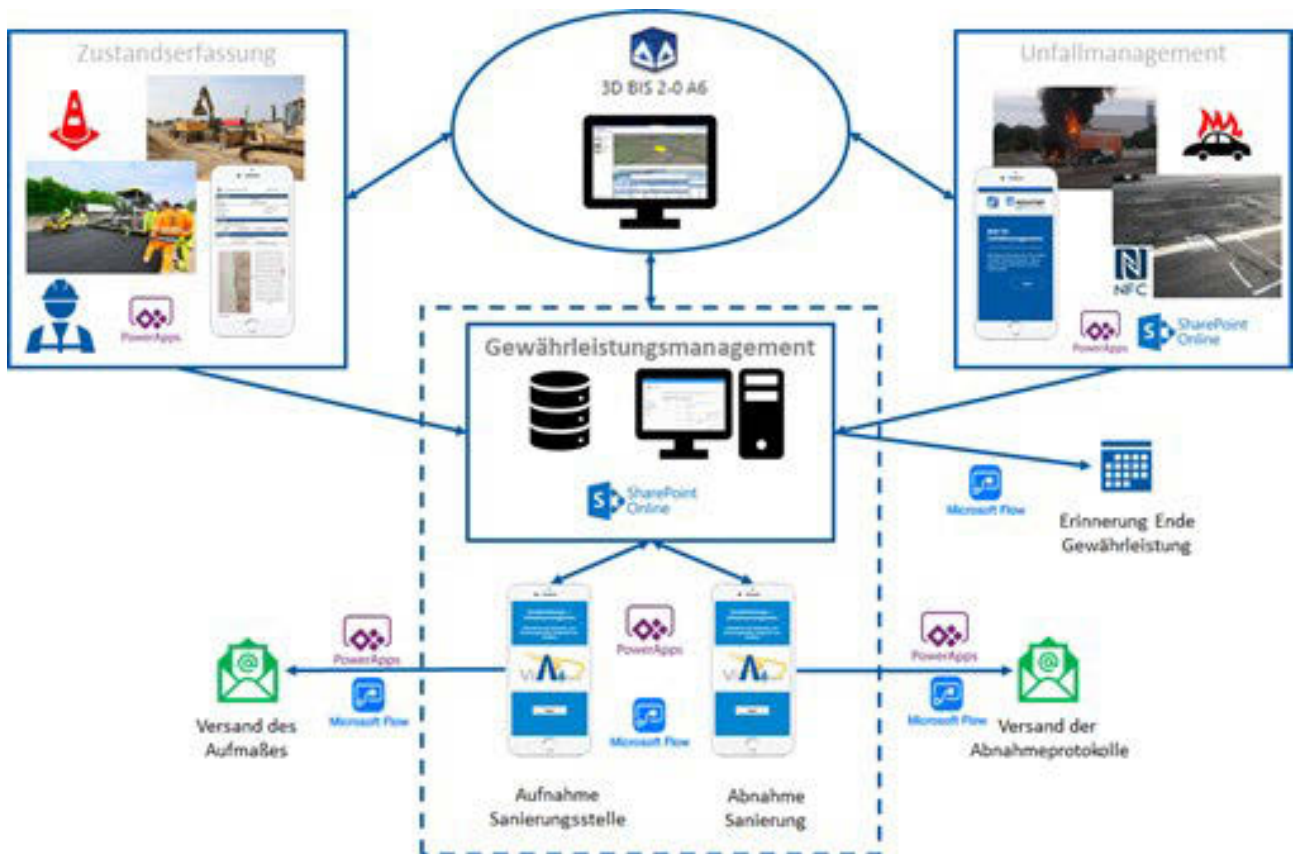


Bild 5: Gewährleistungsmanagement

Die Aufmaße bzw. Protokolle, die mit der App erzeugt wurden, werden automatisch als PDF-Datei per Email an die Beteiligten versendet, so dass kein Nacharbeiten mehr notwendig ist. Unterschrieben wird hierbei ebenfalls auf dem Smartphone / iPad direkt im digitalen Formular.

Das Gewährleistungsmanagement verfügt des Weiteren über eine Reminder-Funktion, die rechtzeitig vor Ablauf der Gewährleistung daran erinnert, dass eine Gewährleistungsnachschauf durchzuführen ist.

3.3 Einsatzkräfte-App

Die ViA6West-Einsatzkräfte-App dient der „smarten“ Bereitstellung von wichtigen Informationen für Einsatzkräfte auf der Autobahn im Teilabschnitt AS Wiesloch/Rauenberg bis AK Weinsberg und wurde von ViA6West in Zusammenarbeit mit HOCHTIEF PPP Solutions und der Hochschule Biberach entwickelt.

Im Zuge von Verkehrsunfällen kommt es immer wieder zu Havariefällen, bei denen es schnell gehen muss und Informationen der Strecke für Entscheidungen der Einsatzkräfte und des Betriebsdienstes enorm wichtig sind.

Bei der Entwicklung wurde großer Wert auf die einfache und intuitive Bedienbarkeit gelegt.

Ziel der Software ist, den Einsatzkräften auf schnellstem Weg so viele Informationen wie möglich mit an die Hand zu geben – unabhängig von der Uhrzeit und der Erreichbarkeit von zuständigen Stellen. Und neben den Einsatzkräften sollen auch die Kraftfahrer profitieren, denn das Schadensereignis kann schneller und effizienter abgearbeitet werden, die Autobahn ist dann unter Umständen wieder früher für den Verkehr frei.

Kernstück der Smartphone-App ist die Zurverfügungstellung von Informationen über die Entwässerung, die im Havariefall mit beispielsweise einem Gefahrguttransporter essenziell sind.

Bei einem Verkehrsunfall können über einen QR-Code, welche in der jetzt gestarteten Pilotphase alle 500 Meter an den Kilometrierungstafeln angebracht sind, alle wichtigen Daten angezeigt werden. Der Nutzer wird zielgerichtet zu dem Rückhaltebecken geführt, in welches der beispielsweise auslaufende Kraftstoff fließt. Damit sind die Informationen zu Schließen von Schiebern o.ä. sofort verfügbar.

Die Funktionen im Überblick sind:

- Dokumentationen von Einsätzen, inkl. Fotos
- Streckenkarte
- Link zu Verkehrskameras
- Wetterdaten

- Informationen zur Entwässerung mit Ortung über QR-Codes an der Strecke
- Informationen zu Nothaltebuchten
- Informationen zu Abschnitten mit offenporigem Asphalt
- Schnellwahl zum Einsatzleiter der ViA6West
- Interne Bereich für Feuerwehren

Die Einsatzkräfte-App wird darüber hinaus auf die individuellen Bedürfnisse der einzelnen Feuerwehren angepasst. Mittlerweile wird die Plattform als gemeinsames Tool zur Dokumentation von Einsätzen genutzt.

4. Fazit

Die Digitalisierung der Prozesse über den gesamten Lebenszyklus hat große Vorteile:

- Zeit- und Kostenersparnis durch Prozessoptimierung
- Risikoreduktion
- Transparenz
- Prozesssicherheit
- Durchgängige, transparente Zusammenarbeit mit den Partnern

Die Entwicklungen in Bezug auf neue Technologien und digitalen Tools sind rasant.

Ein App-gestütztes Asset Management spielt bei den PPP-Projekten bei HOCHTIEF bereits eine zentrale Rolle. Es unterstützt unmittelbar bei den Prozessen auf der Strecke und die Erkenntnisse fließen mittels der Anbindung an das BIM-Modell direkt in die Erhaltungsplanungen ein. Ein echter Mehrwert für den Life-Cycle-Ansatz.

Literaturangaben

- [1] Tobias Kupfer / Stefan Rynkowski / Dr. Daniela Schäfer, 2019, „Betriebsdienst 2.0“ – Digitalisierungs-initiativen für den Autobahnbetrieb, Tagungsbeitrag HOCHTIEF Civil Colloquium 2019
- [2] Dr. Daniela Schäfer, 2017, Anwendung von BIM in PPP-Projekten – Beispiel A7 Nord, Tagungsbeitrag HOCHTIEF Civil Colloquium 2017
- [3] Dr. Joachim von Lukowicz, Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Ivan Čadež, Frank Bialas, Dr. Daniela Schäfer, 2019, Nutzung von BIM für das Asset Management von Verkehrsinfrastruktur am Beispiel des ÖPP-Projekts A7, Tunnelbautaschenbuch 2019
- [4] Dr. Daniela Schäfer, 2019, Nutzung von BIM für das Asset Management von Verkehrsinfrastruktur – Projektbeispiel A6, 1. Kolloquium Straßenbau in der Praxis, Technische Akademie Esslingen

Digitale Prozesse mobil unterstützen

Online Web-App zur Aufbruchs anmeldung als Baustein zum e-Government

Ralf Behrens

IP SYSCON GmbH, Hannover

Zusammenfassung:

Durch Onlineanmeldungen von Aufbrüchen des öffentlichen Verkehrsraumes sowie der zugehörigen, digitalen Kommunikation zwischen den ausführenden Baufirmen und der Kommunalverwaltung über eine responsive Web-App lassen sich klassische, kommunale Prozesse optimieren und Fehlerquellen durch ein standardisiertes Vorgehen minimieren. Die zum Einsatz kommende Web-App Aufbruchs anmeldung HQ kann dabei sowohl im Intra-, als auch im Internet über einen Browser betriebssystemunabhängig auf allen Endgeräten online genutzt werden. Beschrieben werden der Anmeldeprozess, die Dateneingabe, die räumliche Verortung, die Ergänzung von Dokumenten und der aktive Informationsaustausch im Zuge der Aufbruchsdurchführung bis zum Gewährleistungsende. Es wird aufgezeigt, wie ein standardisiertes Web-Portal die Kommunikation zwischen Antragsteller und kommunalen Mitarbeiter zum beidseitigen Vorteil digitalisiert und optimiert werden kann.

1. Einführung

Aufbrüche (auch Aufgrabungen genannt) sind lokale und zeitlich meist auf wenige Tage beschränkte Baumaßnahmen im öffentlichen Straßenraum, die überwiegend durch Ver- und Entsorger veranlasst sind. In vielen Fällen gehen Aufbrüche mit Einschränkungen für die Bevölkerung einher, z. B. durch Fahrbahnverengungen, Umleitungen oder Fußwegbeschränkungen. Um Gefährdungen im öffentlichen Verkehrsraum durch diese Baumaßnahmen zu verhindern, sind entsprechende Regelungen zur Anmeldung, Absicherung, Durchführung und Abnahme der Baumaßnahmen zwingend erforderlich. Da jeder Aufbruch eine Störung des Schichtverbunds im Straßenbau darstellt, muss die aufgegrabene Verkehrsfläche im Anschluss an die Arbeiten wieder in einen ordnungsgemäßen, technisch gleichwertigen Zustand versetzt werden. Dies ist durch die Kommunalverwaltung entsprechend zu prüfen und zu überwachen.

Jeder Aufbruch in öffentlichen Straßen, Wegen, Plätzen, Geh- und Radwegen und öffentlichen Feld- und Waldwegen bedarf im Vorfeld der Durchführung gegenüber den kommunalen Institutionen der Städte und Gemeinden (Straßenbaubehörde) per Gesetz der Zustimmung. Ein solcher Antrag zur Genehmigung eines Aufbruchs wird in der Regel zwei Wochen vor Baubeginn erwartet. Soweit durch die Aufgrabung Verkehrsbeschränkungen

notwendig werden, sind vom Verursacher zudem die erforderlichen verkehrsrechtlichen Anordnungen mindestens 2 Wochen vor Baubeginn bei der Unteren Straßenverkehrsbehörde zu beantragen. Dazu bedarf es einer fachlichen Abstimmung und Kommunikation zwischen Antragssteller (Ver- bzw. Entsorger) und der kommunalen Verwaltung.

An dieser Stelle gibt es potenzielle Unschärfen in der Durchführung des Ablaufs, da die Anfragen zur Genehmigung eines Aufbruchs zum Teil per analogem Vordruck zum Download (PDF-Datei), formlos per E-Mail, analog per Post oder gar lediglich über das Telefon eingehen. Im äußersten Fall erreicht gar keine Information die kommunale Fachabteilung.

Um derartigen heterogenen und somit fehleranfälligen Kommunikationswegen entgegenzuwirken, besteht die Möglichkeit, den Prozessschritt der Aufgrabungsanmeldung komplett zu digitalisieren und bestmöglich zu strukturieren. Grundlegend sind Informationen zur ausführenden Baufirma, zum Aufgrabungsgrund, zu Zeitraum und Ansprechpartner sowie eine geeignete räumliche Information an die kommunalen Fachmitarbeiter zu übergeben.

Auch für den Fall, dass sich der Ausführungszeitraum der Bauarbeiten von dem beantragten Zeitraum erheblich unterscheidet oder verschiebt, ist der tatsächliche Beginn der Bauarbeiten rechtzeitig (in der Regel mindestens drei

Tage vor Baubeginn) auf einer geeigneten Kommunikationsplattform anzuzeigen. Das gilt auch für die Fertigstellung der Baumaßnahme.

Bei größeren Baumaßnahmen, z. B. bei mehreren zusammengehörigen Aufbruchsstellen, Kopflöchern oder Gräben sowie bei Arbeiten, die ganze Straßenzüge betreffen, sind der Antragstellung zugehörige und aussagekräftige Lagepläne zu den geplanten Arbeiten beizufügen. Auch dazu bedarf es einer geeigneten Technik und einheitlichen Prozessen zum Austausch der digitalen Dateien.

Ist der Straßenverkehrsraum im Bereich des abgeschlossenen Aufbruchs ordnungsgemäß wiederhergestellt und abgenommen, so beginnt der Zeitraum der Gewährleistung. Dieser dauert in der Regel fünf Jahre. Erfolgt aufgrund von zu beanstandenden Mängeln bei der Wiederherstellung der Verkehrsfläche keine Abnahme, so sind Nachbesserungen auf Kosten der Baufirma einzuleiten. Eine finale Abnahme und ein Beginn des Gewährleistungszeitraumes verschieben sich dementsprechend. Auch diese Termine müssen für beide Seiten transparent und nachvollziehbar kommuniziert werden.

Im Rahmen der fünfjährigen Gewährleistung inspiziert die Kommunalverwaltung in regelmäßigen Abständen die Aufbruchsstelle, um auch die Dauerhaftigkeit des wiederhergestellten Straßenaufbaus zu prüfen. Mängel, die im Rahmen des Gewährleistungszeitraumes auftreten, werden zu Lasten der Baufirma nachgebessert. Durch eine finale Abnahme des Aufbruchs nach fünf Jahren entlässt die kommunale Verwaltung das Bauunternehmen und den Antragsteller aus der Gewährleistung. Sollte es im anschließenden Zeitraum noch zu Beanstandungen kommen, trägt die Kommunalverwaltung allein die resultierenden Kosten. Aus diesem Grund unterliegt die Dokumentation sämtlicher Prozessschritte zum Aufbruch einer hohen Gewichtung auf kommunaler Ebene. Es geht darum, Steuergelder zu sparen und Kosten für Mangelbeseitigung rechtzeitig dem Verursacher zuzuschreiben. Anderenfalls hat die Kommune nach Abschluss der Gewährleistungsfrist die Kosten selbst zu tragen.

2. Übersicht zur Prozessunterstützung durch die Softwarelösungen der IP SYSCON GmbH

Die IP SYSCON GmbH bietet passgenaue Softwarelösungen für die Arbeitsschritte im Gesamtprozess eines Aufbruchs.

2.1 Die drei Phasen im Gesamtprozess eines Aufbruchs

Der Gesamtprozess eines Aufbruchs lässt sich grob in drei Phasen gliedern:

Phase 1: Aufbruchsanmeldung

Phase 2: Aufbruchsdurchführung bis zur Abnahme

Phase 3: Aufbruchskontrolle bis zur Entlassung aus der Gewährleistung

Dabei stellt die IP SYSCON-Lösung pit-Kommunal das zentrale Steuerungswerkzeug für den kommunalen Mitarbeiter dar. Es führt sämtliche Informationen und Prozessschritte aller drei Phasen zusammen und steuert zentral alle notwendigen Arbeitsschritte, auf die parallel auch die online Web-App Aufbruchsanmeldung HQ zugreift.

In Phase 3 unterstützt die mobile offline App Straßenkontrolle MQ, die hier zur regelmäßigen und wiederkehrenden Kontrolle der Aufbrüche vor Ort im Rahmen der Gewährleistung eingesetzt wird. Etwaige Schäden und Beanstandungen in Form von Sachinformationen und Fotos können mithilfe dieser App vor Ort dokumentiert werden.

2.2 Aufbruchsanmeldung mit Hilfe der Web-App Aufbruchsanmeldung HQ

Phase 1 beinhaltet den zentralen Arbeitsschritt der Aufbruchsanmeldung, bei der die IP SYSCON Web-App Aufbruchsanmeldung HQ zum Einsatz kommt.

Das Frontend ist als responsive Web-App realisiert, die online sowohl im Intra-, als auch im Internet über einen Browser betriebssystemunabhängig auf allen Endgeräten aufgerufen werden kann. Die Web-App stellt dabei eine Ergänzung zum zentralen pit-Kommunal Arbeitsplatz dar. Das Frontend wird vom Backend mit Daten versorgt und kann wahlweise in der eigenen IT-Infrastruktur betrieben oder bei IP SYSCON gehostet werden. Durch ein Hosting bei IP SYSCON werden Wartung und Instandhaltung des Systems an IP SYSCON abgeben. Die Datenhoheit bleibt jedoch stets im eigenen Haus. Die zentrale Datenbank, in der sämtliche Sachdaten zusammengeführt und verwaltet werden, wird über das pit-Kommunal realisiert, welches der Fachmitarbeiter der kommunalen Verwaltung einsetzt.

In einem ersten Schritt loggt sich der Antragsteller über einen gängigen Browser in die Anwendung ein. Die Zugangsdaten erhält er im Vorfeld als dauerhafte Parameter von der zuständigen Kommunalverwaltung. Auf diese Weise ist sichergestellt, dass der Antragsteller und die zugehörige Baufirma auch nur die jeweils eigenen Prozessabläufe einsehen können.

Nach der Anmeldung kann der Anwender wahlweise in die Übersicht der aktuell laufenden Anträge, in bereits aktive Aufbrüche oder die in Gewährleistung befindlichen Vorgänge Einsicht nehmen, um sich über den jeweiligen Stand zu informieren oder weitere Informationen auszutauschen. Als weitere Option ist es möglich, einen neuen Antrag zu stellen.

Wird die Funktion des Antrags ausgeführt, gelangt der Anwender in eine Eingabemaske, die ihn durch die verschiedenen Fragestellungen leitet. Dabei sind Pflichtfelder auszufüllen, Einträge aus Nachschlagelisten auszuwählen, Datumsangaben zu tätigen, eine Lage in einer Karte zu bestimmen aber auch einzelne, freie Angaben zu tätigen.

Begonnen wird mit den Kontaktdaten des Antragstellers, der Bauüberwachung und der ausführenden Baufirma. Die Informationen können dabei einfach und schnell als komplette Datensätze aus einer eigenen, individuell geführten Adress- und Kontaktdatenbank abgerufen werden. Dies beschleunigt die Eingabe.

Anschließend sind Ort, Straße, Hausnummer und Lagebeschreibungen zum Aufbruch einzugeben. Ergänzt werden kann diese Information durch eine geometrische Verortung eines Punktes (Pin) in einer vom System bereitgestellten Kartenansicht.

Es folgen detaillierte Angaben zum Aufbruch selbst, wie Grund, Art, Bereich, Oberfläche und Sparte(n). Alle Angaben stammen dabei aus zentral geführten Nachschlagelisten, um individuellen Ausprägungen und Schreibweisen entgegenzuwirken, die anderenfalls strukturierte Bearbeitungen und Auswertungen durch die Kommunalverwaltung unmöglich machen würden. Sollten Eingabewerte in den Nachschlagelisten fehlen, so kann der kommunale Mitarbeiter diese im Bedarfsfall für den Antragsteller ergänzen und bereitstellen.

Die grafische Verortung des Aufbruchs in der HQ-Karte mündet final als Esri-Geometrie im Esri ArcMap am Arbeitsplatz des kommunalen Mitarbeiters. Ergänzend kann der Antragsteller die zu erwartenden Flächengröße des Aufbruchs in Länge, Breite und Fläche angeben.

Der online Antrag schließt mit den Von-Bis-Datumsangaben zum Ausführungszeitraum und der Möglichkeit, ergänzende Dokumente, wie z. B. Lagepläne, hochzuladen. Final muss der Antragsteller noch die von kommunaler Seite bereitgestellten Bedingungen und Auflagen, sowie

die Hinweise zum Datenschutz bestätigen, die er sich auch zur Ansicht herunterladen kann.

Durch das Betätigen des Button „Speichern und Hochladen“ wird der Antrag an die Kommunalverwaltung übermittelt. Damit wechselt der aktuell aufgegebene Antrag in den HQ-Bereich der „offenen Anträge“, wo er vom Antragsteller noch eingesehen und bearbeitet werden kann, solange keine Genehmigung des Antrags von kommunaler Seite erfolgt ist. Ist der Antrag genehmigt, können einzelne Informationen im Antrag nicht mehr vom Antragsteller verändert werden. Sämtliche weitere Kommunikation zum Antrag des Aufbruchs erfolgt nun über eine Chat-Funktion mit dem kommunalen Sachbearbeiter, der seinerseits nun den Vorgang im zentralen pit-Kommunal einsehen und nur hier bei Bedarf auch modifizieren kann. Der Antragsteller kann dann die vorgenommenen Änderungen in der HQ-Übersicht einsehen.

Der so von kommunaler Seite angenommene und genehmigte Aufbruch wechselt dann in den Status der „aktiven“ Anträge und ist in der Web-App separiert einzusehen. Die Kommunikation erfolgt weiter über die integrierte Chatfunktion bis zur Fertigstellung des Aufbruchs. Die Information zur Fertigstellung sendet die ausführende Baufirma bzw. der Antragsteller über eine spezielle Bestätigungsfunktion innerhalb der Web-App. Sollte bis dahin der anvisierte Zeitraum bis zur geplanten Fertigstellung bereits überschritten sein, so wird dies durch eine Symbolik dargestellt. Bei Bedarf kann auch mit einer automatisiert versendeten Mail an den Sachbearbeiter und den Antragsteller darüber informiert werden.

Bild 1: Antrag auf Aufgrabungsgenehmigung

Nach Bekanntgabe der Fertigstellung an den kommunalen Mitarbeiter kann dieser seinerseits die Abnahme des Aufbruchs durch eine Vor-Ort-Begehung initiieren. Ist eine mangelfreie Abnahme erfolgt und wird diese vom Sachbearbeiter in der zentralen Datenbank vermerkt, wird der Datensatz des Aufbruchs in der zentralen Datenbank und somit auch in der Web-App in den nächsten Status überführt und befindet sich in der Kategorie „in Gewährleistung“ und kann ebenso separiert vom Antragsteller eingesehen werden.

Nach Abschluss der fünf Jahre zur Gewährleistung wird der Datensatz zum Aufbruch in der zentralen Datenbank in eine Historie überführt und aus der Auflistung der Web-App entfernt. Eine rückblickende Einsicht und Auswertung z. B. zu statistischen Zwecken ist dann nur noch über die zentrale Datenhaltung in pit-Kommunal selbst möglich. Der Vorgang ist an dieser Stelle für den Antragsteller somit abgeschlossen.

3. Intention, Mehrwert und Fazit

Die Intention zur Entwicklung der Web-App Aufbruchs-anmeldung HQ entstand aus den praktischen Erfahrungen mit unseren Kunden, die immer wieder mit unstrukturierten Anträgen zur Aufbruchsgenehmigung zu kämpfen haben, die zusätzlich über verschiedenste Wege an sie herangetragen werden. Oft entstehen so potentielle Fehlerquellen, die im schlimmsten Fall dazu führen, dass Aufbrüche nicht korrekt überwacht werden und die Kommunalverwaltung auf den Kosten für Mangelbeseitigungen sitzen bleiben, wenn die Gewährleistungszeiträume unbemerkt verstrichen sind.

Natürlich verhindert die Web-App Aufbruchs-anmeldung HQ nicht die fehlende Intention des Antragstellers, der ggf. eine Genehmigung gar nicht erst einholt; es kanalisiert und strukturiert aber die Vorgehensweise, so dass beide Seiten davon profitieren können.

Der Mehrwert der Web-App Aufbruchs-anmeldung HQ liegt in der einfachen Bedienung der App, in der Flexibilität der Nutzung aus jedem Browser heraus und in dem direkten Weg in die zentrale Datenbank pit-Kommunal der Kommunalverwaltung. Die Anwendung minimiert Fehler und vereinfacht den zugrundeliegenden Prozess hin zu einem komplett digitalen Ablauf und bildet somit einen weiteren Baustein eines anzustrebenden e-Government innerhalb der Kommune.

Die Web-App Aufbruchs-anmeldung HQ ist kein Muss, und sicherlich wird es immer auch Antragsteller geben, die den hier aufgezeigten Weg der Datenübermittlung nicht mitgehen wollen oder können. Doch jeder Antragsteller, der diese Lösung nutzt, ist ein Antragsteller weniger über althergebrachte Wege und minimiert somit den Aufwand auf kommunaler Seite.



Bild 2: Aufbruchs-anmeldung HQ

Bildnachweis:

- Bild 1 © Rainer Fuhrmann – stock.adobe.com, IP SYSCON GmbH
- Bild 2 © IP SYSCON GmbH



**Optimierte
Asphalt-
oberflächen**

CleanAir (CIAir®) Asphalt – Innovativer Straßenbelag baut Luftschadstoffe ab

Dipl.-Ing. Martin Muschalla
TPA GmbH, Bad Hersfeld, Deutschland

Zusammenfassung

Clean Air (CIAir®) Asphalt ist das Ergebnis von dreieinhalb Jahren Forschung der TPA GmbH und ihrer neun Projektpartner in Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projektes „Nachhaltiger HighTech Asphalt: Schadstoff- und lärmindernd mit neuer Verarbeitung und Überwachung“ (NaHiTAs). Das übergeordnete Ziel im Projekt war die Konzeption einer multifunktionalen Asphalt-Fahrbahnoberfläche, die lärmindernde und Stickoxid reduzierende Eigenschaften aufweist. Die schadstoffmindernde Funktion von CIAir® Asphalt wird durch den Einsatz von titandioxidhaltigem Streumaterial (TiO₂) aus gebrochenem, ultrahochfestem Beton (UHPC) erzeugt. Durch die Kombination aus innovativem Abstreumaterial und eigenentwickelten Asphalteinbauverfahren konnten die angestrebten Ziele zur Schadstoff- und Lärmreduktion erreicht werden. Mit dem CIAir® Asphalt-System konnte ein vielversprechender Ansatz vorgelegt werden, um der zunehmenden Problematik einer steigenden Luft- und Lärmbelastung in den deutschen Städten entgegenwirken zu können.

1. Einführung

Die Straße soll neue zusätzliche Funktionen zur Luftreinigung und Lärmreduzierung erhalten. Genau diesen Lösungsansatz strebt Clean Air (CIAir®) Asphalt an.

CIAir® Asphalt ist das Ergebnis von dreieinhalb Jahren Forschung (2015-2018) der TPA GmbH und ihrer neun Projektpartner in Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projektes „Nachhaltiger HighTech Asphalt: Schadstoff- und lärmindernd mit neuer Verarbeitung und Überwachung“ (NaHiTAs). Das Ziel des CIAir® Asphalts ist eine „Veredelung“ der Straßenoberfläche, die zur angestrebten Reduzierung der Schadstoff- und Luftbelastungen direkt am Entstehungsort führt. Damit kann CIAir® Asphalt die Aufrechterhaltung der Verkehrsinfrastruktur unterstützen, die Lebensqualität in Bereichen mit stark befahrenen Verkehrswegen nachhaltig verbessern und die Qualität der Bauausführung optimieren.

2. Lösungsansatz durch innovatives Material und neuartige Einbautechnik

2.1 Innovatives Abstreumaterial

Die Grundlage des CIAir® Asphalts bildet eine synthetisch hergestellte Gesteinskörnung aus ultrahochfestem Beton (UHPC), in dem gleichmäßig über das gesamte Volumen photokatalytisch aktives Titandioxid (TiO₂)

verteilt ist. So befinden sich TiO₂-Partikel auch direkt an der Kornoberfläche. TiO₂ kann unter Einwirkung von UV-Strahlung die Stickoxide in der Luft abbauen. Durch die dabei ausgelösten intermolekularen Prozesse in Gegenwart von Sauerstoff und Wasser werden Radikale gebildet. Die Radikale reagieren wiederum mit den Stickoxiden (Stickstoffmonoxid NO, Stickstoffdioxid NO₂) in der Luft und wandeln diese in unschädliche Nitrate um. Durch die natürliche Witterung (z. B. Regen) werden die Nitrate anschließend von der Fahrbahn gewaschen. Die Menge des gebildeten Nitrats liegt deutlich unterhalb der geltenden Grenzwerte, sodass keine Umweltbeeinträchtigungen auftreten.



Abbildung 1: Innovatives Abstreumaterial
Quelle: STRABAG AG / Foto: Timo Lutz

2.2 Neuartige Einbautechnik

Die Titandioxidschicht des Abstreumaterials ist nur in Kontakt mit UV-Strahlung aktiv. Daher muss das neu konzipierte Granulat auf der Fahrbahnoberfläche und somit direkt an der Emissionsquelle vorliegen. Für diese Anforderung hat STRABAG den fertigerintegrierten Streuer entwickelt, der eine frühzeitige und dauerhafte Einbindung des Abstreumaterials in die noch heiße Fahrbahnoberfläche ermöglicht. Durch die mengengerechte, gleichmäßige und dauerhafte Abstreung über den fertigerintegrierten Streuer wird bei sparsamem Einsatz des kostenintensiven Granulats die größtmögliche Reaktionsfläche für die photokatalytische Wirkung erzeugt.

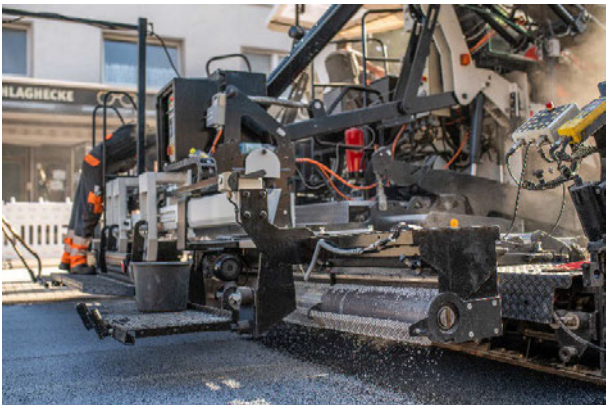


Abbildung 2: Fertigerintegrierter Streuer
Quelle: STRABAG AG / Foto: Timo Lutz

Um einen unterbrechungsfreien Asphalteinbau zu gewährleisten, hat STRABAG den Innovationsbunker mit getrennten Materialkammern für Asphalt und Abstreumaterial entwickelt. Er stellt sicher, dass der fertigerintegrierte Streuer an der Rückseite des Fertigers kontinuierlich mit dem photokatalytischen Granulat befüllt wird. Der Innovationsbunker ist mit Förderschnecke und Förderband sowie mit Temperatur- und Füllstandssensoren ausgestattet.



Abbildung 3: Innovationsbunker
Quelle: STRABAG AG / Foto: Daniel Gerstlauer

Das Zusammenspiel dieser technischen Einrichtungen ermöglichte den gleichmäßigen und kontinuierlichen Einbau der Asphalt-Deckschicht auf den Untersuchungsstrecken.

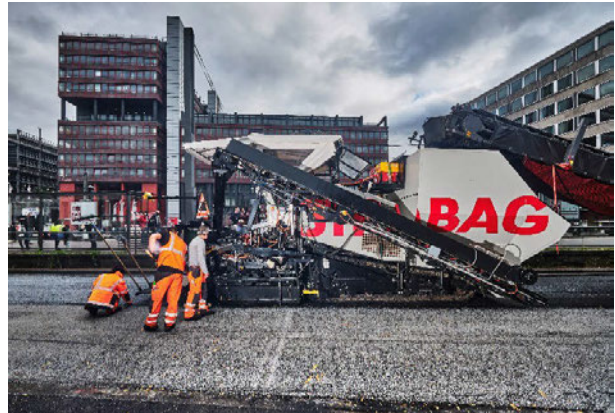


Abbildung 4: CIAir® Asphalt Gesamtsystem
Quelle: STRABAG AG / Foto: Christian Ahrens

3. Umsetzung in der Praxis

Die erste Pilotstrecke wurde im April 2019 am Stuttgarter Neckartor umgesetzt. Seitdem wurden zehn weitere CIAir® Asphalt Projekte in verschiedenen Kommunen erfolgreich realisiert.

- Stuttgart, April 2019
- Geltow, Juli 2019
- Stockach, September 2019
- Passau, September 2019
- Aachen, Oktober 2019
- Erlangen, Juli 2020
- Oberhausen, August 2020
- Dinslaken, August 2020
- Erlangen, Oktober 2020
- Köln, Oktober 2020
- Erlangen, November 2020



Abbildung 5: CIAir® Asphalt Untersuchungsstrecke
Quelle: STRABAG AG / Foto: Timo Lutz

4. Fazit

CleanAir (CIAir®) Asphalt

- ... ist das Resultat ist das Resultat von dreieinhalb Jahren Forschungsarbeit im Verbundprojekt NaHi-TAs
- ... veredelt die Straße; die Funktionen der Straße bleiben dabei erhalten
- ... ist sofort und ohne großen Aufwand umsetzbar
- ... senkt die Belastung der Luft mit giftigen Stickoxiden
- ... ist lärmreduzierend
- ... ist mit seinem innovativen Einbauverfahren dauerhaft und nachhaltig

Lärmarme Oberflächen auf freien Strecken und Brücken

Jean-Marc Waeber

Bundesamt für Strassen ASTRA, 3063 Ittigen, Schweiz

Fabian Traber

Bundesamt für Strassen ASTRA, 3063 Ittigen, Schweiz

Zusammenfassung

In der Schweiz werden erhebliche Anstrengungen unternommen, um den Verkehrslärm zu reduzieren. Dazu werden auf der freien Strecke und Brücken bevorzugt offenporige Asphalt-Deckschichten (PA) eingebaut oder Semidichte Asphalte (SDA) mit geringerer Porosität. Hohlraumreiche Asphalt-Deckschichten sind ein Kompromiss zwischen Lärmreduktion und Nutzungsdauer. Um Letzteres zu vermeiden wurde eine Gussasphalt-Deckschicht entwickelt, deren Oberfläche so konstruiert ist (Splitteinstreuung, Bearbeitung mit speziellen Walzen usw.), dass eine möglichst deutliche Reduzierung des Verkehrslärms erreicht wird.

1. Lärmarme Oberflächen bei Gussasphalt-Deckschichten auf Brücken (Forschungsprojekt ASTRA 2009/007)

Die Lärmschutz-Verordnung (LSV) führt vermehrt dazu das anstelle von Gussasphalt, Semidichte Asphalte (SDA) oder Offenporige Asphalte (PA) als Deckschicht auf unseren Kunstbauten eingesetzt werden. Beide Belagsarten haben den Nachteil, dass sie ungehindert Wasser durchlassen, welches auf Brücken unerwünscht ist wegen möglichen Schädigungen der Abdichtung und des Brückenbauwerks. Um letzteres zu vermeiden, werden auf Brücken meist wasserdichte Gussasphaltbeläge eingebaut, die wegen der nicht vorhandenen Porosität, keinen Beitrag zur Lärmreduzierung leisten können.

Ziel des Forschungsvorhabens war es daher, eine Gussasphalt-Deckschicht zu entwickeln, deren Oberfläche so konstruiert ist (Splitteinstreuung, Bearbeitung mit speziellen Walzen usw.), dass eine möglichst deutliche Reduzierung des Verkehrslärms erreicht wird.

In Meilenstein 1 wurden insgesamt 50 verschiedene Variationen von Gussasphalten (Kalksteinmehle, Bindemittelarten, Kornzusammensetzung) nach entsprechenden Voruntersuchungen hergestellt und geprüft. Das Ziel war, einen wärmostandfesten Gussasphalt (MA 8) zu entwickeln, der in der Lage ist, den vorumhüllten Abstreusplitt dauerhaft einzubinden.

In Meilenstein 2 wurden insgesamt 12 verschiedene Abstreusplitt und 6 verschiedene Kleber überprüft zur Umhüllung der Abstreusplitt. Mit den aus Meilenstein

1 gewonnenen Ergebnissen wurde eine spezielle Zusammensetzung des Gussasphalts ausgewählt und Gussasphaltplatten hergestellt, auf deren heissen Oberflächen 10 ausgewählte vorumhüllte Abstreusplitt mit Hilfe einer Abstreuvorrichtung gleichmässig aufgestreut und mit einer Walze leicht eingedrückt wurden. Die Oberflächen der Platten wurden durch die BAST, D-Bensberg und Fa. IWS, D-Celle optisch vermessen.

In Meilenstein 3 wurden 2015 nach Festlegung in der Betreuungskommission 4 Abstreusplitt ausgewählt, mit Bitumen 35/50 von der Fa. Weibel AG umhüllt und in die MA 8-Deckschicht auf dem Viadukt Kerzers eingestreut, in 2 Feldern noch eingewalzt, so dass insgesamt 6 Felder zur Prüfung der Lärmreduzierung auf der Versuchsstrecke zur Verfügung standen.

Um den Belag akustisch zu begleiten wurden in den Jahren 2015 – 2019 verschiedene akustische Belagsuntersuchungen durch die Fa. Grolimund + Partner AG durchgeführt, welche eine Aussage zur akustischen Qualität und der Dauerhaftigkeit der Beläge zulassen.

2. Lärmarme Oberflächen auf freien Strecken

Auf unseren Nationalstrassen werden heute auf der freien Strecke als Standard, Walzasphalt- und auf den Kunstbauten und in Tunneln Gussasphaltschichten verbaut. Der Hauptunterschied besteht darin, dass Walzasphalte poröser und hohlraumreicher als Gussasphalte sind. Ein Gussasphalt enthält mehr Feinanteile und deutlich mehr Bitumen als ein Walzasphalt und leitet das anfallende Wasser an seiner Oberfläche ab. Diese Eigenschaften

machen ihn dicht, druckfest und im hohen Masse alterungsbeständig.

Bedingt durch die Lärmschutz-Verordnung (LSV) kommen heute Semidichte Asphalte (SDA) oder offenporige Asphalte (PA) als Deckschicht zum Einsatz. Die Oberflächenstruktur und die vorhandenen Hohlräume führen zu einer Lärmreduktion gegenüber dichten Asphalten (AC, SMA) und dem Gussasphalt (MA). Die Lärmreduktion geht auf Kosten der Lebensdauer, diese liegt bei einem Porenasphalt (PA) bei 8 - 12 und bei einem Semidichten Asphalt (SDA) bei 12 - 15 Jahren. Die vorhandenen Hohlräume beschleunigen die Versprödung des Bitumens durch die vermehrte Sauerstoff- und Wasserzufuhr. Dies führt zu einer frühzeitigen mechanischen Alterung und schlussendlich zum Ersatz der Asphaltsschicht.

Die Versuche mit lärmindernden Gussasphalt-Deckschichten aus Kerzers haben aufgezeigt, dass eine konstante Lärminderung von -2 bis -4 dB nach 5 Jahren erreicht wird. Basierend auf diesen Resultaten wurde keine massgebende Abnahme der Lärmabsorption nach 5 Jahren bemessen. Was im Vergleich zu unseren traditionellen akustischen Walzasphalten (SDA) die -1 dB nach 10 Jahren kaum erreichen, ein massgebender Vorteil sein könnte. Die Langzeitwirkung der Lärminderung von Gussasphalt wurde jedoch (noch) nicht erforscht.

Diese Erkenntnisse aus Kerzers führten zu der Idee, den langlebigen Gussasphalt nicht nur auf den Kunstbauten und in Tunneln einzubauen, sondern auf der offenen Strecke. Ein Gelingen unseres Vorhabens hätte einen enormen Einfluss auf unsere Erhaltungsstrategie.

Um die geforderten Ebenheiten zu erreichen, werden die heutigen Gussasphaltfertiger in der Schweiz auf Schienen geführt. Dies ist auf der offenen Strecke kaum möglich und wenn, dann zu umständlich und teuer. Mit dem Initialprojekt soll eine Grundlage erarbeitet werden, Gussasphalt ohne Schienen, digital gesteuert, in einer

Ebenheit von +/- 2 mm einzubauen. Drei Marktteilnehmer in der Schweiz reagierten auf unser Vorhaben und investieren in die Entwicklung einer neuen Fertiger-Generation.

Der Abschluss dieses Initialprojektes soll dazu dienen, einen Forschungsantrag auszuarbeiten. In der heutigen Normierung in der Schweiz, wird der Gussasphalt auf dem Trasse nicht abgebildet. Neue Aufbauten, Sanierungsvarianten und Anforderungen an das Mischgut sind zu definieren. Auch bei der Gestaltung von lärmarmen Oberflächen und ihrer Langlebigkeit liegt einiges an Potential drin. Auswirkungen auf die Lebenszyklus- und Staukosten wie auch unsere Erhaltungsstrategie sollen aufgezeigt werden. Dies sind nur einige Punkte die der Forschungsantrag abbilden soll.

2.1 Probereinbau auf der N3 bei Frick

Zwei Jahre nach Projektbeginn konnten wir über ein Septemberwochenende der erste digitalgesteuerte Einbau von Gussasphalt auf einer Schweizer Nationalstrasse ausführen.

Auf einem Streckenabschnitt von 150 m Länge wurde der Walzasphalt durch eine neue Binder- und Deckschicht aus Gussasphalt auf beiden Spuren in Richtung Zürich ersetzt. Um sämtliche Bauarbeiten digital gesteuert durchführen zu können, wurde vorgängig die bestehende Fahrbahnoberfläche aufgenommen und ein Deckenbuch erstellt.

Die Arbeiten konnten wie geplant ausgeführt werden. Die geforderte Höhengenaugigkeit auf der Fräsfläche, wie auch auf der Binderschicht wurde erreicht. Im Oktober wird die Deckschicht auf ihre Höhengenaugigkeit geprüft. Erste Überfahrten mit dem PW bestätigen aber unser Ziel, einen ebenen Gussasphalt, ohne Verlegen von Schienen auf dem Trasse erstellen zu können.

Oberflächenbehandlung mit Reaktionsharzen (OB-RH) – technische und gestalterische Möglichkeiten

Peter Austin-Böhm

KUTTER Spezialstraßenbau GmbH & Co. KG, Hanau

Markus Leischner

KUTTER Spezialstraßenbau GmbH & Co. KG, Hanau

Oberflächenbehandlungen mit Reaktionsharzen (OB-RH)

Oberflächenbehandlungen mit Reaktionsharzen (OB-RH) finden zunehmend Anwendung zur Lösung spezieller Problemstellungen auf Asphalt- und Betonfahrbahnen. Sie werden eingesetzt auf Verkehrsflächenbefestigungen aller Belastungsklassen. Besonders geeignet sind sie im Rahmen griffigkeitsverbessernder Maßnahmen, zur Entschärfung von Unfallschwerpunkten, zur optischen Aufhellung in Tunnelbauwerken oder zur Reduzierung der Geräuschemission (Reifen-Fahrbahnoberfläche).

Durch den Einsatz pigmentierter Harzsysteme und zielgerichteter Auswahl der Abstreusplitte können ebenso Belange der Stadt- und Landschaftsplanung umgesetzt werden. Beim Begehen und Betrachten der naturnah gestalteten Fahrbahnoberflächen entsteht ein entspannendes Raumgefühl. So werden in befahrenen innerstädtischen Zonen oder in Parkanlagen die beschichteten Fahrbahnoberflächen als natürlich abgestimmter und harmonischer Bestandteil der gesamten Umgebung wahrgenommen

Der Einbau erfolgt mit einer speziellen Maschinenteknik in großflächigen Projekten oder auch händisch in Bereichen, die mit Maschinen nicht erreichbar sind bzw. wo ein Maschineneinsatz nicht wirtschaftlich wäre.

1. Definition und Grundlage

OB-RH Beläge sind Oberflächenbehandlungen aus Reaktionsharz (OB-RH) auf der Bindemittelbasis von geprüften 2-komponentigen Reaktionsharzen für Asphalt- und Betonflächen nach ZTV BEB-StB 15 [FGSV-Nr.898] sowie der TL BEB-StB 15 [FGSV-Nr.895], TP BEB-StB bzw. des Merkblattes für griffigkeitsverbessernde Maßnahmen an Verkehrsflächen aus Asphalt [FGSV-Nr.763]. Hierbei wird eine definierte Menge Epoxidharz auf eine durch Wasserhochdruckstrahlen oder Kugelstrahlen vorbereitete Fahrbahnoberfläche (Asphalt oder Beton) aufgetragen. Im Anschluss wird je nach Anforderungsprofil entstaubtes und feuergetrocknetes Gestein im Überschuss auf die Fläche eingestreut. Nach der Aushärtung des Reaktionsharzes wird das überschüssige Gestein abgekehrt und die Belagsfläche ist sofort nutzbar.

2. Anwendungsbereiche

2.1 Übergeordnetes Straßennetz

OB-RH Beläge als griffigkeitsverbessernder Maßnahmen, zur Entschärfung von Unfallschwerpunkten, zur

optischen Aufhellung in Tunnelbauwerken oder zur Reduzierung der Geräuschemission (Reifen-Fahrbahnoberfläche).

2.1.1 Griffigkeitsverbesserung

Mit OB-RH Belägen werden zu glatte Verkehrsflächen wieder griffig und sicher. Dank der Verwendung von sehr polierresistenten Gesteinskörnungen werden Griffigkeitswerte von weit über 70 SRT-Einheiten erzielt. Messungen mit dem Seitenkraftmessverfahren (SKM-Verfahren) ergeben Kraftschlussbeiwerte von $\mu \geq 0,70$ bei Messgeschwindigkeiten von 80 km/h auf freien Strecken (wie auf BAB und Landstraßen) und von 40 km/h (wie in BAB-Anschlussstellen und BAB-Kreuzen).

Durch die Verwendung von OB-RH Belägen wird präventiv bei Nässe oder bei Reifbildung eine wesentliche höhere Griffigkeit sowie eine durch die Rauheit bedingte hervorragende Drainwirkung an der Fahrbahnoberfläche erzielt. Das bedeutet, die Aquaplaning- und Sprühhahnenbildung wird verhindert. Damit werden generell und speziell bei extremen Witterungsperioden die Bremswege aller Fahrzeuge verkürzt und deren Seitenführung insbesondere der größeren Fahrzeuge auf Bauwerken und

in exponierten Lagen wie Hochbrücken oder sonstigen ungeschützten Freistrecken erheblich erhöht. Ebenso ist aufgrund der hohen Griffigkeit die bei Frostperioden aufzubringende Streugutmenge, um einiges geringer zu bemessen.

2.1.2 Optische Aufhellung

Durch die Applikation von OB-RH Belägen mit besonders hellen und polierresistenten Abstreukörnungen wird eine enorme Aufhellung der Fahrbahnoberfläche erreicht. Bei der Verwendung von gelb-beigen Bauxiten liegt der mittlere Leuchtdichtekoeffizient bei $q_0 = 0,131 \text{ cd}/(\text{m}^2 \times \text{lx})$. Dieser erfüllt die Anforderung gemäß der neuen EABT – 80/100 hinsichtlich der Fahrbahnleuchtdichte für die Fahrbahnoberflächen für Straßentunnel. Die sehr positive Eigenschaft der Aufhellung der Fahrbahnoberfläche führt nachweisbar zu einer deutlich erhöhten Verkehrssicherheit und kann ebenso auf dunklen Streckenabschnitten, wie z.B. in Trogbauwerken, Lärmschutzeinhausungen, Straßen in Schattenlagen etc. genutzt werden. Weiter erzielbare Vorteile der Aufhellung der Fahrbahnoberfläche, sind eine wesentliche Einsparung der Energiekosten für die Beleuchtung im Tunnel oder vergleichbaren Bauwerken.



Bild 1: optische Aufhellung Trogbauwerke

Besonders unter dem Gesichtspunkt der immer häufiger vorkommenden extremen Heißwetterlagen / Hitzeperioden wirkt die Aufhellung reduzierend auf das Temperaturentnahmeverhalten an der Fahrbahnoberfläche. Die starke Retroreflektion der verwendeten hellen Abstreukörnungen wirkt hier einer kontinuierlichen Aufheizung der Fahrbahn aus Asphalt und Beton wirkungsvoll entgegen.

2.1.3 Lärmreduzierung

Unruhige, laute Verkehrsflächen erhalten durch die Applikation von OB-RH Belägen, direkt an der Oberfläche bzw. der Kontaktfläche zum Reifen eine

Textur, die sich optimal auf eine deutliche Lärmreduzierung auf die Reifen-Fahrbahn-Geräusche auswirkt, da die Abrollgeräusche der Reifen auf den zahlreichen Kornspitzen durch die im OB-RH-Belag vorhandene wesentlich größere spezifische Oberfläche absorbiert, reduziert und damit erheblich verringert werden. Das laute, sogenannte „Airpumping“ wird gänzlich verhindert, da die Luft zwischen Reifen und Fahrbahnoberfläche durch die Rauheit des OB-RH Belages seitlich entweichen kann. Minderung der Reifen-Fahrbahn-Geräusche von bis zu 6 dB(A) (100 km/h) sind möglich.



Bild 2: Lärmreduzierung auf BAB

2.2 Stadt- und Landschaftsplanung

2.2.1 Gestaltung

Durch den Einsatz pigmentierter Harzsysteme und zielgerichteter Auswahl der Abstreusplitte werden graue und dunkle Verkehrsflächen wieder naturnah und landschaftlich ansprechend gestaltet. So können passend und entsprechend der Stadt- und Landschaftsplanung die unterschiedlichsten Vorgaben zur Gestaltung dank der großen Auswahl an möglichen Abstreu- und Gesteinskörnungen zielgerichtet für fast jeden Bedarf umgesetzt werden. Beim Begehen und Betrachten der naturnah gestalteten Fahrbahnoberflächen entsteht ein entspannendes Raumgefühl.

So werden in befahrenen innerstädtischen Zonen oder in Parkanlagen die beschichteten Fahrbahnoberflächen als natürlich abgestimmter harmonischer Bestandteil der gesamten Umgebung wahrgenommen, was sich im Gegensatz zu dem vorherigen Charakter einer Asphalt- oder Betonoberfläche vollkommen unterscheidet. Dieses wirkt sich wesentlich angenehmer, sogar beruhigender auf die Fußgänger wie auch auf die sonstigen Verkehrsteilnehmer und Anlieger aus.

Klare Vorteile der Bauweise sind hierbei:

- Eine beliebige Gestaltungsmöglichkeit und Anpassung an die Restgestaltung durch diverse Wahlmöglichkeiten an pigmentierten Harzen und Abstreumaterialien.
- Fast jede Gestaltungsform kann appliziert werden (auch Kleinstflächen).
- Homogener Gesamteindruck der Fläche.
- Beschichtungsflächen können jederzeit ergänzt, geändert oder erneuert werden, auch in Kleinstflächen.



Bild 3: naturnahe Gestaltung Parkanlage

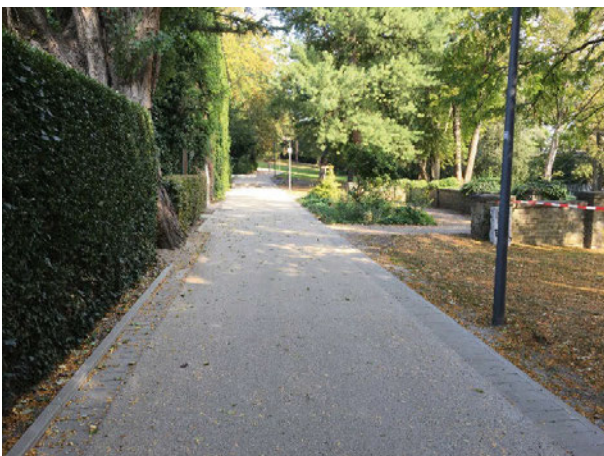


Bild 4: naturnahe Gestaltung Parkanlage



Bild 5: naturnahe Gestaltung Parkanlage

Ebenso kann durch die Verwendung von hellen OB-RH Belägen die Aufheizung von innerstädtischen Verkehrsflächen, wie zum Beispiel von dunklen Asphalt- oder Betonoberflächen und damit auch der gesamten angrenzenden Umgebung, erheblich reduziert werden.

3. Applikation

Der Einbau erfolgt mit einer speziellen Maschinenteknik in großflächigen Projekten oder auch händisch in Bereichen, die mit Maschinen nicht erreichbar sind bzw. wo ein Maschineneinsatz nicht wirtschaftlich wäre.

3.1 maschinelle Applikation



Bild 6: maschineller Harzauftrag



Bild 7: maschinelles Abstreuen

3.2 händische Applikation



Bild 8: händischer Harzauftrag



Bild 9: händisches Abstreuen

4. Abstreumaterialien

Bei der Verwendung von OB-RH Belägen lässt sich eine breite Palette an Gesteinsabstreuerung und Farbgestaltung realisieren. Hierbei lässt sich prinzipiell jede RAL-Farbe als pigmentiertes Trägerharz formulieren, dieses gilt auch bei der Abstreuerung mit Colorsanden.



Bild 10: Abstreumaterialien

Vorteile von Colorsanden ist die große Auswahl an intensiven und RAL-nahen Farben sowie die absolute Homogenität des Materials.

Nachteile sind die geringeren Kennwerte oder fehlenden Prüfungen (PSV-Werte / SZ-Werte), die Farbänderungen durch mechanischen Abrieb und Alterung sowie der höhere Preis im Vergleich zum Naturprodukt.

Bei der Abstreuerung mit natürlichen Gesteinen kann nach entsprechender Aufbereitung nahezu jedes Gestein genutzt werden. Einschränkungen ergeben sich hierbei lediglich durch die geplante Nutzung der späteren Flächen (PSV-Werte / SZ-Wert).

Vorteile von natürlichen Gesteinen sind die natürliche Optik, die Oberflächen- und Farbstabilität auch bei starkem Abrieb (bei entsprechenden PSV-Werte / SZ-Wert) sowie der geringere Preis bei Standardkörnungen im Vergleich zu Colorsanden.

Nachteile sind die geringere Farbauswahl, auch in der Abhängigkeit der geplanten Nutzung sowie höhere Materialkosten bei der Aufbereitung von Sonderkörnungen.

5. Reparaturfähigkeit

OB-RH Beläge eignen sich besonders gut für Maßnahmen in kommunalen Bereichen oder Parkanlagen, in denen es durch Versorgungsträger und sonstige Tiefbaumaßnahmen immer wieder zu Aufgrabungen und Punktaufbrüchen kommt. Gleiches gilt auch für evtl. Reparaturen durch mechanische Beschädigungen.

Im Gegensatz zu farbigen Asphalten ist hier auch eine Reparatur bis hin zu Kleinstflächen möglich (bei farbigen

Asphalten oft Probleme, Kleinmengen an Mischgut zu bekommen). Weiterhin bedarf es keiner störenden Nahtausbildung mit bituminösen Vergussmassen, die Farbunterschiede im Reparaturbereich sind nur von temporärer Dauer und verschwinden bereits nach kurzer Zeit. Dieses kann durch eine eventuelle Umfeldreinigung des Altbelages noch beschleunigt werden.

Um den gewünschten Reparaturerefolg zu erzielen sind folgende Punkte zu berücksichtigen:

- geradliniger Trennschnitt im Bereich des Belagsaufbruchs
- Durchführung und Wiederverfüllung der Aufgrabung
- Wiederherstellung des bituminösen / zementösen Deckschichtbelags bis auf ehemalige Bestandhöhe und ohne Fugenausbildung
- Geradliniges Abkleben der Anarbeitskanten
- Neuaufbringung des OB-RH Belags im Aufbruchbereich
- evtl. HDW-Reinigung der angrenzenden Altbeschichtung, um die Anfangsfarbunterschiede komplett zu minimieren (Reinigung des Altbelags von Alltagsverschmutzungen)

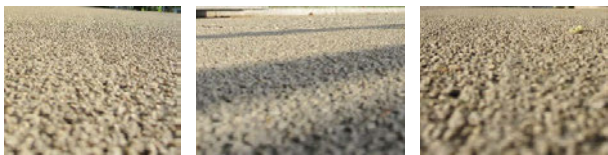


Bild 11: Reparaturstellen / Anschlussnähte

6. Nutzungsdauer

Richtige Pflege und regelmäßige Reinigung von beschichteten Flächen sind nicht nur wichtig für Optik und Sauberkeit, sondern auch entscheidend für deren Lebensdauer und Haltbarkeit.

Als Anhaltspunkt für die Nutzungsdauer von OB-RH Belägen kann eine Zeitspanne von 5 bis 15 Jahren angesetzt werden.

Entscheidende Einflussfaktoren sind hierbei:

- Instandhaltung, Pflege und regelmäßige Reinigung
- Intensität der Nutzung / Verkehrsbelastung (Schwerverkehr, Kommunal, Landschaftsbau)
- Abstreugesteine
- Zustand des Asphaltuntergrundes (Neubau / Bestand)

Zusammenfassung

- Oberflächenbehandlungen mit Reaktionsharzen (OB-RH) finden heute zunehmend Anwendung zur Lösung spezieller Problemstellungen auf Asphalt- und Betonfahrbahnen.
- Sie werden eingesetzt auf Verkehrsflächenbefestigungen aller Belastungsklassen zur Griffigkeitsverbesserung, Entschärfung von Unfallschwerpunkten, optischen Aufhellung, Reduzierung der Geräuschemission und als Gestaltungsmittel im Städte- und Landschaftsbau.
- Entscheidend für die Langlebigkeit ist die richtige Auswahl des Beschichtungssystems, der Abstreugesteine sowie die richtige Beurteilung und Vorbereitung der Asphaltunterlage.
- Sie bieten eine gute Reparaturfähigkeit auch im kommunalen Einsatz und in Kleinstflächen.
- Sie machen unsere Verkehrsflächen sicherer und geben uns ein natürlich abgestimmtes entspannendes Raumgefühl.

Quellen

ZTV BEB-StB 15 [FGSV-Nr.898]

TL BEB-StB 15 [FGSV-Nr.895]

Merkblattes für griffigkeitsverbessernde Maßnahmen an Verkehrsflächen aus Asphalt [FGSV-Nr.763]

Bild 1: L 236 Roxheim, LBM Bad Kreuznach, P. Austin-Böhm, Kutter Hanau

Bild 2: A 93s, ABD-Südbayern, P. Austin-Böhm, Kutter Hanau

Bild 3-4: Aachen Stadtgarten, Stadt Aachen, P. Austin-Böhm, Kutter Hanau

Bild 5: Grafenwerth, Stadt Bad Honnef, P. Austin-Böhm, Kutter Hanau

Bild 6-7: maschineller OB-RH Einbau
P. Austin-Böhm, Kutter Hanau
Ch. Schneider, Mindelheim

Bild 8-9: händischer OB-RH Einbau
P. Austin-Böhm, Kutter Hanau

Bild 10: Abstreumaterialien
P. Austin-Böhm, Kutter Hanau

Bild 11: Reparaturstellen / Anschlußnähte
S. Austin-Böhm, Alsbach



Betonsanierung

Betonfertigteile für den Bau kommunaler Verkehrsflächen – Eine Systemlösung für die Zukunft?

Dipl. Ing. (FH) Dirk-Uwe Spengler

BTE stelcon GmbH, Germersheim, Deutschland

Zusammenfassung:

Durch den Einsatz von Betonfertigteilen können Verkehrsflächen mit besonders hoher Dauerhaftigkeit hergestellt werden, weil die Herstellung im Betonwerk einen kontinuierlichen Qualitätsüberwachungsprozess der eingesetzten Ausgangsstoffe sowie des fertigen Produktes gewährleistet. Gegenüber dem monolithischen Einbau spielen sich ändernde äußere Einflüsse (Witterungsbedingungen) während der Bauphase keine Rolle. Die Bauzeit und damit verbunden die notwendige Sperrzeit wird durch den Einsatz von Betonfertigteilen im Verkehrsflächenbau erheblich verkürzt. Hochbelastete Knoten-, Halte- und Abstellpunkte in Verkehrsflächen können durch den Einsatz von Betonfertigteilen langfristig, dauerhaft und damit wirtschaftlich sowie umweltschonend erneuert werden.

1. Allgemeines

Neue Werkstoffe für den Einsatz in urbanen Infrastrukturen tragen dazu bei, Baumaßnahmen mit dem Ziel einer langlebigen und beständigen Konstruktion energie- und ressourceneffizient durchzuführen und somit eine nachhaltige Mobilität zu unterstützen. Eine erfolgreiche Wirtschaft benötigt eine leistungsfähige, dauerhafte und verfügbare Straßeninfrastruktur. Entscheidend sind dabei unter anderem die Lebenszykluskosten, die sich innerhalb der Nutzungsdauer einer Verkehrsfläche akkumulieren.

Straßenbefestigungen sind sowohl verkehrsbedingten als auch klimatischen äußeren Einwirkungen ausgesetzt. Da diese beiden Größen in der letzten Zeit zunehmend Veränderungen unterliegen, kann hinsichtlich der Dauerhaftigkeit der Straßenbefestigungen nur bedingt auf Erfahrungswerte aus der Vergangenheit zurückgegriffen werden.

Für die Verfügbarkeit der Straßen werden Ertüchtigungssysteme benötigt, die nach kurzer Sperrzeit wieder nutzbar sein müssen. Priorität sollte dabei die Dauerhaftigkeit der durchgeführten Erhaltungsmaßnahme haben, sodass möglichst große Zeiträume zwischen den Erhaltungsmaßnahmen mit dem Ziel einer hohen Verfügbarkeit erreicht werden können.

Dieses Ziel kann durch den Einsatz der Betonfertigteilmontagebauweise im Verkehrswegebau erreicht werden. Bei einer Fertigteilproduktion wird die höchste mögliche Betonqualität zielsicher erreicht. Auch die Bauzeiten vor Ort und damit Verkehrsbehinderungen werden gegenüber monolithisch hergestellten Betonbefestigungen drastisch reduziert.

Die Betonfertigteilmontagebauweise für Straßenbefestigungen bietet die Chance, die Dauerhaftigkeit der Befestigungen zu erhöhen, die Bauzeiten vor Ort signifikant zu senken, die Wirtschaftlichkeit langfristig zu verbessern und somit auch einen schonenden Umgang mit Ressourcen zu fördern. [1]

2. Stand der Technik

Die nachhaltige und dauerhafte Sanierung und Ertüchtigung von Straßen im öffentlichen Verkehrsnetz ist an eine Reihe von Randbedingungen geknüpft, die volkswirtschaftlich von großer Bedeutung sind:

- Dauerhaftigkeit und Langlebigkeit der Konstruktion
- Erhaltungsarmut, Instandhaltungskosten
- Betriebsfreundlichkeit / kurze Sperrzeiten
- Geringe Bauzeit in der Ausführung
- Optimierte Baukosten in Relation zur Nutzungsdauer
- Gute Wiederherstellbarkeit nach Aufgrabungen
- Recyclingkosten / Wiederverwendbarkeit der eingesetzten Baustoffe

Hochbelastete Verkehrsflächen werden in Deutschland ausschließlich monolithisch und vor Ort hergestellt. Dies führt zwangsläufig zu längeren Sperrzeiten bei Sanierungs- und Erneuerungsmaßnahmen. Gerade bei der Sanierung hochbelasteter Streckenabschnitte und Knotenpunkte ist es aber erforderlich, qualitativ hochwertige und dauerhafte Straßenkonstruktionen in kurzer Zeit zu realisieren.

Gegenwärtig wird diese Technologie im deutschen Straßenbau aber nicht genutzt. Eine wesentliche Ursache

dafür sind die schwer zu gestaltenden Auflagerbedingungen der für sich arbeitenden Betonfertigteileplatten, welche durch die unabhängig voneinander und damit nicht passgerechte Herstellung der Oberfläche der Unterlage und der Unterseite der aufliegenden Betonfertigteileplatte bedingt ist. Bisherige Versuche, diese Problematik durch entsprechende Verdichtungsmethoden oder auch durch Unterpressungen mit i. d. R. hydraulisch gebundenen Materialien zu klären, haben zu keinen befriedigenden Ergebnissen geführt.

Mit den im Ausland genutzten Technologien lassen sich keine Resultate erzielen, die dem Qualitätsanspruch im deutschen Straßenbau gerecht werden. Weiterhin sind für Fertigteilanwendungen im Straßenbau bisher auch keine bautechnisch sinnvollen und bewährten Fugenkonstruktionen bekannt, welche während der Nutzung eine Querkraftübertragung zur Lastverteilung auf beide Platten im Fugenbereich und zur Verhinderung von Erosion unter der Platte mit allen negativen Folgen (Materialzerstörung, Stufenbildungen) dauerhaft gewährleisten. [1]

3. Forschung und Entwicklung zum Einsatz von Betonfertigteilen im Verkehrswegebau

3.1 Forschungsprojekt HESTER

Neben theoretischen Untersuchungen und Berechnungen mit der Finite-Elemente-Methode (FEM) wurden im Forschungsvorhaben HESTER (Hybrides Ertüchtigungssystem für die Straßenerhaltung unter Einsatz neuartiger Werkstoffe) verschiedene Materialuntersuchungen durchgeführt. Auf der Grundlage erster Versuche konnten zunächst drei verschiedene Betongrundrezepturen definiert und jeweils für den Einsatz mit Glas- und Kunststofffasern modifiziert werden. Aus den insgesamt neun Betonrezepturen wurden Probekörper hergestellt, anhand deren die Spaltzug- und Druckfestigkeiten sowie die Nacherhärtung ermittelt werden konnten. Basierend auf diesen Ergebnissen sowie weiterführenden Betrachtungen (Ermittlung von Ermüdungsfunktionen), stellte sich eine Vorzugsbetonrezeptur heraus, die für die im Projekt herzustellenden Platten Verwendung finden sollte. Im Rahmen des Projektes wurden Fertigteileplatten für Laborgroßversuche, für einen Großversuch auf einem Versuchsgelände und schließlich für zwei Demonstratoren hergestellt, eingebaut und messtechnisch überwacht. [1]

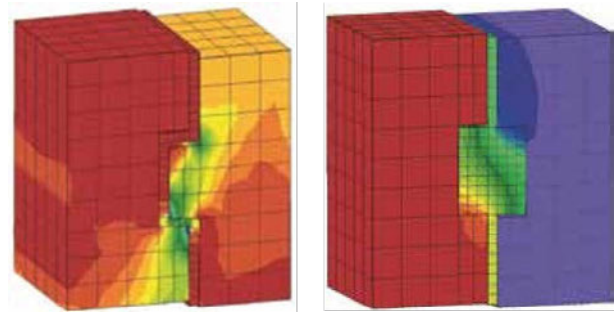


Abbildung 1: 3D FEM Detail zu möglichen Kopplungssystemen zwischen einzelnen Betonfertigteilen (Quelle: Villaret Ingenieurgesellschaft mbH)

3.2 Großversuch Prüfhalle

Parallel zu den Betonversuchen erfolgten Untersuchungen insbesondere im Hinblick auf die Fertigteilkopplung sowie auf die höhen- und lagegerechte Ausrichtung der Fertigteileplatten. Für die Fertigteilkopplung erarbeiteten die Verbundpartner verschiedene Systeme. Um die jeweilige Anwendbarkeit zu prüfen, wurden in einem Versuch im Labor der TU Dresden in zwei Durchgängen jeweils zwei Fertigteileplatten (je Plattenpaar waren vier Kopplungssysteme möglich) eingebaut und mit einer zyklischen Dauerbelastung mit 1 Mio. LW und 80 kN belastet. Jeweils vor und nach der Belastung sowie nach dem Durchtrennen im Bereich der Kopplung wurde eine statische Rampe bis 80 kN aufgebracht. Über zuvor an den Fertigteilen angebrachte Dehnmessstreifen und induktive Wegaufnehmer konnten dabei Dehnungen und Verschiebungen gemessen werden.

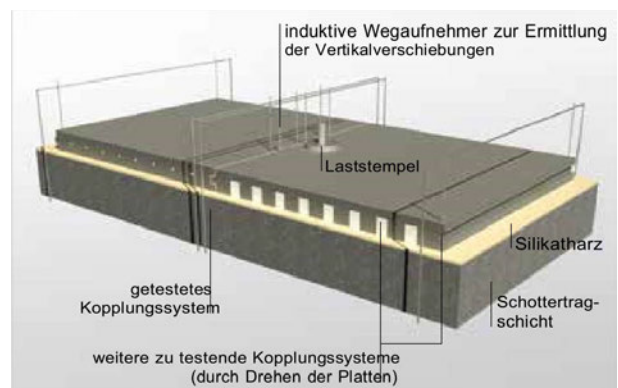


Abbildung 2: Prinzipeller Versuchsaufbau von 2,00 x 5,00 m unbewehrten Betonfertigteilen, auf einer lagenweise eingebrachten und verdichteten Schottertragschicht, die mit Silikatharz unterpresst wurden (Quelle: Villaret Ingenieurgesellschaft mbH)

Mit diesem Vorgehen war es möglich, insgesamt acht Kopplungssysteme zu testen. Im Ergebnis konnte festgestellt werden, dass sich alle untersuchten Varianten gleichermaßen eignen, eine Vorzugsvariante daher anhand weiterer Randbedingungen (z. B. Einbautechnologie) zu definieren ist. [1]

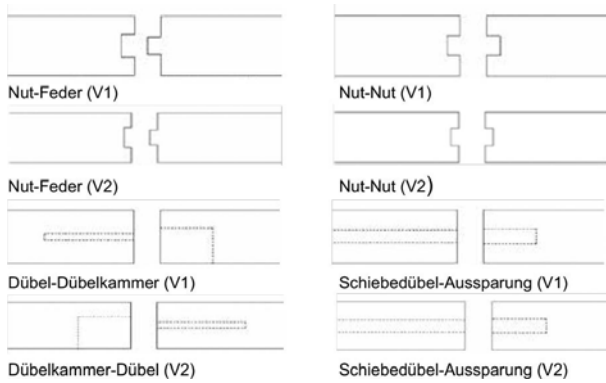


Abbildung 3: Getestete Kopplungssysteme (Quelle: Villaret Ingenieurgesellschaft mbH)

3.3 Höhenjustierung

In zuvor durchgeführten Projekten erfolgte die Ausrichtung der Platten stets durch Traversen, die auf der angrenzenden Fahrbahnkonstruktion aufgelegt wurden. Dabei hat sich gezeigt, dass diese System technisch möglich sind, jedoch in der praktischen Anwendung nicht den gewünschten Effekt erreichen.



Bild 1: Traversensystem I mit Anschluß an angrenzende Fahrbahnkonstruktion (Quelle: Schorpfel GmbH)



Bild 2: Traversensystem II mit Anschluß an angrenzende Fahrbahnkonstruktion (Quelle: Otto Alte-Teigeler GmbH)

Im Zuge des Forschungsvorhabens wurde daher von dem Verbundpartner STELCON das Höhenjustiersystem «HESTER-Kombi» in unterschiedlichen Ausprägungen erarbeitet, das es ermöglicht, die Platten unabhängig von der Bestandsfahrbahn auszurichten.

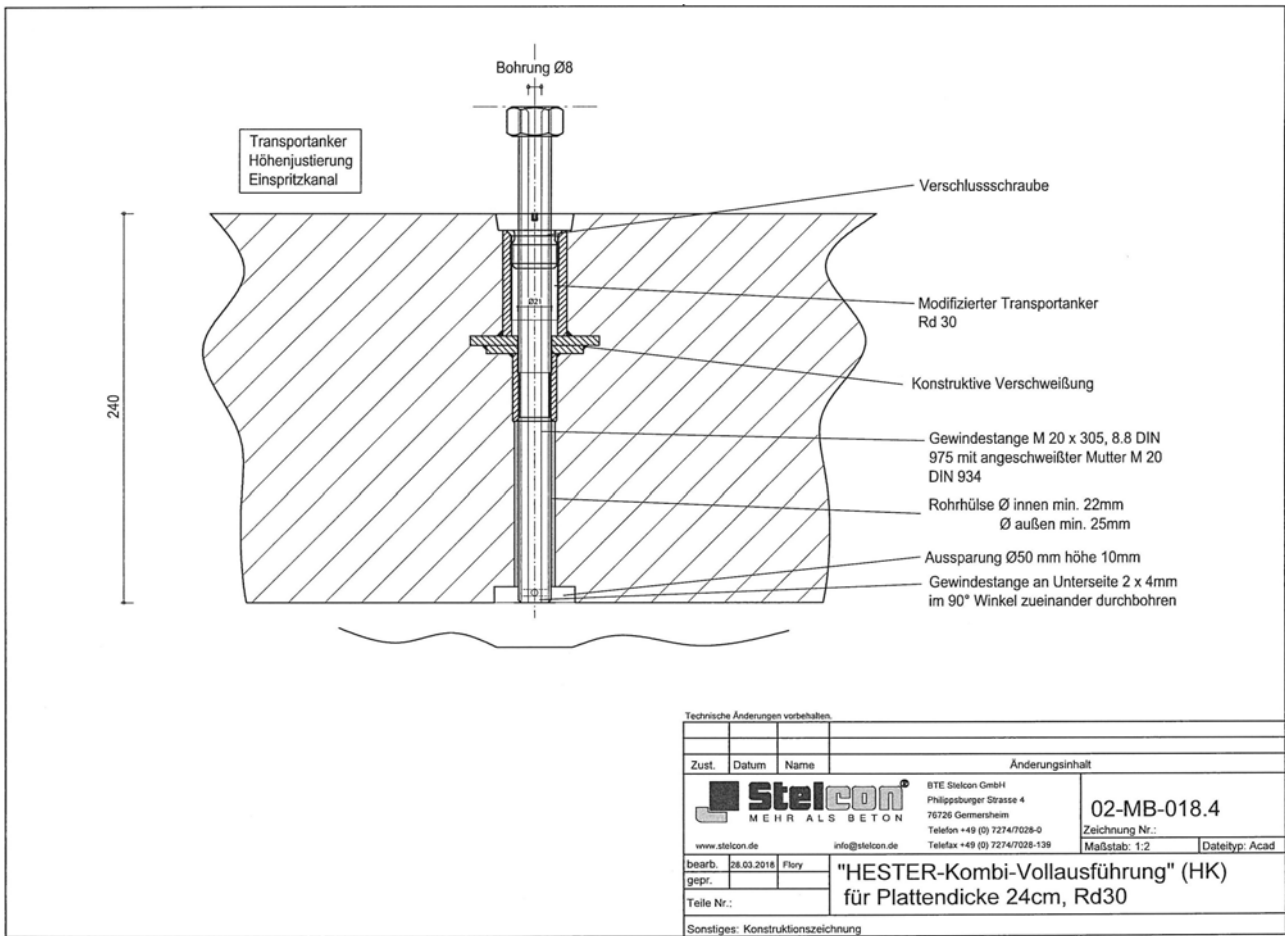


Abbildung 4: Systemskizze „HESTER Kombi“ - (Quelle: BTE Stelcon GmbH)

Zudem dienen die Elemente gleichermaßen dem Transport der Fertigteile zur Baustelle und je nach Typ auch zum Einbringen des Unterfüllmaterials. Ein wichtiger Aspekt ist die Möglichkeit, die Punkte, auf denen die Platte durch das Höhenjustiersystem während des Einbaus aufliegt, wieder zu entlasten. Dadurch soll eine vollflächige Auflagerung auf der Unterlage gewährleistet und somit die Dauerhaftigkeit erhöht werden. Dies ist bei allen erarbeiteten Varianten möglich und wurde in der Praxis bereits mehrfach erprobt. [1]

3.4 Versuchsbaustelle(n)

Auf den theoretischen Untersuchungen und den Versuchen im Labor basierend, erfolgte im Juli 2017 schließlich ein Großversuch auf dem Gelände des duraBAST, dem Demonstrations-, Untersuchungs- und Referenzareal der BAST. Auf einer Fläche mit einer Länge von ca. 20 m und einer Breite von 3,90 m wurden die Fertigteile verlegt. Dabei war es unter anderem auch möglich, neben den einzelnen verschiedenen Koppelsystemen erst neu entwickelte Höhenjustiersystem «HESTER-Kombi» zu testen.



Bild: 3: Versetzen der Betonfertigteileplatten auf dem duraBAST Gelände – Betonfertigteile mit Dübelkammern (Quelle: BTE stelcon GmbH)

Im Versuch wurden acht Fertigteileplatten mit den Abmessungen je Fertigteile von 2,47 m × 3,90 m × 0,24 m und einem Gewicht je Fertigteile von 5,8 t eingebaut. Für den Einbau und das Unterfüllen der Fertigteile waren zunächst zwei Tage veranschlagt. Das Einheben und Ausrichten der Fertigteile erfolgte innerhalb weniger Stunden, sodass die restlichen Arbeiten bereits am ersten Tag abgeschlossen werden konnten. Im Ergebnis wurde fest-

gestellt, dass alle Kopplungsvarianten auf der Baustelle praktikabel sind und das Höhenjustiersystem für die vorgesehene Aufgabe geeignet ist. [1]



Bild 5: Verlegung Betonfertigteilen mit Dübel-Dübelkammerverbindung (Quelle: BTE stelcon GmbH)



Bild 6: Verlegung Betonfertigteile mit Nut-Feder-Verbindung (Quelle: BTE stelcon GmbH)



Bild 7: Verlegung Betonfertigteile mit Schiebedübelausparung (Quelle: BTE stelcon GmbH)

4. Anwendungsbeispiele aus der Praxis

4.1 HST Klettwitzer Str., Berlin

Aufgabenstellung:

Erneuerung einer Bushaltestelle mit Betonfertigteilen unter dem Einsatz neuartiger Werkstoffe.

Fläche: ca. 90 m²

Besonderheiten:

- Lärminderung durch gebogene Fuge
- Lärminderung durch Waschbeton
- Nut-Nut-Federsystem



Bild 8: Örtliche Situation vor Beginn der Erneuerungsmaßnahme (Quelle: Hrvoje Prskalo, mag.ing.traff.)

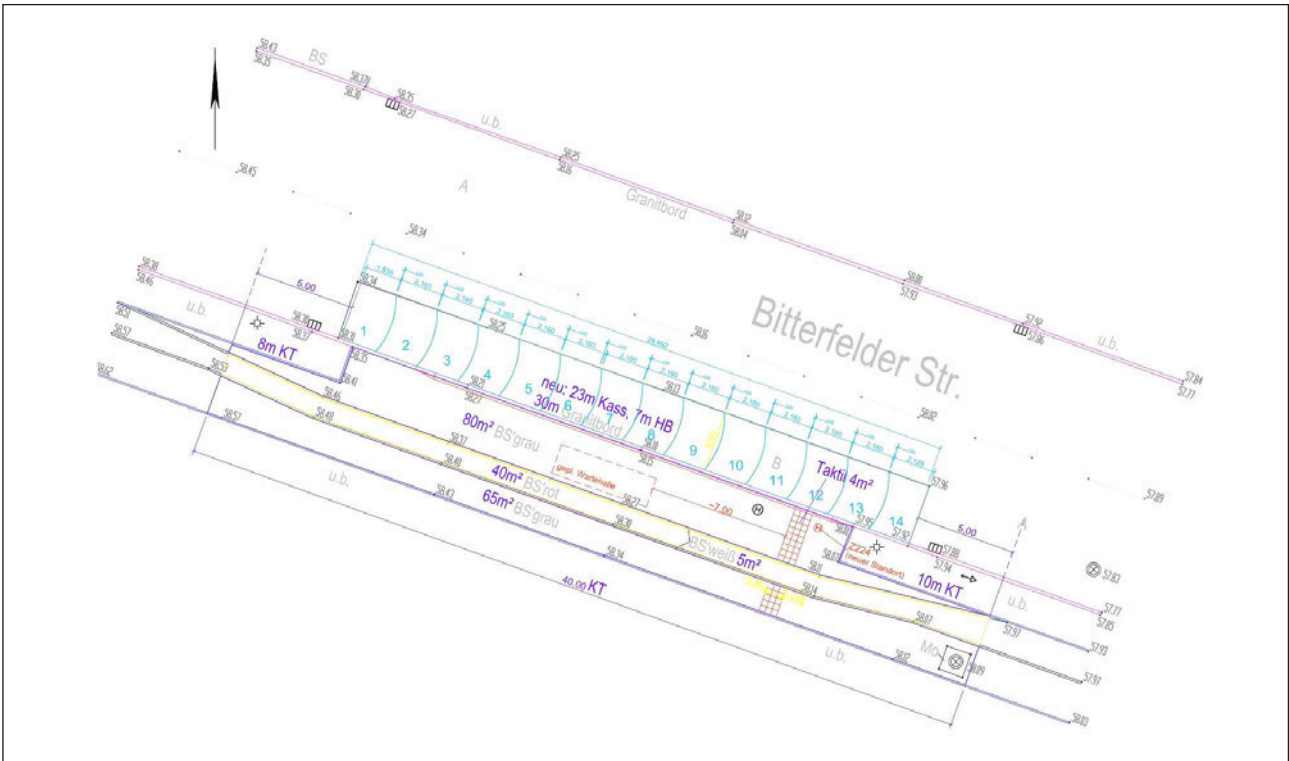


Abbildung 5: Ausführungsplan zur Erneuerung der Bushaltstelle mit Betonfertigteilen (Quelle: Hrvoje Prskalo, mag.ing.traff.)



Bild 9: Verlegen der Betonfertigteile mit dem „HESTER Kombi“ (Quelle: Hrvoje Prskalo, mag.ing.traff.)



Bild 10: verlegte Betonfertigteile mit gebogener Fuge zur Lärmminimierung und einer Nut-Nut-Verbindung (Quelle: Hrvoje Prskalo, mag.ing.traff.)



Bild 11: Füllstand der Unterpressung mit dem Silikat-harz (Quelle: Hrvoje Prskalo, mag.ing.traff.)



Bild 12: Verlegter Flächenbelag mit Betonfertigteilen – Vorbereitung zur Anarbeitung an den vorhandenen Flächenbelag (Quelle: Hrvoje Prskalo, mag.ing.traff.)

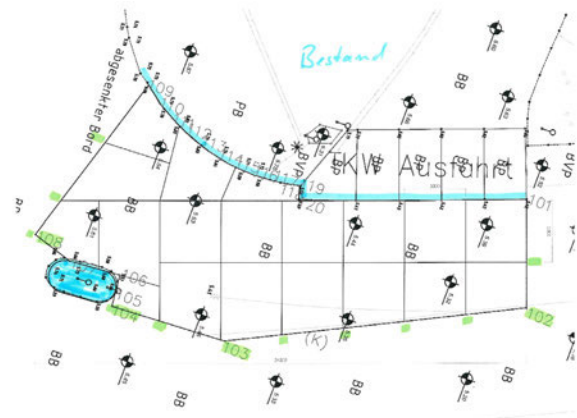


Abbildung 6: Konstruktionsplan zur Neugestaltung der Werksausfahrt mit Betonfertigteilen (Quelle: BTE stelcon GmbH)

4.2 Moorburger Str., Hamburg

Aufgabenstellung:

Erneuerung einer Werksausfahrt mit Betonfertigteilen zur Verlängerung der Standfestigkeit.

Fläche: 180 m²

Besonderheiten:

- Dreidimensionaler Höhenangleich im Unterbau und in der Betonfertigteilgeometrie
- Integration vorhandener Verkehrsbauteile in die Flächenkonstruktion
- Herstellung ungleichförmiger Betonfertigteile



Bild 13: Örtliche Situation vor Beginn der Sanierungsarbeiten – sichtbare Spurrillen, Verdückerungen und Verschiebungen im Flächenbelag (Quelle: BTE stelcon GmbH)



Bild 14: Anlieferung der ungleichförmigen Betonfertigteile mit einem Schräglader (Quelle: BTE stelcon GmbH)



Bild 15: Verlegte Betonfertigteile in der Fläche – vorbereitet zur Höhenjustierung mittels Stellschrauben „HESTER Kombi“ (Quelle: BTE stelcon GmbH)



Bild 16: Einsetzen eines Betonfertigteil – Aussparung zur Anpassung an vorhandene Verkehrsbauteile (Quelle: BTE stelcon GmbH)



Bild 17: Verlegter Flächenbelag mit Betonfertigteilen – Vorbereitet zum verschließen der Flächenfuge (Quelle: BTE stelcon GmbH)

4.3 A 8, FR München, km 354

Aufgabenstellung :

Sanierung von Brandschäden auf der Autobahn innerhalb einer Nachtschicht mit Betonfertigteilen.

Fläche: insg. 50 m²

Besonderheiten:

Oberflächenbeschaffenheit an die Örtlichkeiten angepasst

Just in Time Anlieferung

Dübel-Dübelkammer-Verbindung



Bild 18: Anlieferung der Betonfertigteile zur Baustelle gemäß abgestimmtem Zeitfenster (Quelle: BTE stelcon GmbH)



Bild 19: Trennschnitte gemäß Planvorlage (Quelle: BTE stelcon GmbH)



Bild 20: Vorbereiten der Sanierungsfläche – Anbringen der Dübelbohrungen (Quelle: BTE stelcon GmbH)



Bild 23: Verbindung Dübel – Dübelkammer (Quelle: BTE stelcon GmbH)



Bild 21: Einsetzen der Verschiebedübel in die vorhandene Fläche (Quelle: BTE stelcon GmbH)



Bild 24: Justierschraube „HESTER Kombi“ zum Höhenangleich und gleichzeitigem unterpressen (Quelle: BTE stelcon GmbH)



Bild 22: Verlegen der Betonfertigteile mit den Dübelkammern (Quelle: BTE stelcon GmbH)

5. Wirtschaftliche Betrachtung

5.1 Zielsetzung

Die Realisierung einer Flächenerneuerung mit Betonfertigteilen sollte nach dem Ampelsystem geplant werden, d.h. eine sorgfältige Vorbereitung in Planung, Vorfertigung der Betonbauteile und logistische Abstimmung sowie eine enge Integration aller Projektbeteiligten in der Ausführungsphase. Nur dann kommt der Systemvorteil von Betonfertigteilen, von einer kürzesten Bauzeit, voll zu seiner Entfaltung.

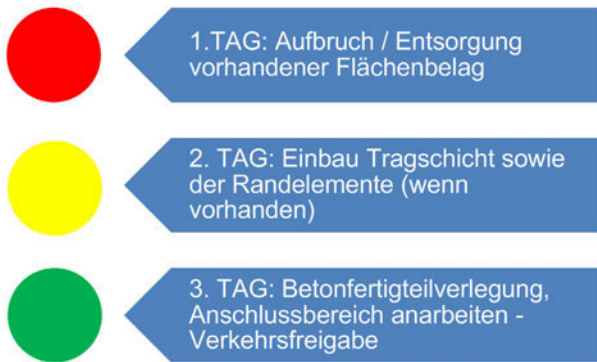


Abbildung 7: Ampelsystem für die Betonfertigteilmbauweise von Verkehrsflächen – Zeitangabe in Abhängigkeit von der Flächengröße (Quelle: BTE stelcon GmbH)

5.2 Bauzeitenvergleich

Ein wesentlicher Systemvorteil von Betonfertigteilen im Verkehrsflächenbau bzw. in der Verkehrsflächensanierung liegt in der erforderlichen Bauzeit vor Ort. Durch eine sorgfältige Planung, eine exakte Fertigung der Betonfertigteile unter höchsten Qualitätsansprüchen und einer genau abgestimmten Flächenvorbereitung kann die Einbauzeit und somit die Gesamtbauzeit auf ein Minimum reduziert werden.

Damit einhergehend reduziert sich die erforderliche Sperrzeit für die erforderliche Baumaßnahme und der damit verbundenen Verkehrsbeeinträchtigungen für alle Verkehrsteilnehmer, was unter Umständen auch zu einer positiven Akzeptanz bei den Nutzern der Verkehrsinfrastruktur führen kann.

Der bauzeitliche Erfolg von Betonfertigteilen im Verkehrsflächenbau bzw. in der Verkehrsflächensanierung liegt in der Planung und Vorbereitung. Hier ist es wichtig, dass vom ersten Tag an, Bauherr, Planer, Bauunternehmer und Lieferant eng und abgestimmt zusammenarbeiten. Jedes noch so kleine Detail kann wichtig sein, da Fehler bei der Ausführung durch die enge Taktung nicht verziehen werden bzw. behoben werden können.

Tabelle 1: Bauzeitenvergleich Betonfertigteilmbauweise vs. Ortbeton

(vorbereitende) Leistung	Fläche mit BFT	Flächen ohne BFT
Umbau der Altfläche und sonstige Anlagen	3 Wochen	3 Wochen
Verkehrsführung	entfällt	zusätzliche Kosten
Einbau Beton	1 Tag	1 Tag
Aushärten/befahrbar	Nach Herstellung des Anschlussbereichs	2 Wochen
Gesamt Bauzeit	ca. 3 Wochen	ca. 5 Wochen

5.3 Kostenvergleich der Systeme

In der reinen Budgetbetrachtung ist die herkömmliche Bauweise, ob in Asphalt oder Ortbeton, gegenüber der Betonfertigteilmbauweise immer die Günstigere.

as Bild wandelt sich, wenn in dieser Betrachtung auch Aspekte wie (Bau)Zeit, Verfügbarkeit, Dauerhaftigkeit, Unterhaltskosten und verfügbarer Ressourceneinsatz mit einbezogen werden d.h. eine Lebenszyklusbetrachtung herangezogen wird.

Allein schon die Verdopplung der Nutzungsdauer kann dazu führen, dass die Betonfertigteilmbauweise gegenüber der herkömmlichen Bauweise in der Lebenszyklusbetrachtung besser abschneidet.



Abbildung 8: Gegenüberstellung der herkömmlichen Verkehrsflächenbauweise vs. Betonfertigteilmbauweise (Quelle: BTE stelcon GmbH)

Werden Langfristigkeit und Nachhaltigkeit mit in den Entscheidungsprozess einbezogen, dann führt kein Weg an der Betonfertigteilmbauweise vorbei.

6. Fazit

Für die Verfügbarkeit der Straßen werden in der Zukunft Ertüchtigungssysteme benötigt, die nach kurzer Sperrzeit wieder nutzbar sein müssen. Ein Hauptaugenmerk sollte dabei die Dauerhaftigkeit der durchgeführten Ertüchtigungsmaßnahme haben, sodass der jeweilige Lebenszyklus auf ein Höchstmaß gesteigert wird, um den Nutzern der Verkehrsinfrastruktur die Verfügbarkeit so lange wie möglich zu gewährleisten. Auch wird unter diesem Aspekt jede Infrastrukturinvestition sich langfristig auszahlen und damit auch die heranwachsende Generation entlasten.

Literatur

[1] S. Villaret, T. Tschernack, Fertigteile für den Bau kommunaler Verkehrsfläche, update 52, Ausgabe Dezember 2018

Herstellung eines Kreisverkehrs mit einer Betondecke

Anforderungen an Materialprüfungen und Ausführung bei geänderten Rohstoffen

Prof. Dr.-Ing. Stefan Linsel

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft, Karlsruhe

Die Herstellung von Verkehrsflächen, insbesondere Fahrbahndecken, aus zementösen Medien, gewinnt deutlich an Bedeutung. Eine Ursache hierfür sind die prognostizierbaren längeren Nutzungszeiten, ohne dass in diesen nennenswerte Instandsetzungsmaßnahmen durchzuführen sind.

Im innerstädtischen Bereich ist ein weiterer Aspekt, dass Fahrbahndecken aus zementösen Medien mit Betrachtung einer behindertengerechten Nutzung des wegen Vorteile bieten, da sie auch bei größeren Temperaturänderungen von auch bis zu 60 Kelvin keine hierfür nachteiligen Verformungen zulassen.

Es sind jedoch erhöhte Anforderungen hinsichtlich Qualitätssicherung bei Ausführung anzusetzen, da aufgrund der thermisch-hygrischen Eigenschaften auch während der Erhärtungsphase ausführungsbedingte Parameter zur Sicherstellung einer Rissefreiheit definiert und kontrolliert werden müssen. Hierzu gehören Maßnahmen im Vorfeld, bereits bei der Festlegung geeigneter Betonzusammensetzungen. Wichtige Parameter für die Ausführung zum Frischbeton, aber auch Parameter zur Struktur

und Festigkeitsentwicklung des Betons sind stets standort- und bauteilbezogen festzulegen und im Rahmen von Erstprüfungen im Vorfeld zu qualifizieren. Dabei sind baubetriebliche Abläufe, wie beispielsweise eine zu applizierende Oberflächenstruktur, in Abhängigkeit der jeweiligen Umweltbedingungen mit zu berücksichtigen.

Aufgrund geänderter und sich ständig ändernden Rohstoffsituationen, hier insbesondere die Bindemittel und die Gesteinskörnungen betreffend, sind weitere beton-technologische Einflussparameter vorhanden, die zwingend bei der Konzeption der Betonzusammensetzung und bei der Überwachung der Ausführung zu quantifizieren sind. Dies betrifft nicht nur geänderte Rohstoffvorkommen bei der Betrachtung der Gesteinskörnung, dies betrifft insbesondere auch sich ständig ändernde Verfügbarkeiten der Bindemittel. So werden aus ökologischer Sicht künftig beispielsweise Komposit-Zemente mehr Bedeutung gewinnen, wohingegen Zusatzstoffe, wie beispielsweise Flugasche, aufgrund ökologischer Aspekte kaum mehr zur Verfügung stehen werden. Hier müssen Substitutionsbaustoffe Eingang in die Konzepte finden.



Zustands- erfassung 4.0

„Machine Learning“ im Straßenbau – Methode und Anwendungsfälle

Dr.-Ing. Mahdi Rahimi Nahoujy

Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bergisch Gladbach, Deutschland

Zusammenfassung

In diesem Artikel wird die Methode des „*Machine Learnings*“ -mit zwei Fallstudien im Straßenbau vorgestellt. Ein Anwendungsfall für Regression („*Supervised Learning*“) im Straßenbau ist die Modellierung und Prognose von Deflexionen aus den Daten von Tragfähigkeitsmessungen mit einem Falling Weight Deflectometer (FWD). Hierzu wurde dazu ein künstliches neuronales Netzwerk-Modell (KNN-Modell) entwickelt. Durch dieses Modell konnten die Daten (z.B. Deflexionswerte) an allen Punkten berechnet werden, die zwischen den Messpunkten (25 m Abstand) auf der Strecke lagen. Es wurde gezeigt, dass mit mindestens 150 Datensätzen durch KNN ein Modell trainiert werden kann, das eine mittlere quadratische Fehlerabweichung von weniger als einem Prozent aufweist. Das Clustering von Traffic-Speed-Deflectometer (TSD)-Daten auf Netzebene ist weiteres Anwendungsgebiet der Methoden des Unsupervised Machine Learnings bzw. Data Minings im Straßenbau. Beispielhaft wird die Analyse verschiedenster Mess- und Kennwerte des TSD vorgestellt. Mit Hilfe des Clusterings können die Daten in verschiedene Kategorien eingeteilt werden, z.B. „ausgezeichnet“ oder „gut“, „ausreichend“ und „ungenügend“ oder nach anderen Indikatoren, die für die Beurteilung des strukturellen Zustands der Fahrbahn relevant sind und eine Grundlage für weitere Analysen und die Datennutzung bieten.

1. Einleitung

Aufgrund der explosionsartigen Zunahme der Datenmengen in den letzten Jahren ist die menschliche Intelligenz zunehmend nicht in der Lage, diese Daten zu analysieren. Nicht nur die Komplexität der Analyse solcher umfangreichen Datenmengen, sondern auch die damit verbundene sehr lange Bearbeitungszeit, die theoretisch mehr als ein Menschenleben betragen kann, begründen dies.

Um Daten zu analysieren und Erkenntnisse über die Daten selbst zu gewinnen, sind Methoden erforderlich, die unter dem Überbegriff „Knowledge Discovery from Big Data (Data Mining)“ konsolidiert werden. Data Mining beschreibt eine Reihe von Methoden, die auf große, komplexe Datenbanken anwendbar sind, um verborgene und auffällige Muster (Pattern) in den Daten zu entdecken.

Der Kolloquiumsbeitrag wird zunächst geeignete Methoden der Datenaufbereitung, auch als *Preprocessing* bezeichnet, diskutieren. Als Beispiel soll die Ermittlung von Ausreißern und die Abgrenzung zu Messunsicherheiten in großen Datenmengen genannt werden.

Anschließend wird das Hauptthema *Machine Learning* diskutiert. Die wichtigsten Methoden hiervon sind: Regression, Classification und Clustering. Regression und Classification sind unter Begriff *Supervised Learning*

und Clustering unter dem Begriff *Unsupervised Learning* definiert.

Die Verwendung von *Machine Learning* mit FWD-Daten wurde in zahlreichen Studien vorgestellt [1,2,3,4]. Aber die Anwendung des *Machine Learnings* mit TSD-Daten ist neu in dieser Studie. In dieser Arbeit werden sowohl Methoden des *Supervised Learning*, als auch des *Unsupervised Learning* diskutiert.

Ein Anwendungsfall für Regression im Straßenbau ist die Modellierung und Prognose von Deflexionen aus Tragfähigkeitsmessungen mit dem Falling Weight Deflectometer (FWD). Hierzu wurde ein künstliches neuronales Netzwerk-Modell (KNN-Modell) entwickelt. Durch dieses Modell konnten die Daten (z.B. Deflexionswerte) an allen Punkten berechnet werden, die zwischen den Messpunkten (25 m Abstand) auf der Strecke lagen.

Für *Unsupervised Learning* wird in dieser Arbeit die Methode des Clusterings von Traffic-Speed-Deflectometer (TSD)-Daten auf Netzebene verwendet. Es wird die Analyse von TSD-Messwerten vorgestellt, um Labels für TSD-Daten bestimmen.

Im Rahmen der Anwendung der beschriebenen Methoden des maschinellen Lernens haben sich die Begrifflichkeiten in englischer Sprache weitestgehend etabliert. Zur Vermeidung von Missverständnissen und zur Anknüpfung an den Stand der Technik werden daher im vorliegenden Artikel weitestgehend die englischen Begriffe ohne Übersetzung verwendet.

2. Zerstörungsfreie Prüfungen (NDTs)

2.1 Tragfähigkeitsmessungen mit dem FWD

Das FWD (Abbildung 1) ist eines der frühesten Geräte für NDTs und ist kommerziell seit 1969 erhältlich. Bei diesem Gerät wird ein Kraftstoß von 10 bis 50 kN durch ein aus verschiedenen Höhen freigesetztes Gewicht erzeugt. Die Last wird auf die Straßenoberfläche über eine Platte (300 mm Durchmesser) übertragen. Die kurzzeitigen Verformungen der Straßenoberfläche (Deflexionen) werden mit zehn Geofonen gemessen, von denen sich eines in der Mitte der Platte und die übrigen in einem Abstand von 2100 mm von der Plattenmitte befinden [5]. Ein Operator kann etwa 50 Messungen pro Stunde mit einer Standardversion des FWD Primax 1500 durchführen. Der Abstand zwischen den Punkten beträgt 25 m, und die angewandte Last beträgt 50 kN. Die zeitabhängigen Verformungsverläufe (Time-History) der Impulsbelastung wird über eine Kraftmessdose aufgezeichnet. Die erzeugte Impulsbelastung des FWD wird verwendet, um eine Radüberrollung zu simulieren und sollte daher die gleiche Impulsdauer haben wie diejenige, die sich aus einer Radüberrollung mit einem Fahrzeug ergibt (Impulsdauer zwischen 20 und 30 ms).

Die Größe der Impulsbelastung sollte der Radlast eines Lastkraftwagens entsprechen [6,7].

Geofone erfassen die kurzfristige vertikale Verformung der Straßenoberfläche (Deflexionsmulde) als Reaktion auf die Impulsbelastung [7]. In dieser Studie befindet sich ein Geofon im Lastzentrum, und die anderen neun befinden sich in folgenden Abständen vom Lastzentrum: 0–200–300–450–600–900–1.200–1.500–1.800 (mm). Zusätzlich zu den FWD-Messungen wird an jedem Punkt die Oberflächentemperatur gemessen. Es wird empfohlen zusätzlich die Asphaltstärke mittels „Ground Penetrating Radar (GPR)“ zu messen.



Abbildung 1: Primax 1500 FWD

2.2 Tragfähigkeitsmessungen mit dem TSD

Das TSD wurde entwickelt, um Deflexionen bei hoher Geschwindigkeit zu erfassen (Rasmussen, 2002) [8]. Das Messsystem mit allen zugehörigen Instrumenten ist dabei in einem Lkw verbaut (s. Abbildung 2). So kann die Tragfähigkeit bei einer Geschwindigkeit von ca. 80 km/h gemessen werden.



Abbildung 2: Prinzipskizze des Messfahrzeugs[9]

Um Daten zu erfassen, nutzt das TSD das Doppler-Prinzip. Mehrere Doppler-Lasersensoren sind nahezu senkrecht auf die Fahrbahnoberfläche gerichtet und messen die Geschwindigkeit, mit der sich die Fahrbahnoberfläche unter der Einzelachse des Sattelauflegers nach unten bewegt. Mit bekannter Fahrgeschwindigkeit kann damit an jeder Laserposition die jeweilige Steigung der Verformungsmulde berechnet werden. Im Weiteren wird hieraus mittels mathematischer Methoden die Verformungsmulde abgeleitet [10].

Die Ergebnisdateien einer TSD-Messung enthalten in etwa 60 verschiedene Werte, die mittelbar und unmittelbar im Zusammenhang mit dem Straßenzustand oder der Messung selber stehen. Darunter finden sich im Falle des TSD der BAST zehn verschiedene *Slopes* (in Abstände: 450 (mm), -300 (mm), -200 (mm), 110 (mm), 210 (mm), 310 (mm), 460 (mm), 610 (mm), 910 (mm), 1510 (mm)) und i.d.R. mindestens neun verschiedene Deflexionen (in Abstände: D0 (mm), D200 (mm), D300 (mm), D450 (mm), D600 (mm), D750 (mm), D900 (mm), D1200 (mm), D1500 (mm)).

3. Die Methode des Machine Learnings

3.1 Supervised Learning

Supervised Learning ist eine Form des *Machine Learning*, bei dem Input und Output spezifiziert werden und es einen so genannten Beobachter gibt, der dem Lernenden Informationen zur Verfügung stellt. Somit kann das System versuchen, eine Funktion vom Input zum Output herzustellen.

Beim *Supervised Learning* beginnt die Arbeit mit dem Import von Datensätzen, einschließlich Input- und Output-Attributen. Der Algorithmus für *Supervised Learning* ermittelt die Beziehung zwischen den Input-Variablen und ihren spezifischen Target-Variablen und verwendet diese erlernte Beziehung, um völlig neue Inputs (ohne

Target) zu kategorisieren. Das Ziel des *Supervised Learnings* ist es letztendlich, Outputs mit maximaler Genauigkeit für die neuen Inputs vorherzusagen.

Auf der Grundlage des verfügbaren Datensatzes lässt sich das Problem des *Supervised Learnings* in zwei Typen einteilen: „Klassifikation“ und „Regression“.

Die Regression wird normalerweise verwendet, um die Beziehungen zwischen zwei oder mehr Variablen zu bestimmen. Einige bekannte Regressionsmodelle sind: „Lineare Regression“, „Polynomische Regression“ und „Multilayer Perceptron (MLP)“.

3.2 KNN

Künstlich neuronale Netze (KNN) werden als nützliches Werkzeug zur Lösung technischer Probleme mit hochgradig nicht-linearen funktionalen Annäherungen gesehen. KNN wurden erfolgreich angewandt bei Aufgaben wie der Anerkennung von Funktionsapproximation, Funktionsoptimierung, Vorhersage, Datenwiederherstellung, automatische Steuerung und viele andere Fälle.

Ein KNN besteht aus einer Gruppe von künstlichen Neuronen, welche die kleinste Einheit der Informationsverarbeitung (*Information Processing*) darstellen. Jedes künstliche Neuron erhält Inputs, verarbeitet sie und produziert schließlich eine Ausgangssignal. Zwei oder mehr Neuronen können in Form einer Schicht kombiniert werden; ein einzelnes Netzwerk kann aus mehreren Schichten bestehen. Das in Abbildung 3 dargestellte Netzwerk umfasst Input-Neuronen, Output-Neuronen und versteckte Neuronen.

KNNs werden so programmiert oder trainiert, dass eine bestimmte Eingabe eine bestimmte Zielausgabe hat. Abbildung 3 zeigt diese Situation, in der das Netzwerk auf der Grundlage der Differenz zwischen dem Ziel und dem Output modifiziert wird, bis der Output nahe genug am Ziel ist. Um ein Netzwerk zu trainieren und den Lernprozess zu überwachen, sollten viele Input/Target-Paare verwendet werden [11].

3.3 Multilayer Perceptron (MLP)

Das Perceptron ist eines der bedeutendsten KNN und ist in der Technik weit verbreitet. Das MLP gilt als eines der am besten geeigneten Netzwerke, das einen *Supervised* Trainingsalgorithmus verwendet. Diese Netzwerke sind in der Lage, eine nicht-lineare Mapping genau durchzuführen, indem sie die geeignete Anzahl von Schichten und neuronalen Mengen wählen.

In der Regel wird ein MLP mit einem Backpropagation (BP)-Algorithmus trainiert [12,13]. Der BP-Lernalgorithmus ist einer der wichtigsten historischen Entwicklungen bei neuronalen Netzen.

3.4 Das Training eines MLP-Modells

Um ein MLP-Modell zu trainieren, werden die Datensätze in drei Gruppe geteilt:

1. Trainingsdaten: Sie bezeichnen die Daten, die während des Trainingsprozesses verwendet werden. Sie sind bekannt und werden als Vorlagemodell verwendet. Das Netzwerk wird mit dem Großteil der Daten trainiert (70% wurden in dieser Studie verwendet), um eine möglichst hohe Übereinstimmung zwischen Input und Output zu erzielen.

2. Validierungsdaten: Ein Netzwerk könnte falsch trainiert werden, da es dazu neigt, die Daten auswendig zu lernen und damit die Fähigkeit zur Generalisierung verliert. Dies wird als *Overtraining* (oder *Overfitting*) bezeichnet. Um ein *Overtraining* zu vermeiden, muss das Training während des Prozesses validiert werden. Daher wird während des Trainings ein weiterer, unabhängiger Datensatz (15% in dieser Studie) verwendet, um den Trainingsprozess zu validieren und ein *Overtraining* zu verhindern.

3. Testdaten: Nach Abschluss des Trainingsprozesses werden Testdaten mit unabhängigen Zielen (Target) verwendet, um die Genauigkeit des Lernens zu bewerten. Das Testen der Daten dient dazu, das Ergebnis des Trainings zu ermitteln. Mit anderen Worten: Testdaten (15% in dieser Studie) liefern die endgültigen Antworten darauf, ob das Netzwerk erfolgreich trainiert wurde.

4. Unsupervised Learning

Beim *Unsupervised Learning* gibt es anders als beim *Supervised Learning* keine spezifischen Daten im Voraus, und das Ziel besteht nicht darin, Input und Output zu kommunizieren, sondern sie lediglich zu kategorisieren. Der Lernende muss in den Daten nach einer bestimmten Struktur suchen.

Unsupervised Learning ist eine Reihe von Methoden des *Machine Learnings* zur Entdeckung von Mustern in den Daten. Die Daten, die mit dem *Unsupervised* Algorithmus verarbeitet werden, sind nicht markiert, was bedeutet, dass die Input-Variable (X) ohne eine entsprechende Output-Variable angegeben wird. Beim *Unsupervised Learning* werden Algorithmen verwendet, um interessante Strukturen in den Daten zu entdecken. „Clustering“ ist die wichtigste Methode beim *Unsupervised Learning*.

4.1 Clustering

Die Clusteranalyse, oder kurz Clustering, ist der Prozess, durch den eine Menge von Objekten in einzelne Gruppen zerlegt werden kann. Jede Aufteilung wird als Cluster bezeichnet. Die Mitglieder jedes Clusters sind sich in ihren Merkmalen sehr ähnlich, und stattdessen ist der Grad der Ähnlichkeit zwischen den Clustern minimal. In einem solchen Fall besteht der Zweck des Clustering darin, den

Objekten „Label“ zuzuweisen, die anzeigen, dass jedes Objekt ein Mitglied des Clusters ist.

4.2 K-Means

Der K-Means-Algorithmus ist einer der beliebtesten Algorithmen, die beim „Data Mining“, insbesondere im Bereich des *Unsupervised Learning*, verwendet werden. Beim K-Means-Clustering wird die Optimierung einer Zielfunktion verwendet. Die Clustering-Ergebnisse in dieser Methode können mit Hilfe der Minimierung oder Maximierung der Zielfunktion durchgeführt werden. Das heißt, wenn das Kriterium „Abstandsmaß“ zwischen Objekten ist, basiert die Zielfunktion auf der Minimierung. Die Antwort auf die Clustering-Operation besteht darin, Cluster zu finden, bei denen der Abstand zwischen den Objekten in jedem Cluster minimal ist.

Wenn umgekehrt die Unähnlichkeitsfunktion zur Messung der Ähnlichkeit von Objekten verwendet wird, wird die Zielfunktion so gewählt, dass die Clustering-Ergebnisse ihren Wert in jedem Cluster maximiert.

Nehmen wir an, dass die Beobachtungen (x_1, x_2, \dots, x_n) , die eine Dimension d haben, in k Clustern unterteilt werden müssen. Diese Cluster werden als $S = \{S_1, S_2, \dots, S_k\}$ bezeichnet. Die Clustermitglieder sollten aus Beobachtungen ausgewählt werden, die die Funktion der „within-cluster sum of squares“ (WCSS) minimieren. Daher wird die Zielfunktion in diesem Algorithmus wie folgt geschrieben [14]:

$$\arg_S \min \sum_{i=1 \times \in S_j}^k \sum \|X - \mu_i\|^2 = \arg_S \min \sum_{i=1}^k |S_i| Var S_i$$

Hier ist μ_i das Zentrum der Cluster S_i . $|S_i|$ ist die Anzahl der Mitglieder im Cluster i .

4.3 Training eines K-Means-Modells

In dieser Studie arbeitet der K-Means-Algorithmus mit einer iterativen Verfeinerungstechnik, die auf folgende Weise funktioniert [14]:

1. Zunächst werden nach dem Zufallsprinzip K Zentren (Mittelwert des Clusters) quantifiziert, welche die Cluster repräsentieren:

$$\mu_1^0, \mu_2^0, \dots, \mu_k^0$$

2. Jede Beobachtung wird dem Cluster mit dem nächstliegenden Mittelwert zugeordnet. In dieser Arbeit wird der Euklidische Abstand (*Squared Euclidean Distance*) als K-Means-Algorithmus verwendet:

$$S_i^t = \{x_p : \|x_p - \mu_i^t\|^2 \leq \|x_p - \mu_j^t\|^2 \forall j, 1 \leq j \leq k\},$$

3. Es werden die Mittelwerte für Beobachtungen neu berechnet, die jedem Zentrum zugeordnet sind:

$$m_i^{t+1} = \frac{1}{|S_i^t|} \sum_{x_j \in S_i^t} x_j$$

Dann werden diese beiden Schritte (2 und 3) mehrmals abwechselnd durchgeführt, so dass die Mittelwerte stabil genug sind oder die Summe der Varianzen der Cluster sich nicht stark ändert.

4. Schließlich werden die folgenden Mittelwerte der letzten Phase (in der Zeit T) die Cluster repräsentieren:

$$\mu_1^T, \mu_2^T, \dots, \mu_k^T$$

5. Ergebnisse

In dieser Studie sind zwei verschiedene Anwendungsfälle von Maschine Learning für FWD-Daten und TSD-Daten dargestellt.

5.1 Die Anwendung von KNN für FWD-Daten

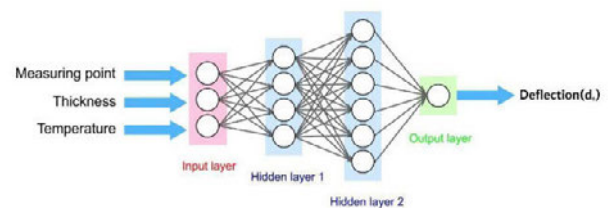


Abbildung 3: Die Architektur des MLP-Modells

In dieser Studie wird ein MLP-Netzwerk mit zwei verborgenen Schichten (*hidden layer*) verwendet. In der ersten und zweiten verborgenen Schicht wird eine Sigmoid-Funktion und in der Output-Schicht eine lineare Funktion verwendet. Weitere verborgene Schichten werden nicht berücksichtigt, da sie das Problem verkomplizieren und keine besseren Ergebnisse bringen. Das Ziel ist, das beste Ergebnis zu erzielen, daher werden bestimmte Modifikationen an Eingängen, Neuronen und Algorithmen (Trainingsfunktionen) bei jeder Iteration durchgeführt. Mit anderen Worten, ein neuronales Netz wird trainiert für eine einzige Ausgabe mit verschiedenen Eingaben, mit unterschiedlichen Anzahlen von Neuronen und unterschiedlichen Algorithmen, um das beste Netzwerk unter den möglichen Ausbildungsmethoden zu bestimmen. Die

Input-Schicht besteht aus drei Parametern: Messpunkt, Dicke und Temperatur.

Die Output-Schicht hat nur einen Parameter: Deflection(D_0). Die Architektur des besten Modells ist in Abbildung 3 dargestellt.

Für diese Studie wurden FWD-Messdaten und Dickenmessdaten (GPR) in einem Abstand von 20 m verwendet. Als Ergebnis wurden 158 Datenreihen von Input und Output erhalten (Rahimi Nahoujy 2020). In diesem Beitrag wurde das MLP-Netzwerk in der Programmiersprache und Computerumgebung MATLAB® implementiert, wobei das MLP-Modell mit FWD-Daten trainiert wird.

Diese Studie zeigt, dass das beste Modell zwei verborgene Schichten mit 4 Neuronen in der ersten und 6 in der zweiten verborgenen Schicht enthält. Der verwendete Trainingsalgorithmus ist „Conjugate Gradient Backpropagation with Polak-Ribière Update (CGP)“. Darüber hinaus wurden R-Wert und Performance zwischen experimentellen und simulierten Daten bestimmt. Abbildung 4 zeigt ein Diagramm der Performance. Dieses Netzwerk wurde für 2000 Epochen trainiert, wobei die Epoche Nr. 962 die beste Leistung in diesem Netzwerk darstellt. Das Trainieren des Netzwerks wurde aufgrund des Erreichens der vorgegebenen maximalen Epoche gestoppt. Die beste Performance des Trainings, die beste Performance der Validierung und die beste Performance des Tests liegen bei 0,0031, 0,0042 bzw. 0,0050. In dieser Studie wurde der *Mean Square Error* (MSE) zur Angabe der Performance verwendet. Die lineare Regression für Training, Validierung, Test und das gesamte Netzwerk ist in der Abbildung 5 dargestellt.

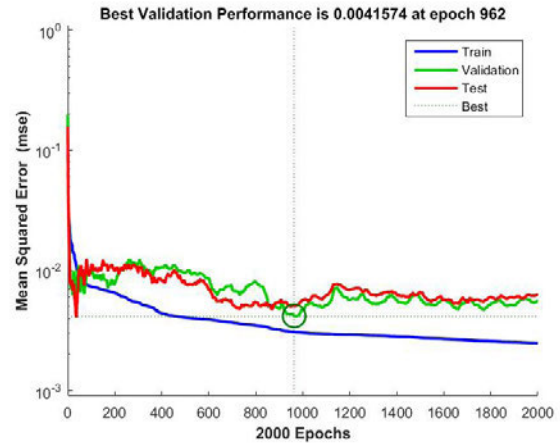


Abbildung 4: Performance-Diagramm für Trainings-, Validierungs- und Testdatensätze

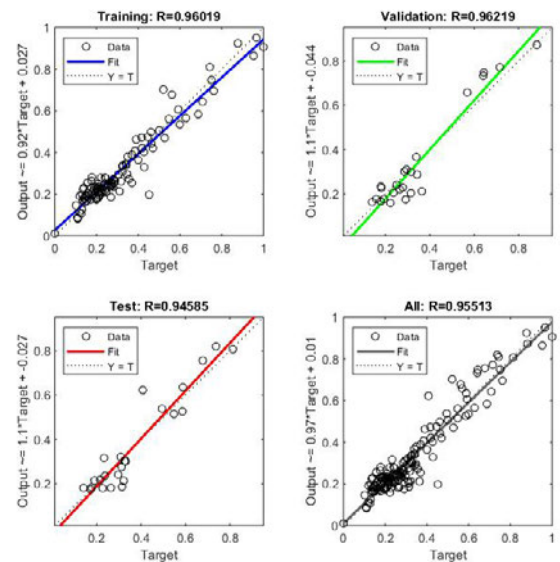


Abbildung 5: Regressionsgrafiken zur KNN-Vorhersagegenauigkeit für Trainings-, Validierungs- und Testdatensätze

Nach Abbildung 5 beträgt der R-Wert für das Training 0,96 bei einem MSE von 0,0031, der R-Wert für die Validierung 0,96 bei einem MSE von 0,0042. Der R-Wert für den Test beträgt ca. 0,95 bei einem MSE von 0,0050 und der R-Wert für alle Daten liegt bei ca. 0,96. Es zeigt

sich, dass das Modell eine ausgezeichnete Möglichkeit zum Training des Netzwerks ist und eine starke Generalisierungsfähigkeit besitzt.

5.2 Die Anwendung von K-Means für TSD-Daten

In dieser Studie wurden mit dem TSD der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) auf einer Autobahn in Nordrhein-Westfalen gemessene Daten verwendet. Die Messungen wurden alle 10 m auf mehr als 52 km Autobahn mit 3 Streifen in beide Richtungen prozessiert, so dass 68799 Datensätze verfügbar sind.

5.2.1 Preprocessing

Der Beginn jeder Art von Arbeit und Betrieb hat in der ersten Phase eine Reihe von Anforderungen und Voraussetzungen. *Machine Learning* ist keine Ausnahme von dieser Regel und erfordert eine Vorbereitung und Bearbeitung der Datenbasis. Hierzu müssen alle Daten, die für den beabsichtigten Zweck verwendet werden sollen, vor Beginn des Prozesses mit geeigneten Methoden im Rahmen des sogenannten *Preprocessing* aufbereitet und eingerichtet werden. Das *Preprocessing* spielt eine Schlüsselrolle für den Datenverarbeitungsprozess und seine Ergebnisse. Es gibt mehrere Schritte und Werkzeuge für die Datenvorverarbeitung. In einigen Fällen haben einige Attribute einer oder mehrerer Stichproben möglicherweise keine gültigen Werte. Dies kann verschiedene Gründe haben, z.B. das Rauschen (*noise*) der aufgezeichneten Daten, die Nichtaufzeichnung oder die Ungültigkeit ihres Wertes. Diese Daten werden als „Fehlende Daten“ (*Outlier data* | Null Daten) bezeichnet.

Für die Verarbeitung solcher Datensätze muss eine Lösung gefunden werden, um die nicht vorhandenen Daten zu quantifizieren. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, fehlende Daten zu verwalten.

In dieser Studie wird eine einfache Methode verwendet, weil die Anzahl der verfügbaren Proben sehr groß ist. Bei dieser Methode werden alle Proben, die einen fehlenden Attributwert haben, vollständig aus dem Datenbestand entfernt und bei der Verarbeitung nicht verwendet.

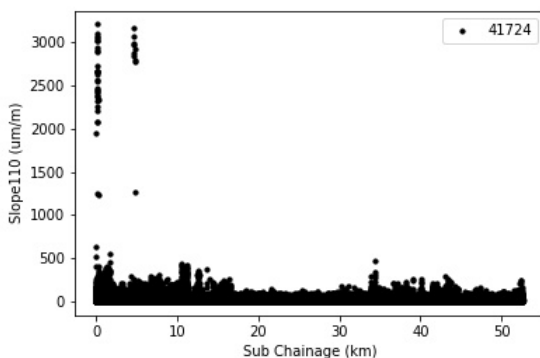


Abbildung 6: TSD-Daten ohne fehlende Daten

Die Abbildung 6 zeigt, dass für „Slope110“, also dem *Slope*-Wert an der Position 110 mm, 41724 Daten für diese Strecke verfügbar sind und die anderen Daten fehlen. Nach den fehlenden Daten sollen Ausreißer-Daten gefunden werden. In einigen Fällen können aus irgendeinem Grund Werte im Datensatz erscheinen, die sich sehr von anderen Werten im Datensatz unterscheiden, was als Ausreißer-Daten bezeichnet wird. In der Tat handelt es sich bei Ausreißer-Daten um Daten oder Stichproben, die dem allgemeinen Verhalten oder Modell des gesamten Datensatzes nicht ähneln oder ihm nicht folgen.

Für die Erkennung von Ausreißer-Daten stehen verschiedene statistische Methoden zur Verfügung, die spezifische statistische Analysen zur Identifizierung der zuverlässigen Grenzen für jede Datengruppe bieten. In dieser Studie wird die Hotellingsche T-Quadrat-Verteilung (T^2) verwendet. In der Abbildung 7 sind die Ausreißer-Daten markiert. 106 Daten wurden als Ausreißer erkannt und wurden gelöscht.

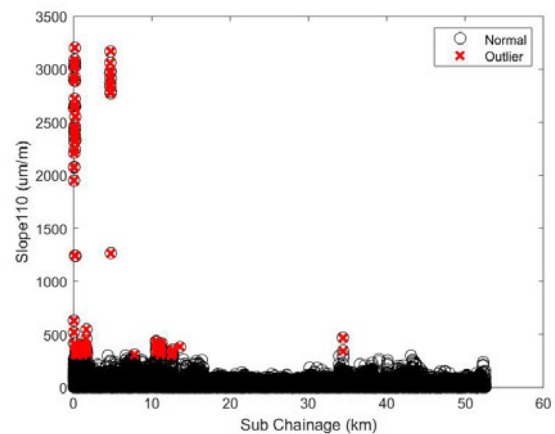


Abbildung 7: Ausreißer-Daten in den TSD-Daten

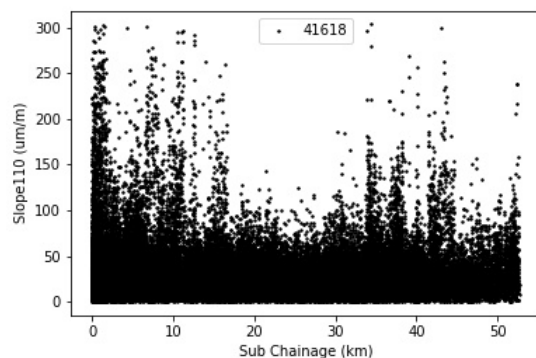


Abbildung 8: TSD-Daten nach dem *Preprocessing*

Nachdem diesem *Preprocessing* werden die Daten für das Clustering vorbereitet. Die Abbildung 8 zeigt den vorbereiteten Datensatz für das *Machine Learning*, der aus 41618 Datenzeilen besteht.

5.2.2 Clustering

Im ersten Schritt werden die *Slope* 110-Werte durch K-Means in vier Cluster eingeteilt (eindimensionale Cluster). Da die Ergebnisse des Clusterings bei jeder Durchführung anders sein könnten, wurden einige Modelle trainiert und deren Ergebnisabweichungen analysiert. Die Abweichung von Durchschnitten und Grenzen der Modelle waren sehr niedrig (weniger als 1%), womit sich zeigt, dass die Cluster robust sind. In der folgenden Abbildung 9 sind vier Cluster dargestellt.

Die Mittelwerte (*Center*) in diesem Model sind wie folgt positioniert:

- Center 1: 14.3641437039793 $\mu\text{m}/\text{m}$
- Center 2: 41.9321957198163 $\mu\text{m}/\text{m}$
- Center 3: 86.2550691677927 $\mu\text{m}/\text{m}$
- Center 4: 179.975589050958 $\mu\text{m}/\text{m}$

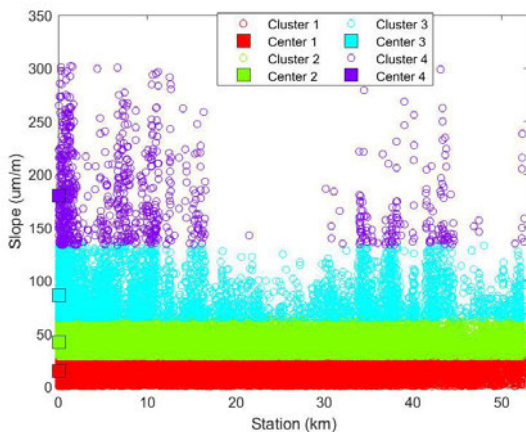


Abbildung 9: Cluster-Diagramm für TSD-Daten

Alle Punkte in jedem Cluster haben den geringsten Abstand von dem jeweiligen Zentrum, im Vergleich zu den anderen Zentren. Durch dieses Modell ergeben sich drei Grenzen (Label):

- Label 1: ca. 28,15 $\mu\text{m}/\text{m}$
- Label 2: ca. 64,10 $\mu\text{m}/\text{m}$
- Label 3: ca. 133,10 $\mu\text{m}/\text{m}$

Mittels dieser Labels werden alle Daten in vier Gruppen (Cluster) eingeteilt. Die Daten jedes Clusters haben eine besondere Beziehung zueinander. Auf Grundlage des vorhandenen Erfahrungshintergrundes im Zusammenhang mit Tragfähigkeitsmessungen, werden die TSD-Daten (hier: *Slope*110-Werte) daraufhin wie folgt kategorisiert:

- ausgezeichnet:** 0 - 28,15 $\mu\text{m}/\text{m}$
- gut:** 28,15– 64,10 $\mu\text{m}/\text{m}$
- ausreichend:** 64,10– 133,10 $\mu\text{m}/\text{m}$
- ungenügend:** mehr als 133,10 $\mu\text{m}/\text{m}$

In dem zweiten Schritt wurde ein 2-D Cluster modelliert. *Slope*110- und *SCI*300-Werte wurden durch K-Means in vier Cluster eingeteilt. Die Abbildung 10 zeigt dieses Modell:

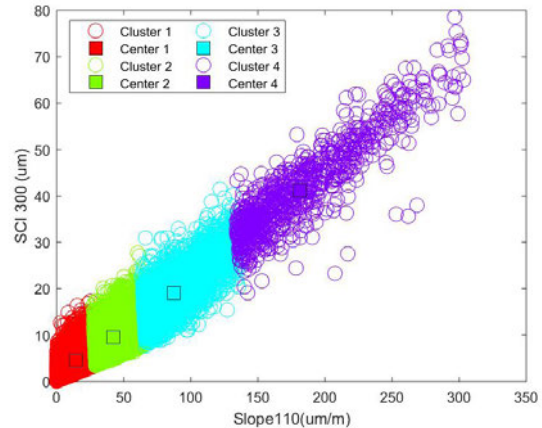


Abbildung 10: Cluster-Diagramm für TSD-Daten

Die Mittelwerte (*Center*) in diesem Model sind in der Tabelle 1 dargestellt:

Tabelle 1: Center Position des Clusters

Center Nr.	SCI300 (μm)	Slope110 ($\mu\text{m}/\text{m}$)
Center 1	4,537950601	14,51022935
Center 2	9,506927762	42,40942986
Center 3	19,03173728	87,43441295
Center 4	41,19509195	181,1858342

Durch dieses Modell können Label als lineare Grenzen definiert werden:

- Label 1: $11,842X + Y - 341,85 = 0$
- Label 2: $4,81X + Y - 326,45 = 0$
- Label 3: $4,05X + Y - 574,3 = 0$

Diese Labels teilen alle Daten in folgenden Gruppen ein:

- Ausgezeichnet: $11,842X + Y - 341,85 < 0$
- Gut: $\begin{cases} 11,842X + Y - 341,85 > 0 \\ 4,81X + Y - 326,45 < 0 \end{cases}$
- Ausreichend: $\begin{cases} 4,81X + Y - 326,45 > 0 \\ 4,05X + Y - 574,3 < 0 \end{cases}$
- Ungenügend: $4,05X + Y - 574,3 > 0$

mit
 $X = \text{Slope } 110 \text{ (}\mu\text{m}/\text{m)}$
 $Y = \text{SCI}300 \text{ (}\mu\text{m)}$

Nachdem die Cluster durch Label positioniert wurden, kann bei neuen gemessenen Daten durch diese Labels bestimmt werden, in welchem Cluster sie lokalisiert werden.

An dieser Stelle wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die vorgestellten Grenzen, Kategorien und Label aus einem rein datenbasierten Ansatz stammen, daher keine Allgemeingültigkeit besitzen und in höchstem Maße von der Datengrundlage abhängig sind. Die Wiedergabe der Daten und Werte dient hier lediglich zur Demonstration des Vorgehens.

6. Zusammenfassung

Zerstörungsfreie Prüfungen (NDT) werden auf verschiedenen Ebenen eingesetzt, um verschiedene Fahrbahnbefestigungen hinsichtlich ihres Zustandes zu bewerten und ggf. daraus einen Erhaltungsbedarf abzuleiten. In dieser Arbeit wurde zwei verschiedene Fallbeispiele für das *Machine Learning* im Straßenbau dargestellt. Zunächst wurde gezeigt, dass das neuronale Netz als *Supervised Learning* in der Lage ist FWD-Deflexionen zu modellieren und sich das entwickelte Modell durch eine starke Generalisierbarkeit auszeichnet. Nach der Modellierung kann das Netz die bisher nicht verfügbaren Daten für alle Punkte zwischen den Messpunkten mit geringem Fehler liefern. Das beste Modell hatte einen MSE von 0,5 % und einen R-Wert von ca. 95 % für die Testdaten.

Darüber hinaus wurden TSD-Daten durch die Anwendung von K-Means als *Unsupervised Learning*-Methode modelliert.

Dabei wurden TSD-Slopes und SCI300-Werte in 1-D und 2-D Clustern modelliert. Für jedes Modell wurden vier verschiedene Cluster mit bestimmten Grenzen als Label (ausgezeichnet, gut, ausreichend, ungenügend) definiert. Die so bestimmten Cluster können dann zur Klassifizierung neuer Datensätze dienen. Die Abweichung von Durchschnitten und Grenzen der Modelle waren mit weniger als 1% sehr niedrig.

Bei der Anwendung rein datenbasierter Auswertungen und Klassifizierungen wird dennoch empfohlen die Ergebnisse anhand von zum Beispiel mechanischer Modelle zu prüfen oder einzuordnen.

Literaturverzeichnis

- [1] Kim, Y., Kim, Y. R. 1998. Prediction of layer moduli from falling weight deflectometer and surface wave measurements using artificial neural network. *Transportation Research Record*, 1639, 53–61.
- [2] Ceylan, H., Guclu, A., Tutumluer, E., Thompson, M. R., 2005. Backcalculation of full-depth asphalt pavement layer moduli considering nonlinear stress-dependent subgrade behavior. *International Journal of Pavement Engineering*, 6(3), 171-182.
- [3] Li, M. Y., Wang, H. 2019. Development of ANN-GA program for backcalculation of pavement moduli under FWD loading with viscoelastic and nonlinear parameters. *International Journal of Pavement Engineering*, 20(4), 490–498.
- [4] Rahimi Nahoujy, M., 2020. An Artificial Neural Network approach to model and predict asphalt deflections as a complement to experimental measurements by Falling Weight Deflectometer. Doctoral dissertation, Ruhr-Universität Bochum, Germany.
- [5] Huang, Y. H., 2004. *Pavement design and analysis*. Upper Saddle River, NJ. Pearson/Prentice Hall.
- [6] Jansen, D., 2009. Temperaturkorrektur von mit dem Falling-Weight-Deflectometer gemessenen Deflexionen auf Asphaltbefestigungen. Dissertation, Institute für Straßenbau und Verkehrswesen, Universität Duisburg-Essen, Schriftenreihe Heft 2, Essen, Germany.
- [7] FGSV, 2008. Arbeitspapier Tragfähigkeit von Verkehrsflächenbefestigungen Teil B 2.1. Falling Weight Deflectometer (FWD): Gerätebeschreibung, Messdurchführung -Asphaltbauweisen. FGSV-Verl. Köln, 2008, FGSV 433 B 2.1
- [8] Rasmussen, S., 2002. Development of a high speed deflectograph (Report 117). Roskilde: Danish Road Institute.
- [9] FGSV, 2015. Arbeitspapier- Tragfähigkeit für Verkehrsflächenbefestigungen Teil B 5. Schnell fahrendes Messsystem – Traffic Speed Deflectometer (TSD): Gerätebeschreibung, Messdurchführung. FGSV-Verl. Köln, 2015, FGSV 433 B 5.
- [10] Hildebrand, G., Rasmussen, S. & Andrés, R., 2000. Development of a laser-based high speed deflectograph. In S. D. Tayabji & E. O. Lukanen (Hrsg.), *Nondestructive testing of pavements and backcalculation of moduli*. Proceedings of the “Third International Symposium Nondestructive Testing of Pavements and Backcalculation of Moduli”, held Seattle, Washington, on 30 June - 1 July 1999 (ASTM STP, Bd. 1375, S. 457–469). Fredericksberg: American Society for Testing and Materials (ASTM).
- [11] Demuth, H., Beale, M., 2001. *Neural network toolbox, user guide (version4)*. The MathWorks, Inc.
- [12] Principe, J. C., Euliano, N. R., Lefebvre, W. C., 2000. *Neural and adaptive systems: fundamentals through simulations (Vol. 672)*. New York: Wiley.
- [13] Rumelhart, D. E.; Hinton, G. E.; Williams, R. J., 1986. Learning internal representations by error propagation. In: *Parallel distributed processing: explorations in the microstructure of cognition*, vol. 1, pp. 318-362. MIT Press.
- [14] Arthur, D., & Vassilvitskii, S., 2006. *k-means++: The advantages of careful seeding*. Stanford.

LESS WRONG – Verbesserung von Straßenzustandsprognosen mittels Machine Learning

Andreas Ellinger

VIA IMC / TU Dresden, Berlin / Dresden, Deutschland

Astrid Hautz

VIA IMC, Berlin, Deutschland

Christian Wörner

VIA IMC, Berlin, Deutschland

Zusammenfassung

Mit der wachsenden Bedeutung von „Predictive Maintenance“ (vorausschauender Erhaltungsplanung) in Betrieb und Erhaltung von Infrastrukturobjekten wächst auch die Notwendigkeit für eine zuverlässigere, präzisere Methode zur Vorhersage der zukünftigen Entwicklung des Straßenzustands. In diesem Artikel wird eine Machine Learning gestützte Methode zur Verbesserung von Straßenzustandsprognosen vorgestellt. Diskutiert werden die technischen Grundlagen, mögliche Vorgehensweisen bei der Modellbildung sowie Chancen und Grenzen eines Machine Learning gestützten Ansatzes; insbesondere in Hinblick auf die Verfügbarkeit der notwendigen Daten. Darüber hinaus wird ein Konzept vorgestellt, wie die verbesserte Zustandsprognose innerhalb einer Erhaltungs-Simulation zur Optimierung der Maßnahmenplanung genutzt werden kann.

1. Einleitung

„Making Predictions is difficult – especially about the future.“ Dieses unter anderen Niels Bohr zugeschriebene Zitat fasst auf humorvolle Weise zusammen, was es zu dem Versuch, die zukünftige Entwicklung komplexer Systeme vorauszusagen, zu berichten gibt. Es ist diesem Artikel vorangestellt, um gleich zu Anfang die Erwartungen an die „magischen Kräfte“ von künstlicher Intelligenz zu dämpfen. Doch auch wenn Machine Learning basierte Verfahren wohl nie eine exakte Vorhersage der Zukunft ermöglichen werden, so suchen sie bei der Erkennung von Mustern und Zusammenhängen in riesigen Datenmengen dennoch ihresgleichen.

Zum bisherigen Stand: Seit 1992 werden in Deutschland regelmäßige normierte Zustandserfassungen der verschiedenen Straßenklassen durchgeführt. Die Erfassung erfolgt u.a. mittels hochgenauer Laser-Abtastung und erzeugt große Mengen sehr detaillierter Daten über den Zustand der Straßenoberfläche. Hauptziel dieser Erfassung ist aktuell eine bundesweit vergleichbare Bewertung des Ist-Zustandes der Straßen; die Vorhersage der zukünftigen Entwicklung des Straßenzustands spielt dabei derzeit noch eine eher untergeordnete Rolle.

Mit dem Einzug von Big Data und Machine Learning in immer neue Industriezweige ergeben sich auch auf

dem Gebiet der Straßenerhaltung neue Möglichkeiten, die klassischen Verhaltenskurven der Straßen zu hinterfragen, und gegebenenfalls zu ergänzen oder gar zu ersetzen [1],[2].



Abbildung 1: Prognose von Straßenzuständen (Visualisierung) [14], [15]

Zu diesem Zweck werden im Rahmen dieses Projekts selbstlernende Algorithmen unter anderem auf Daten von historischen Messreihen trainiert. Diese Algorithmen sind in der Lage, Muster und Zusammenhänge zu erkennen, die klassische Berechnungsmethoden nicht – oder nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand – abbilden können. Sie ermöglichen es, eine große Anzahl von Parametern zu berücksichtigen, unabhängig davon, ob deren Wirkmechanismen und Einflüsse auf das gesuchte Ergebnis bekannt sind.

Erste Untersuchungen auf Basis der Messdaten der A4, A3 sowie der Dauermessstrecke A5 in Deutschland legen nahe, dass selbstlernende Algorithmen gegenüber den klassischen Verhaltensmodellen bei der kurz- und mittelfristigen Zustandsprognose präziser sind – vorausgesetzt, die für das Anlernen des Prognosemodells notwendigen Daten sind in ausreichender Menge und Qualität vorhanden.

2. Stand der Technik

Im Folgenden werden zunächst die Methoden zur Erfassung und Auswertung von Straßenzuständen beschrieben. Anschließend wird die aktuell gebräuchliche Methode zur Prognose von Straßenzustandsentwicklungen sowie deren Einschränkungen diskutiert.

2.1 Erfassung und Auswertung der Zustandswerte

Die Zustandserfassung erfolgt deutschlandweit gemäß einheitlicher Regelwerke (ZTV ZEB-StB [4]; TP Griff-Stb [5], [6]; TP Eben [7],[8]) und wird mit Hilfe spezieller Messfahrzeuge durchgeführt. Dabei wird die Straßenoberfläche unter anderem von einem an der Unterseite der Fahrzeuge befestigten Laser abgetastet. Aus der Laufzeit des Laserstrahls wird ein Höhenmodell der Straßenoberfläche errechnet. Basierend auf diesem Höhengitter werden mittels mathematischer Formeln und Computersimulationen bestimmte Eigenschaften der Straßenoberfläche abgeleitet; beispielsweise die „Allgemeine Unebenheit“ oder die „Mittlere Spurrinntiefe“. Weitere Sensoren messen zudem Werte wie den prozentualen Anteil vorhandener Flickstellen oder Risse an der Gesamtfläche [7],[8].

Für die qualitative Bewertung eines Straßenabschnitts werden die so ermittelten Messgrößen anhand genormter Formeln in dimensionslose, von ihrer Aussage her Schulnoten entsprechende, Zustandswerte umgewandelt [3], [4]. Wie in nachfolgender Abbildung schematisch dargestellt, werden diese pro Abschnitt zu einem Gesamtwert konsolidiert, der grundlegend für die weitere Bewertung des Abschnitts ist.

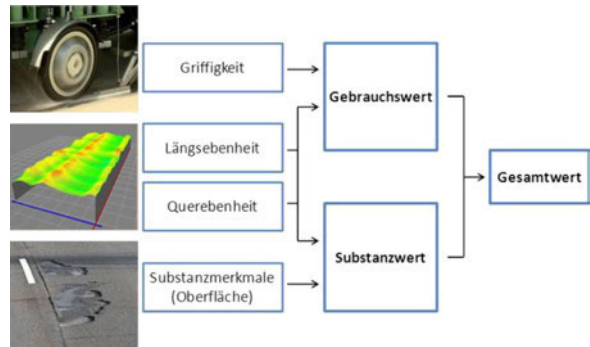


Abbildung 2: Erfassung und Auswertung der Zustandswerte [1]

Generell erfolgen die Messungen in regelmäßigen Abständen, die sich jedoch zwischen den einzelnen Projektstrecken unterscheiden. Die innerhalb dieses Projekts untersuchten zeitlichen Abstände bewegen sich zwischen sechs Monaten und vier Jahren.

2.2 Etablierte Methode zur Zustandsprognose

Derzeitig wird die zu erwartende Entwicklung eines Straßenzustandes mittels sogenannter „Verhaltensfunktionen“ bestimmt. Dabei handelt es sich um Formeln (bzw. um die sich daraus ergebenden Graphen), die anhand bestimmter Eingangsgrößen die Entwicklung der im Vorangegangenen beschriebenen messbarer Eigenschaft der Straßenoberfläche vorhersagen. Konkrete Messbaren Eigenschaft sind hierbei u.a. der Anteil der gerissenen Oberfläche in Prozent, die Griffigkeit des Belags, die Unebenheiten der Oberfläche in Längs- und Querrichtung und die mittlere Spurrinntiefe. Für jede dieser Größen existiert eine eigene Verlaufskurve.

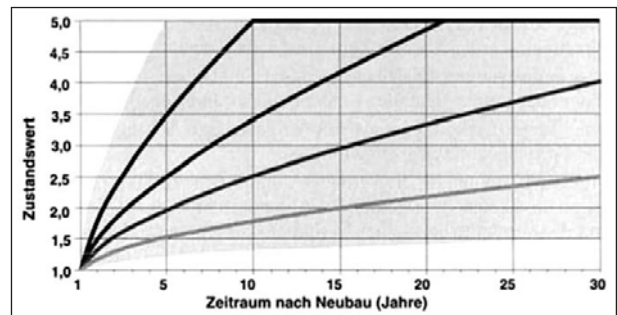


Abbildung 3: Veranschaulichung der regelwerksbasierten Verhaltenskurve [10]

Die bemessene Straße selbst wird basierend auf ihrem Alter und dem aktuell gemessenen Zustand einer Verhaltensklasse zugeordnet. Davon gibt es jeweils vier – je nach Schadenskategorie – unterschiedlich stark progressiv, teilweise degressiv entwickelnde Kurven.

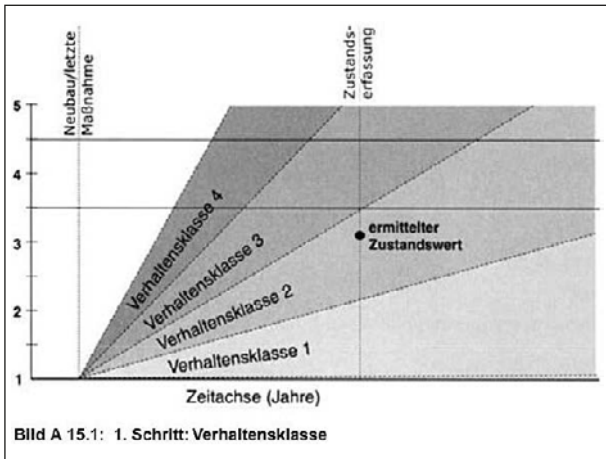


Abbildung 4: Regelwerksbasierte Bestimmung der Verhaltensklasse [9]

Weitere Eingangsparameter für die Vorhersagefunktion sind derzeit bei regelwerkskonformer Umsetzung der Zustandsprognose nicht berücksichtigt. Es gibt jedoch zu verschiedenen Parametern weitere Forschungsprojekte, die teilweise in individuellen Berechnungen genutzt werden. Eine genormte Einbeziehung besteht bisher nicht.

2.3 Grenzen der klassischen Prognosemodelle und Chancen durch Machine Learning

Die im Vorangegangenen beschriebenen Verhaltenskurven wurden von Experten anhand von Erfahrungswerten und mathematisch-statistischer Auswertung ermittelt. Auch wenn derartige Modelle eine gute Näherung des tatsächlichen durchschnittlichen Entwicklungsprozesses abbilden können, so können sie eines nicht: während ihrer Anwendung selbstständig aus ihren Fehlern lernen. Zwar können Expertengruppen ihre Prognosemodelle in regelmäßigen Abständen an neue Erkenntnisse anpassen; dies ist jedoch jedes Mal mit einem enormen Aufwand verbunden und nur durch Spezialisten mit tiefgehenden fachlichen Kenntnissen zu bewerkstelligen.

Zudem ist die Menge der Parameter, die in eine derartige Prognose mit einfließen kann, voraussichtlich begrenzt. Zum einen müssen die Einflüsse aller gewählten Parameter im Voraus hinreichend bekannt sein, zum anderen ist die mit der Anzahl der Eingangs-Parametern steigende Komplexität der Modelle ab einem gewissen Punkt vermutlich nicht mehr praktikabel.

Aufgrund steigender Vernetzung von Informationen im Infrastrukturbau-Sektor im Zuge der Digitalisierung sowie stetig hinzukommender Informationsquellen durch beispielsweise Sensor- und Maschinendaten ist jedoch zu erwarten, dass in Zukunft wesentlich mehr Informationen zu Eigenschaften, Belastungen und Zuständen von Infrastrukturbauwerken zu unterschiedlichen Zeitpunkten des Lebenszyklus zur Verfügung stehen werden als bisher.

Im Folgenden wird erläutert, weshalb Machine-Learning basierte Verfahren dafür prädestiniert sind, sich an derartige veränderliche Rahmenbedingungen anzupassen und inwiefern Sie in der Lage sind, auch Parameter in ihre Prognose mit einzubeziehen, deren Einfluss auf das gesuchte Ergebnis unbekannt sind.

3. Machine Learning basierte Prognosemodelle

Im Gegensatz zu der im Vorangegangenen beschriebenen klassischen Methode werden die Einflüsse der Eingangsparameter auf das gesuchte Ergebnis im Falle eines Machine Learning (ML) basierten Prognosemodells nicht von Experten explizit beschrieben, sondern anhand historischer Messdaten von Algorithmen „selbstständig erlernt“.

3.1 Technische Grundlagen

Bei Maschinellern Lernen wird zunächst unterschieden zwischen „überwachtem Lernen“ (engl. „supervised“), nicht-überwachtem Lernen“ (engl. „unsupervised“) und „Bestärkendem Lernen“ (engl. „reinforcement learning“) [12]. Zur Prognose der Zustandswerte wurde im Rahmen dieses Projekts – wie für derartige Probleme üblich – der Ansatz des „überwachten Lernens“ gewählt.

Das Grundprinzip ist für nahezu alle überwachten ML-Algorithmen gleich: Neben den Eingangsparametern, aus denen mittels einer Vielzahl verketteter Funktionen und Prozeduren ein Ergebnis abgeleitet wird, spielen bei ML-Modellen eine weitere, als „Modellparameter“ bezeichnete Art von Parametern eine entscheidende Rolle. Diese Parameter bestimmen, auf welche Weise aus den Eingangsparametern das Ergebnis errechnet wird.

Während der Lernphase des Modells werden diese Parameter so lange iterativ angepasst, bis die vom Modell errechneten Ergebnisse so weit wie möglich mit den tatsächlichen, ebenfalls in der Trainingsdaten enthaltenen, Lösungswerte übereinstimmen. Während der Anwendungsphase des Modells bleiben die Modellparameter konstant, da das Modell nun mit neuen Eingangswerten konfrontiert ist, deren tatsächliche Lösungswerte nicht bekannt sind.

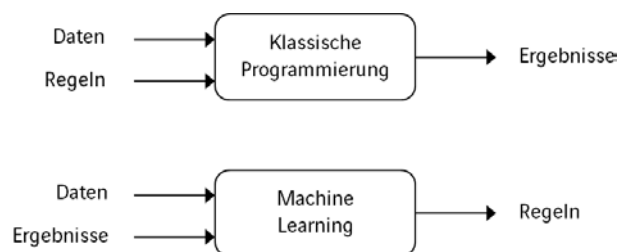


Abbildung 5: Maschinelles Lernen vs. klassische Programmierung

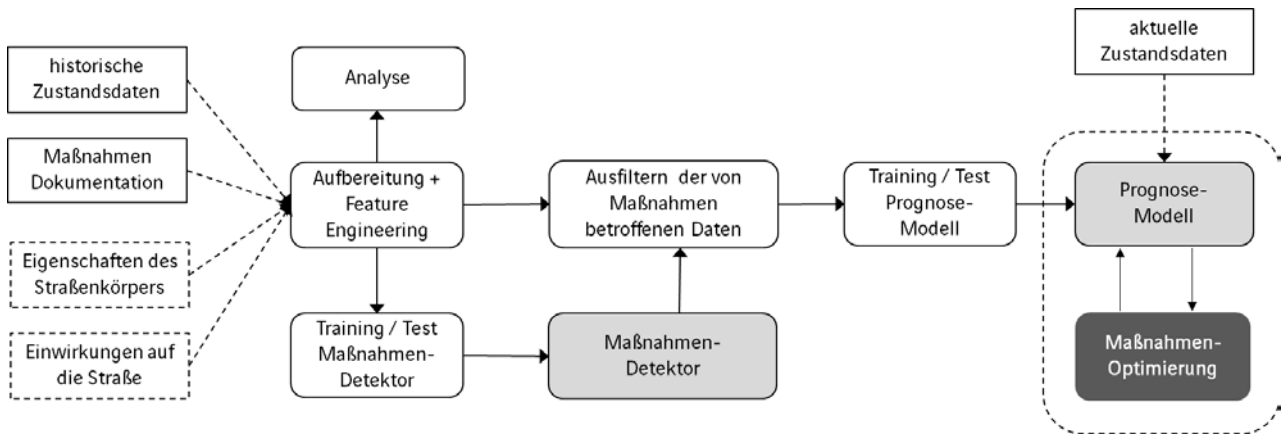


Abbildung 6: Schematische Darstellung des Prozesses zur Erstellung eines Machine-Learning basierten Zustands-Prognosemodells

Der entscheidende Vorteil dieser Methode besteht darin, dass die Zusammenhänge zwischen den Eingangsgrößen und den gesuchten Ergebnissen nicht bekannt sein müssen, sondern von den Algorithmen selbstständig gefunden werden – immer vorausgesetzt, es sind genügend aussagekräftige Lerndaten vorhanden. Die vom Modell „gelernten“ Zusammenhänge sind dabei jedoch nicht kausaler, sondern rein statistischer Natur: So ist ein ML Model beispielsweise in der Lage zu erkennen, dass ein direkter Zusammenhang besteht zwischen den äquivalenten 10-Tonnen-Achsübergängen auf einem bestimmten Streckenabschnitt und dem Zeitraum, in dem sich dort Spurrinnen bilden. Das System „weiß“ dabei jedoch nichts über die kausalen Zusammenhänge physikalischer Größen wie Masse, Gewichtskraft, Druckspannungen, plastischer Verformung und so weiter.

3.2 Allgemeines Vorgehen

Vorangegangene Abbildung veranschaulicht schematisch das Vorgehen des Anlernens des im hier vorgestellten Projekt entwickelten Zustandsprognose-Modells. Neben den gängigen Arbeitsschritten während eines (überwachten) Machine Learning Projektes soll die Darstellung vor allem den Einfluss von Informationen zu vergangenen Instandsetzungsmaßnahmen verdeutlichen (vgl. Abschnitt 3.4).

Die zu Verfügung stehenden Lerndaten werden zunächst in ein geeignetes Format konvertiert, auf inhaltliche Plausibilität und Vollständigkeit überprüft und ggf. bereinigt. Anschließend werden im Zuge des sogenannten „Feature Engineering“ jene Merkmale (im Zusammenhang von Machine Learning meist mit dem englischen Wort „Feature“ bezeichnet) explizit herausgearbeitet, die in Hinblick auf die Prognose der zukünftigen Zustandsentwicklung voraussichtlich besonders aussagekräftig sind; beispielsweise die zeitlich normierte Änderung

des gesuchten Zustandwertes innerhalb der letzten zwei Messpunkten.

Da im Vorfeld oft nicht klar ist, welche Kombinationen von Eigenschaften besonders aussagekräftige Feature ergeben, ist das Feature Engineering in der Regel ein sehr iterativer und damit zeitaufwendiger Prozess.

Die bereinigten Daten, sowie den daraus abgeleiteten Features werden in einen Trainings- und einen Test-Datensatz aufgeteilt. Wie sich aus den Namen bereits ergibt, wird das Modell auf dem Trainingsdatensatz angeleitet und auf dem Testdatensatz validiert. Diese Aufteilung ist entscheidend um sicher zu stellen, dass das Modell nicht schlichtweg die Trainingsdaten „auswendig lernt“ und repliziert, sondern in der Lage ist, allgemeingültige Zusammenhänge zu erkennen und somit auf neue, dem Modell „unbekannte“ Datensätze richtig anzuwenden [12],[13].

3.3 Auswahl der Eingangsparameter („Feature“)

Die bereits erwähnten Eingangsparameter eines Modells entscheiden zum einen, welche Informationen dem Modell während der Lernphase zur Verfügung stehen und bestimmen zum anderen, welche Werte während des Einsatzes des Modells bereitgestellt werden müssen. Prinzipiell sind Maschine Learning Modelle in der Lage, basierend auf n Eingangsparametern m Lösungswerte zu errechnen [11].

3.3.1 Anzahl der Eingangsparameter

Im Rahmen dieses Projektes wurden unterschiedliche Modelle entwickelt, die basierend auf mehreren Eingangsparametern jeweils einen konkreten Zustandswert zu einem konkreten Zeitpunkt vorhersagen. Dabei können sowohl Eingangsparameter aus unterschiedlich vielen vergangenen Zeitpunkten berücksichtigt werden als auch unterschiedlich viele Parameter je Zeitpunkt.

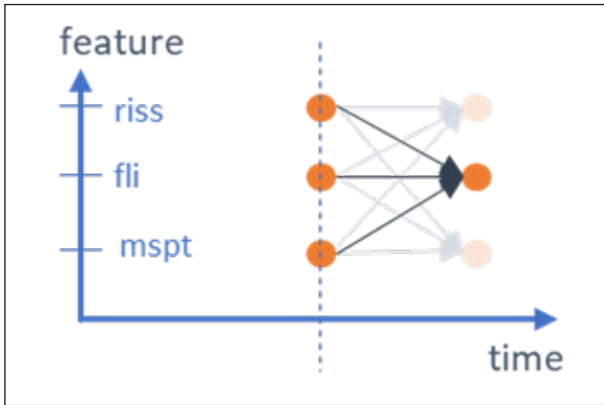


Abbildung 7: Berücksichtigung mehrere Merkmale zum Zeitpunkt t_0 zur Vorhersage eines Merkmals zum Zeitpunkt t_1 (Veranschaulichung)

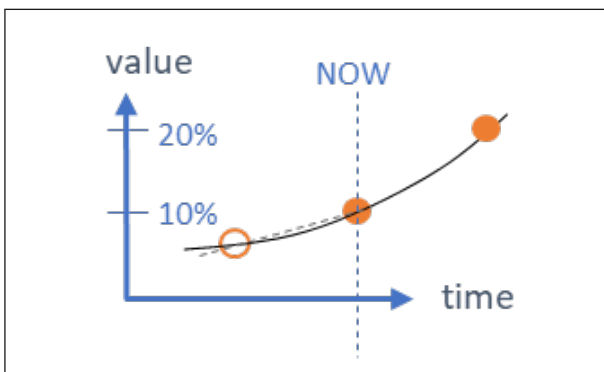


Abbildung 8: Berücksichtigung zweier vergangener Zeitpunkte t_0 und t_1 zur Vorhersage eines Merkmals zum Zeitpunkt t_1 (Veranschaulichung)

3.3.2 Arten von Eingangsparametern

Eingangsparameter für Prognosen von zeitlichen Veränderungen lassen sich prinzipiell in zwei Kategorien unterteilen: Zum einen gibt es jene Parameter, die die vergangenen zeitlichen Entwicklungen des gesuchten Wertes selbst abbilden, zum anderen existieren eine Vielzahl weiterer Faktoren, die diese Veränderung über die Zeit beeinflussen. Diese „Einflussparameter“ können ihrerseits über die Zeit ebenfalls sowohl konstant als auch veränderlich sein. So können im Falle des Zustandsprognosemodells neben den historischen Messreihen sowohl zeitlich konstante Faktoren wie die Bauweise einer Straße mit einfließen als auch zeitlich veränderliche Faktoren wie beispielsweise die Verkehrsbelastung oder das lokale Klima.

3.4 Favorisiertes Prognosemodell

Wie bei der Auswahl der Feature bestehen auch bei der Wahl der Prognosemethode unterschiedliche Möglichkeiten. Der innerhalb dieses Projekts favorisierte Ansatz besteht darin, ein Regressionsmodell auf die Vor-

hersage von Veränderung innerhalb des Zeitraums eines Messintervalls zu trainieren (0.5 bis 4 Jahre, abhängig von der jeweiligen Strecke). Diese Zeitspanne stellt den kürzesten möglichen Prognosezeitraum dar, da für kürzere Abstände keine Lerndaten vorliegen. Basierend auf dieser Vorhersage arbeitet sich das Modell iterativ in die Zukunft vor, wobei immer die Ergebnisse des aktuellen Iterationsschrittes als Eingangswerte in den nächsten Iterationsschritt mit einfließen. Nachfolgende Grafik veranschaulicht schematisch den auch als „Stacked Projection“ (zu Deutsch in etwa „gestapelte Projektion“) bezeichneten iterativen Ansatz.

Dieses Iterative Vorgehen wurde gewählt, da es besonders gut für den Ausbau des „Verfallsprognose-Modells“ zu einer umfassenderen „Erhaltungssimulation“ geeignet ist (Vgl. Abschnitt 4). Der Grund hierfür besteht darin, dass bei einer auf der Verfallsprognose aufbauenden Maßnahmenoptimierung die räumlichen Beziehungen der einzelnen Abschnitte eine wichtige Rolle spielen und die Abschnitte daher nicht für sich allein betrachtet werden können. Das zyklische Vorgehen ermöglicht, nach jedem Iterationsschritt für alle Streckenabschnitte zu prüfen, ob die für das Auslösen einer Maßnahme festgelegten Bedingungen erreicht wurden. Ist dies der Fall, so können entsprechende Maßnahmen ausgelöst und die betroffenen Werte daraufhin auf die jeweiligen verbesserten Werte zurückgesetzt werden. Im nächsten Iterationsschritt fließen die zurückgesetzten Werte als fiktiver „Ist-Zustand“ in eine erneute Kurzzeit-Prognose Iteration ein.

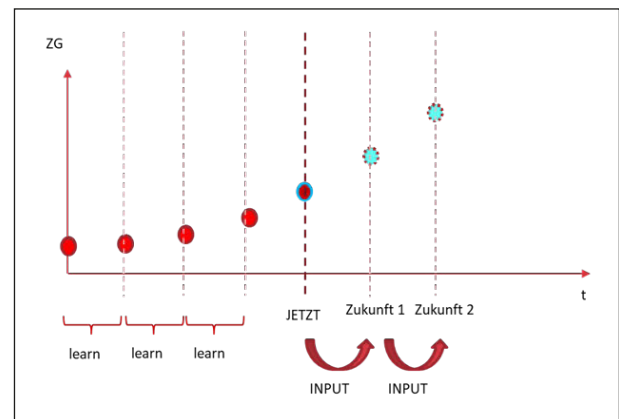


Abbildung 9: Schematische Darstellung „Stacked Projection“ während Lern- und Anwendungsphase bezogen auf einen einzelnen Datensatz

3.5 Das Problem unbekannter Instandsetzungsmaßnahmen

Wie bereits erwähnt, soll das angestrebte Prognosemodell anhand historischer Messwerte lernen, wie sich der Zustand einer Straße entwickelt, wenn sie nicht zwischenzeitlich ausgebessert oder erneuert wird. Daher besteht eine der größten Herausforderungen beim Trainieren des Prognosemodells darin, die Trainingsdaten vorab

von Maßnahmen zu reinigen; sprich jene Datensätze herauszufiltern, bei denen zwischen zwei betrachteten Messzeitpunkten Instandsetzungsmaßnahmen stattgefunden haben. Nachfolgende Grafik zeigt, welche unterschiedlichen Auswirkungen verschiedene Maßnahmen auf die einzelnen Zustandsgrößen haben können. Dabei zeigt sich deutlich, dass Maßnahmen vom Typ „Unterhaltungsmaßnahme“ (blau) wie zu erwarten einen wesentlich geringeren Einfluss auf die Entwicklung der „Mittleren Spurrinntiefe“ haben als Maßnahmen vom Typ „Grundhafte Erneuerung“ (orange) oder „Deckschichtenerneuerung“ (grün).

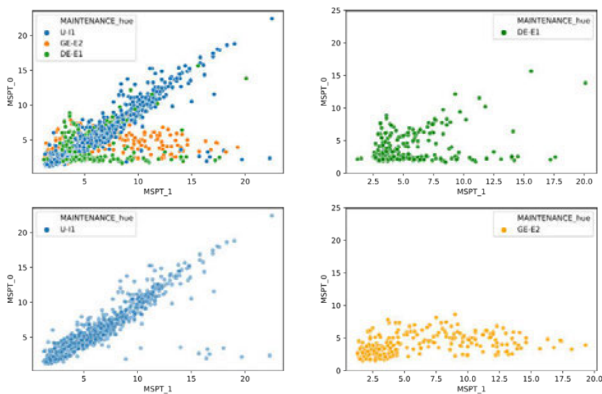


Abbildung 10: Unterschiedliche Auswirkungen verschiedener Maßnahmentypen auf die mittlere Spurrinntiefe (Auszug aus der Datenanalyse)

3.6 Maßnahmendetektion

Auf Basis der bisher gesichteten Daten ist davon auszugehen, dass durchgeführte Instandsetzungsmaßnahmen bei der Übertragung der Methode auf andere Strecken in vielen Fällen nicht oder nur unzureichend zur Verfügung stehen werden. Um dennoch Datensätze zum Training des Modells verwenden zu können, für die es keine hinreichende Maßnahmendokumentation gibt, wurde im Zuge dieses Projekts eine als „Maßnahmendetektor“ bezeichnete zusätzliche Komponente entwickelt. Dabei handelt es sich um eine weiteres ML-Modell, dessen Aufgabe es ist, Maßnahmen zwischen zwei aufeinanderfolgenden Messreihen zu detektieren.

3.7 Vorläufige Auswertung des Maßnahmendetektors

Ein entsprechender Detektor erreichte auf einem ausbalancierten Train/Test-Set (gleich viele Stichproben je Kategorie) eine Trefferquote (engl. Recall) von ca. 90 %. Die Relevanz der Vorhersagen (engl. „Precision“) betrug ca. 93 % (vgl. den jeweils mittleren roten Balken in den nachfolgenden Abbildungen).

Ein als Vergleichsmodell entwickelter „naiver“ Maßnahmendetektor, dessen Entscheidungskriterien manuell programmiert wurden und der immer dann eine Maßnahme

meldete, wenn sich eine bestimmte Kombination von Messwerten gleichzeitig verbesserte, erreichte eine wesentlich schlechtere Genauigkeit. Bei der Detektion allgemeiner Erneuerungsmaßnahmen lag seine Trefferquote bei unter 50%; die Relevanz der Positiven Klassifikationen betrug dabei knapp über 70% (vgl. den jeweils mittleren grauen Balken in den nachfolgenden Abbildungen).

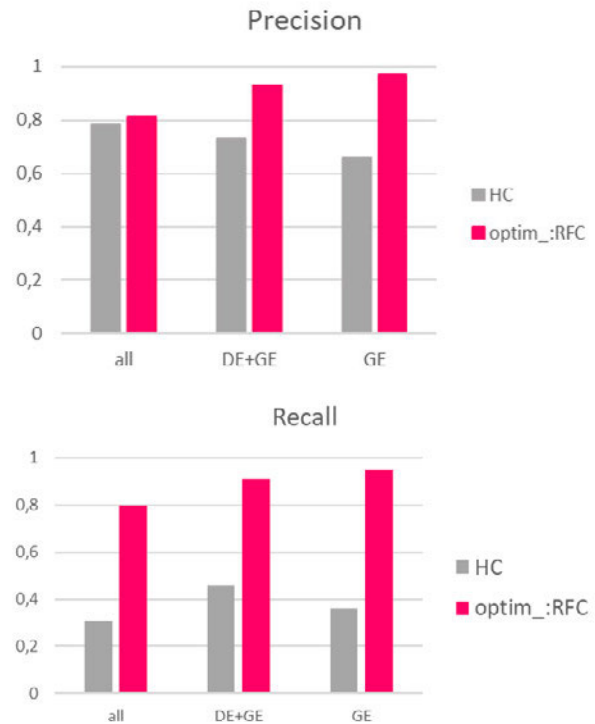


Abbildung 11: Relevanz und Trefferquote des Maßnahmendetektors

Ein potenzielles Problem stellt die möglicherweise fehlende Übertragbarkeit des Maßnahmendetektors von der Dauerstrecke A5 auf andere Projektstrecken dar. Der Grund hierfür liegt in den auf anderen Streckenabschnitten wesentlich längeren zeitlichen Abständen zwischen den Zustandserfassungen. Auf Grund des sechs-Monate-Intervalls auf der Dauerstrecke waren die Auswirkungen einer Instandsetzungsmaßnahme, die kurz nach einer Zustandserfassung stattgefunden hat, bei der nächsten Erfassung noch deutlich messbar. Es ist jedoch zu befürchten, dass dies nach einem Zeitraum von vier Jahren nicht in gleichem Maße der Fall sein wird, zumindest nicht im Falle von geringfügigen Verbesserungen von Zustandswerten, die sich besonders in der Anfangsphase sehr schnell verschlechtern (wie z.B. der Zustandswert der Mittleren Spurrinntiefe). Da im Rahmen dieses Projekts außerhalb der DMS A5 jedoch keine hinreichend vollständige und verlässliche Maßnahmendokumentation zur Verfügung stand, konnte diese These nicht abschließend überprüft werden. Nachfolgende Grafik verdeutlicht schematisch die mögliche Auswirkung des Messintervalls auf eine von Maßnahmen betroffene Messreihe.

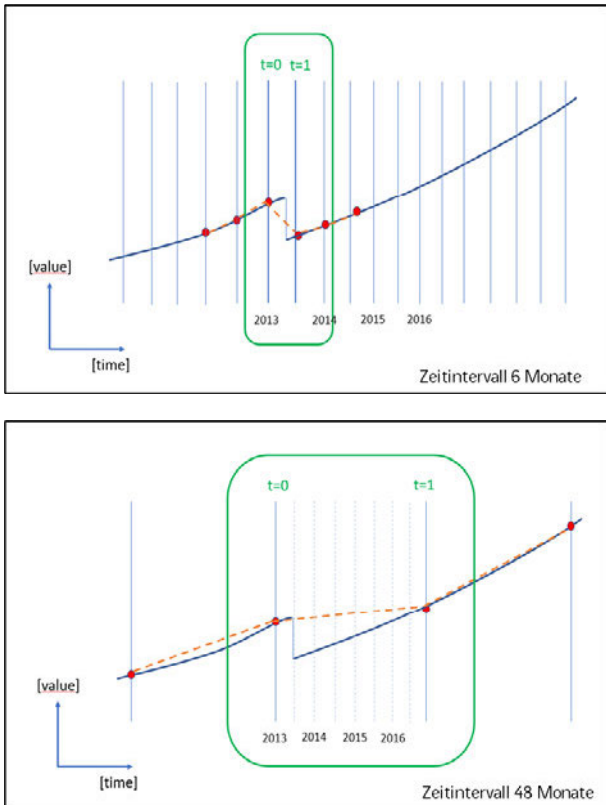


Abbildung 12: Schematische Darstellung der unterschiedlichen Einflüsse von Maßnahmen auf den Verlauf einer Messreihe in Abhängigkeit des Messintervalls

3.8 Vorläufige Auswertung des Prognosemodells

Untersuchungen basierend auf den Daten der DMS A5 (Messintervall ca. 0.5 Jahre) haben ergeben, dass ein ML-basiertes Prognosemodell auf einem Trainingsdatensatz mit einer Stichprobengröße > 50.000 für kurzfristige Prognosen (1 bis 3 Jahre) für die Zustandsgrößen MSPT (Mittlere Spurrinntentiefe) sowie MSPH (Fiktive Wassertiefe) deutlich genauere Ergebnisse liefert als die etablierte Prognose anhand der Verhaltensfunktionen. Bei der Prognose der Griffigkeit (GRI_80) sowie der Allgemeinen Unebenheit (AUN) war die ML-basierte Prognose im Schnitt ebenfalls genauer, wenn auch nur geringfügig. Die Zustandswerte „RISS“ und „FLI“ (Prozentualer Anteil von Gerissener Bereiche bzw. kleinflächig geflickter Bereiche bezogen auf die Straßenoberfläche) wurden vom etablierten Modell hingegen deutlich präziser vorhergesagt als von der ML-basierten Prognose (siehe nachfolgende Abbildung).

Zu diesen vorläufigen Ergebnissen muss gesagt werden, dass das Fehlen der Information zum Alter der Straße für einige Streckenabschnitte dazu geführt hat, dass im Fall der etablierten Prognose von einem „Durchschnittlich schnellen Verfall“ der Abschnitte ausgegangen werden musste. Auf der anderen Seite stand das Alter der Straße dem ML-basierten Modell ebenfalls nicht als Feature zur Verfügung.

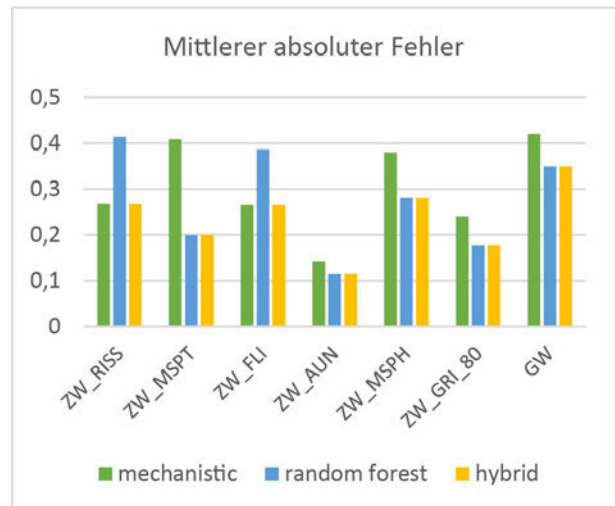


Abbildung 13: Vergleich des mittleren absoluten Fehlers des etablierten Prognosemodells (grün), des ML-basierten Modells (blau) sowie Veranschaulichung des hybriden Modells (gelb)

Um dem Umstand gerecht zu werden, dass das aktuelle ML-basierte Modell nur bestimmte Zustandswerte präziser voraussagen kann als das etablierte Modell, während es dem etablierten Modell bei anderen Zustandswerten noch unterlegen ist, wurde ein als „hybrides Modell“ bezeichneter Ansatz entwickelt. Dieser nutzt die zum aktuellen Stand jeweils präzisere Modellvariante für die Prognose der einzelnen Werte. Anschließend werden die Ergebnisse von beiden Modellen entsprechend dem aktuellen Regelwerk zu einer Gesamtnote je Bereich zusammengefasst. Vorangegangene Abbildung zeigt am Beispiel einer Ein-Jahres-Prognose basierend auf Daten der DMS A5 wie sich die Genauigkeiten des ML-Modells (blauer Balken) im Vergleich zum etablierten Modell (grüner Balken) für die einzelnen Messwerte verhalten. Der gelbe Balken veranschaulicht dabei das Prinzip des hybriden Modells sowie die daraus resultierende Genauigkeit bei der Gesamtwertung. Dargestellt ist jeweils der mittlere Absolute Fehler der Prognosen bezogen auf den jeweiligen Zustandswert. (Zustandswerte und Gesamtwert werden in Form einer den Schulnoten entsprechenden Skala von eins bis fünf ausgedrückt.) Der auf der vorangegangenen Abbildung dargestellte maximale mittlere Fehler der beiden Modelle lag bei etwa 0,4 Notenpunkten. Bezogen auf die (für die meisten Anwendungsfälle ausschlaggebenden) Gesamtwertung war das ML-basierte Prognosemodell im Mittel knapp 20 Prozent genauer als das etablierte Modell.

3.9 Grenzen der Machine Learning-basierten Prognose

Die mit Abstand größte Herausforderung bei der Entwicklung einer auf Maschinellem Lernen basierenden Straßenzustandsprognose scheint in der Beschaffung von Lerndaten in ausreichender Menge und Qualität zu be-

stehen. Während die Daten vergangener Zustandsmessungen in vielen Fällen sowohl in großer Anzahl als auch in annähernd gleicher Qualität sowie einem genormten Format zur Verfügung stehen, stellt die Beschaffung der entsprechenden Maßnahmendokumentationen in der Praxis, sprich außerhalb von speziellen Dauermessstrecken, eine große Hürde dar.

Des Weiteren scheint es zum aktuellen Zeitpunkt sehr schwierig, für einen ausreichend weit in die Vergangenheit reichenden Zeitraum der Zustandserfassungen an sowohl verlässliche als auch aussagekräftige Informationen zu Bauart und Materialeigenschaften der jeweiligen Straßenkörper zu erhalten. Das gleiche gilt für Informationen zu Einbauprozess und Einbaubedingungen und für Informationen zur Beschaffenheit des Baugrundes. Daher gestaltet es sich sehr schwierig, aussagekräftige Parameter zur „Widerstandsfähigkeit“ der Straße in die Prognose mit einfließen zu lassen.

Bei der Verwendung von Parametern, die die Einwirkung auf eine Straße beschreiben, gestaltet sich die Herausforderung anders. Sowohl der Verkehr als auch das Wetter (bzw. das lokale Klima) sind größtenteils wesentlich ausführlicher, einheitlicher und maschinenlesbarer dokumentiert als die Straßenbau-spezifischen Parameter. Häufig sind entsprechende Informationen sogar über öffentliche Datenbanken frei zugänglich. Das Problem bei diesen Parametern besteht daher nicht in einer mangelnden Verfügbarkeit, sondern in der Tatsache, dass sie selbst über die Zeit stark veränderlich und auf lange Sicht nahezu unmöglich vorherzusagen sind. In beiden Fällen kann lediglich entweder von einer Fortsetzung des aktuellen Trends, einem über einen repräsentativen vergangenen Zeitraum gemittelten Wert oder einer separaten Prognose zurückgegriffen werden.

Die Auswertung repräsentativer Untersuchungen hierzu stehen im Rahmen dieses Projektes jedoch noch aus.

4. Weiterführende Anwendungen und Ausblick

Für eine aussagekräftige Prognose über einen längeren Zeitraum (z.B. 30 Jahre) müssen zusätzlich zum erwarteten Verfall zwangsläufig auch die geplanten Erhaltungsmaßnahmen im betrachteten Zeitraum mit einbezogen werden. Eine reine Zustandsprognose könnte lediglich die Entwicklung bis zum „erstmaligen Verfall“ aller betrachteten Streckenabschnitte vorhersagen. Hat ein Abschnitt diesen Wert einmal überschritten, ist eine Prognose des weiteren Verfalls jenseits der „Unbrauchbarkeit“ weder sinnvoll noch machbar. (Nicht machbar, da für dieses Szenario keine Lerndaten zur Verfügung stehen.) Eine auf Lerndaten trainiertes Modell zur Vorhersage des „ungebremsten Verfalls“ einer Straße stellt daher für sich alleine noch keinen praktischen Mehrwert dar, sondern bildet vielmehr die notwendige Voraussetzung für die Entwicklung einer weiterführenden, umfassenderen Erhaltungssimulation.

4.1 Konzept zu einer umfassenden Erhaltungssimulation

Nachfolgende Abbildung stellt schematisch ein mögliches Konzept für eine solche Erhaltungssimulation dar. Das Modell zur Verfallsprognose prognostiziert dabei solange iterativ in fixen Zeitabständen auf den eigenen Vorhersagen aufbauend die Entwicklung des Straßenzustandes, bis ein in der Erhaltungsstrategie definierter Schwellenwert (oder eine Kombination aus mehreren Werten innerhalb eines bestimmten Bereiches) erreicht wird. Daraufhin wird eine ebenfalls in der Erhaltungsstrategie definierte Maßnahme ausgelöst, die alle von dieser Maßnahme betroffenen Zustandswerte auf (oder um) einen bestimmten Wert zurücksetzt. Die auf diese Weise veränderten Zustandswerte dienen darauf hin als Eingangswerte für den nächsten Iterationsschritt. Dieser Vorgang wiederholt sich, bis das Ende des Prognosezeitraums erreicht ist (vgl. Abschnitt 3.4).

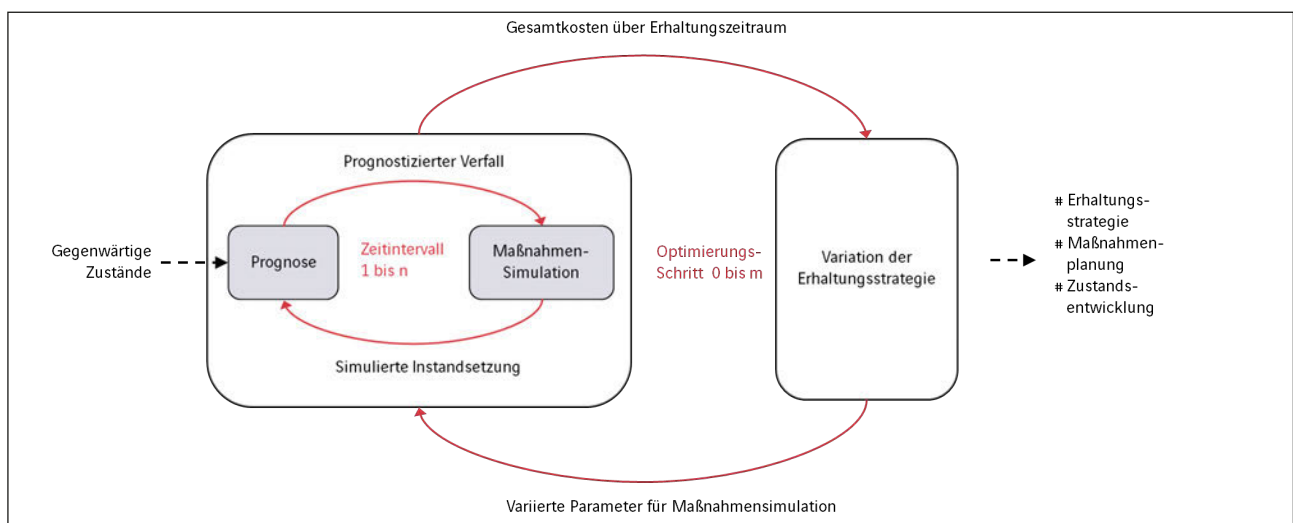


Abbildung 14: Schematische Darstellung des Konzepts zur Maßnahmenoptimierung

4.2 Optimierung der geplanten Erhaltungsstrategie

Hinterlegt man die in der oben beschriebenen Erhaltungssimulation ausgelösten Maßnahmen mit konkreten Werten wie beispielsweise Material- und Baukosten oder Sperrzeiten, können diese Werte über den betrachteten Strecken- und Zeitabschnitt aufsummiert werden und ergeben somit die Gesamtkosten aller zu erwartenden Erhaltungsmaßnahmen.

Diese „Gesamtkosten“ – es sei dahingestellt, ob es sich dabei um tatsächliche Geldbeträge oder andere Größen wie die Gesamtdauer der zu erwartenden Verkehrsbeeinträchtigungen handelt – stehen in direktem Zusammenhang mit der Erhaltungsstrategie, die der Simulation zu Grunde liegt.

Mit Hilfe geeigneter Optimierungsalgorithmen (z.B. evolutionärer Algorithmen) könnte eine, über numerische Parameter definierte, Erhaltungsstrategie so lange iterativ angepasst werden, bis eine innerhalb des Modells annähernd optimale Strategie gefunden wurde.

Die zu optimierenden Parameter der Erhaltungsstrategie könnten dabei beispielsweise in räumlicher Distanz der für eine Zusammenlegung von Maßnahmen berücksichtigten Abschnitte bestehen, in dem zeitlichen Abstand der innerhalb dieses zusammengelegten Bereichs berücksichtigten Zustandswerte so wie in den jeweiligen Schwellenwerte (bzw. Wertekombinationen) der Zustandswerte selbst.

4.3 Vorhersage der Auswirkungen von Maßnahmen

Um im Rahmen einer Erhaltungssimulation die Auswirkungen von Instandsetzungsmaßnahmen auf die Entwicklung der Zustandswerte möglichst realistisch abbilden zu können, wurde untersucht, inwiefern sich diese ebenfalls mit Hilfe eines angelegten Machine Learning Modells vorhersagen lassen. Zu diesem Zweck wurde eine ML Modell auf Daten von Zustandswerten unmittelbar vor- und nach einer Maßnahme trainiert. Die Auswertung der Genauigkeit dieser Vorhersagen ergab wie zu erwarten ein sehr ähnliches Bild, wie es bereits bei der Detektion unterschiedlicher Erhaltungsmaßnahmen zu beobachten war. Für jene Maßnahmen, die mit hoher Genauigkeit detektiert werden konnten, ließen sich auch die von diesen Maßnahmen verursachten Zustandsänderungen präzise vorhersagen.

Vorangegangene Grafik zeigt die Prognosegenauigkeit am Beispiel der Auswirkung von „Gesamterneuerung“ (links), „Deckschichternewerung“ (Mitte) und „Unterhaltungsmaßnahmen“ (rechts) auf die Mittlere Spurrinnentiefe. Es wurden jeweils die vorhergesagten Werte (horizontale Achse) gegen die tatsächlichen Werte (vertikale Achse) geplottet.

So zeigt der Vergleich des linken Plots mit dem mittleren Plot, dass sich die Auswirkungen des Maßnahmentyps „grundhafter Erneuerungen“ wesentlich präziser voraussagen lassen als die von Deckschichternewerungen.

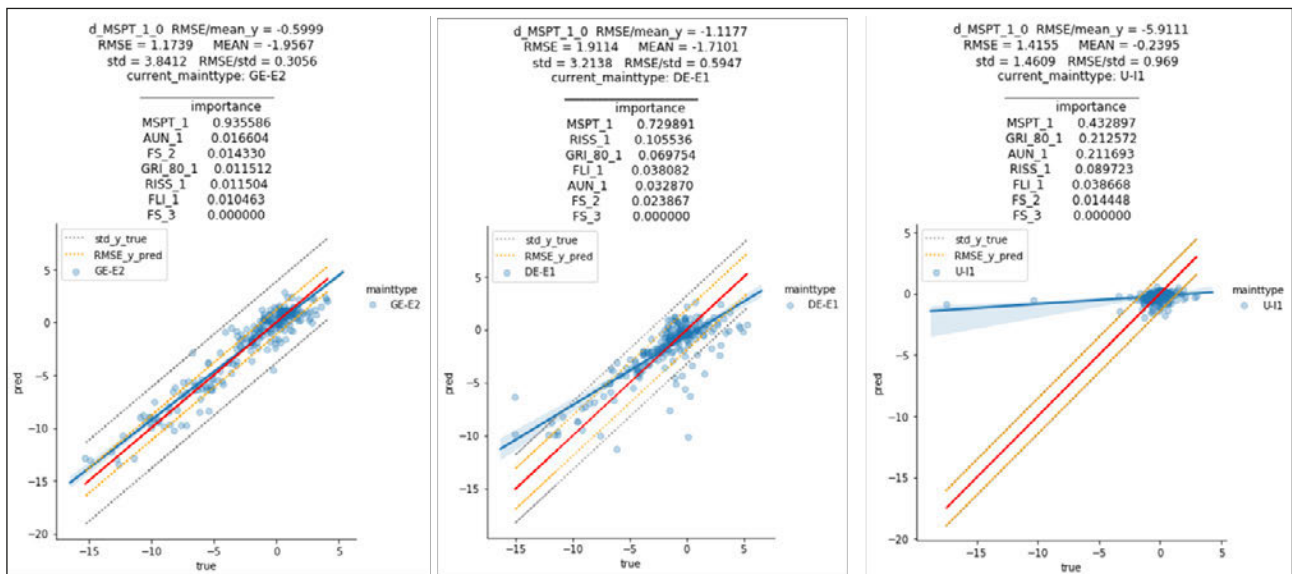


Abbildung 15: Genauigkeit der Prognose der Auswirkung unterschiedlicher Maßnahmentypen auf die Entwicklung der mittleren Spurrinnentiefe zwischen zwei aufeinanderfolgenden Messzeitpunkten (Auszug aus der Datenanalyse)

5. Fazit

Vorläufige Ergebnisse basierend auf Daten der Dauer-messstrecke auf der A5 zeigen, dass Machine Learning basierte Modelle zur Prognose von Straßenzustandsentwicklungen bereits bei einer relativ geringen Menge an zur Verfügung stehenden Lerndaten geringfügig bessere Ergebnisse liefern können als die etablierten Verhaltenskurven. Für einzelne Messgrößen, wie die „Mittlere Spurrinnentiefe“, hat sich innerhalb der gewählten Teststrecken und Testzeiträume sogar eine wesentliche Verbesserung gegenüber den klassischen Vorhersagen ergeben. Das beste Prognosemodell ergab sich aus der als „Hybrides Modell“ bezeichneten Kombination der etablierten Modelle mit dem Machine Learning basierten Modell.

Um eine deutliche Verbesserung gegenüber der klassischen Methode zu erlangen ist unserer Auffassung nach jedoch eine umfassendere Datengrundlage notwendig, als sie innerhalb dieses Projektes zum gegenwärtigen Zeitpunkt zur Verfügung steht. Wir gehen davon aus, dass insbesondere verlässliche Daten zu Verkehrsbelastung, Bauart, Einbauprozess und Material, zur durchschnittlichen bisherigen sowie zukünftig zu erwartenden Belastungen sowie zu in der Vergangenheit durchgeführten Reparatur- und Instandsetzungsmaßnahmen notwendig sein werden, um eine wesentliche Verbesserung in der Prognosegenauigkeit zu erreichen.

Literatur

- [1] BMVI, BAST: Zustandserfassung und -bewertung (ZEB) auf Bundesfernstraßen, URL: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/StB/zustandserfassung-und-bewertung.html> [02.11.2020].
- [2] Dr. Reiterer, A., Fraunhofer Institut für physikalische Messtechnik (IPM): Möglichkeiten und Grenzen des mobilen Laserscannings, (2016) URL: <https://docplayer.org/46020678-Fraunhofer-institut-fuer-physikalische-messtechnik-ipm-moeglichkeiten-und-grenzen-des-mobilen-laserscanning-dr-alexander-reiterer.html> [02.11.2020].
- [3] FGSV AP9, Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen (FGSV): Arbeitspapier zur Systematik der Straßenerhaltung, 2003.
- [4] FGSV 998/R1, Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen (FGSV): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien zur Zustandserfassung und -bewertung von Straßen (ZTV ZEB-StB), 2006.
- [5] FGSV 408/1; FGSV 408/2: Technische Prüfvorschriften für Griffigkeitsmessungen im Straßenbau, Teil: Seitenkraftmessverfahren (SKM), 2007.
- [6] FGSV 408/2: Technische Prüfvorschriften für Griffigkeitsmessungen im Straßenbau, Teil: Messverfahren (SRT), 2007.
- [7] FGSV 404/1 Technische Prüfvorschriften für Ebenheitsmessungen auf Fahrbahnoberflächen in Längs- und Querrichtung, Teil: Berührende Messungen, 2017.
- [8] FGSV 404/2: Technische Prüfvorschriften für Ebenheitsmessungen auf Fahrbahnoberflächen in Längs- und Querrichtung, Teil: Berührungslose Messungen, 2009.
- [9] FGSV 988/R1 Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen (FGSV): Richtlinien für die Planung von Erhaltungsmaßnahmen an Straßenbefestigungen (RPE-STRa 01), Anhang 15, 2001.
- [10] Maerschalk, G.: Erstellung einer ablauffähigen Folge von Algorithmen für die Planung von Erhaltungsmaßnahmen und der Mittelverwendung im Rahmen eines PMS, Schlussbericht zum FE 9.083, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 751, 1997 in [9].
- [11] Bishop, C. M.: Pattern Recognition and Machine Learning, 2006, S. 236 ff.
- [12] Géron, A., Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn & TensorFlow – Concept, Tools, and Techniques to build intelligent systems, 2017.
- [13] Andrew, NG, Machine Learning Yearning-Draft, 2018.
- [14] <https://www.webappers.com/category/components/charts/page/6> [02.11.2020]
- [15] <https://www.shutterstock.com/de/image-photo/old-road-many-cracks-266647151> [02.11.2020]

Alternative Methoden der kommunalen Straßenzustandserfassung mittels Erschütterungssensorik

Lisa Gayer

Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm, Nürnberg, Deutschland

Prof. Dipl.-Ing. Berthold Best

Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm, Nürnberg, Deutschland

Zusammenfassung

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass es notwendig ist, die Schwingungsüberwachung um eine visuelle Referenzierung zu erweitern, da die Messungen der Schwingungssensoren für sich genommen zwar ein gutes Bild des allgemeinen Oberflächenzustandes liefern können, aber Art, Schwere und Dimension einzelner Zustandsmerkmale nur bedingt identifiziert und zugeordnet werden können. Die Ergebnisse zeigen zudem, dass sich die Daten der Beschleunigungsmessung am besten durch Videoaufzeichnung verifizieren lassen, auch wenn diese nicht so exakt ist wie z.B. die Aufnahme von Einzelbildern. Ein weiterer wichtiger Aspekt der Untersuchung war, dass sowohl die Videoaufzeichnung als auch die Beschleunigungsmessung bis zum deutschen innerstädtischen Tempolimit von 50 km / h problemlos möglich ist. Dies ist ein großer Vorteil für die Durchführbarkeit der Zustandsüberwachung, da das Messfahrzeug im fließenden Verkehr andere Fahrzeuge nicht behindert.

1. Einführung

Die messtechnischen Außerorts-Erfassungsmethoden für den Zustand der Straßenbefestigung sind für kommunale Straßennetze an ihre Grenzen gestoßen. Innerorts ändern sich die Zustände der Straßenbefestigung schneller als außerorts und die flächendeckende messtechnische Zustandserfassung kommunaler Straßennetze ist überhaupt von ihrem Aufwand sowohl in personeller als auch finanzieller Hinsicht nur in größeren zeitlichen Abständen durchführbar. Gesucht sind daher alternative Erfassungsmethoden, mit denen der Zustand kommunaler Straßen sowohl in kürzeren Abständen als auch mit geringerem administrativen und finanziellen Aufwand erfasst werden kann.

Die weite Verbreitung von Sensortechnologien, die sowohl von der Handhabung einfach als auch von den Kosten her verhältnismäßig gering sind, ist die Grundlage für alternative Methoden zur Straßenzustandserfassung mittels Schwingungsüberwachung. Oberziel dabei ist es, Erschütterungssensorik in Fahrzeuge einzubauen, die regelmäßig das gesamte Straßennetz einer Kommune befahren und dabei Daten über den Zustand der Straßenbefestigung sammeln. Die Durchführung des Forschungsprojekts „Erfassung des Zustandes der Straßenbefestigung mittels Schwingungsüberwachung“ an der TH Nürnberg wurde mit Mitteln der STAEDTLER Stiftung gefördert.

2. Messaufbau und Ablauf

2.1 Messfahrten

Es wurde eine 360°-Kamera mit einem Saugnapf mittig im vorderen Bereich der Motorhaube befestigt (Bild 1), sodass die Fahrbahn nur ca. 1,5 m entfernt und vor dem Fahrzeug gut sichtbar ist.



Bild 1: Befestigung der Kamera [1]

Das Smartphone zur Messung der Beschleunigung war im Handschuhfach des Wagens befestigt (Bild 2). Zu Vergleichszwecken wurde zusätzlich ein USB-Beschleunigungssensor angebracht (Bild 3). Die beiden Messgeräte wurden in gleicher Weise ausgerichtet, sodass die y-Achse in Fahrtrichtung und die z-Achse vertikal nach oben zeigt.

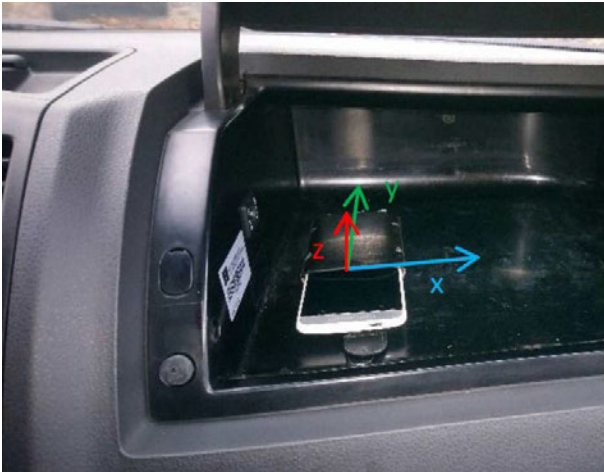


Bild 2: Befestigung des Smartphones [1]



Bild 3: Befestigung des USB-Sensors [1]

Die App misst in einem Frequenzbereich von 100 Hz, während für den USB-Sensor nur eine Frequenz von 20 Hz sowie ein Empfindlichkeitsbereich von 1 G gewählt werden kann.

Für diese Untersuchungen wurde das Fahrzeug mit 50 km / h gefahren. Alle Streckenabschnitte wurden in jede Richtung mindestens dreimal befahren, da dies die Anzahl der Iterationen ist, die nach Shtayat [2] für aussagekräftige Ergebnisse der Schwingungsmessungen erforderlich ist.

2.2 Vergleich von Beschleunigungsdaten und Videos

Für den Vergleich von Schwingungsmessungen und aufgezeichneten Videos wurden für jede Versuchsfahrt die

Anzahl und Art der im Video erkennbaren Zustandsmerkmale registriert und hinsichtlich ihrer Erkennbarkeit bewertet. Dieses Kriterium wird dadurch bestimmt, wie eindeutig das jeweilige Zustandsmerkmal als solches erkannt werden kann. Die Einteilung wurde subjektiv als „klar“, „ausreichend“ und „schlecht“ erkennbar festgelegt.

Zusätzlich wurde vermerkt, ob an der Stelle des betreffenden Merkmals ein erkennbarer Messausschlag in den Schwingungsdaten vorhanden ist. Schließlich wurden alle Beschleunigungen oberhalb eines Wertes von 2 m/s^2 im betreffenden Abschnitt gezählt und es wurde festgehalten, ob diese Ausschläge eindeutig einem Zustandsmerkmal zugeordnet werden können. Der Schwellenwert von 2 m/s^2 wurde nach Betrachtung aller Schwingungsprofile als Grenze für die Beurteilung festgelegt, da er nur in bestimmten Bereichen oder durch einzelne Messausschläge überschritten wird. Eigenschwingungen des Motors und die durch die allgemeine Rauigkeit der Oberfläche verursachten Vibrationen liegen für gewöhnlich unter diesem Wert.

Für die Zwecke dieser Studie wurde in einigen Punkten von den Richtlinien der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) bezüglich der Definition bestimmter Zustandsmerkmale abgewichen. Sowohl geschädigte als auch intakte Arbeitsnähte wurden zu einem Zustandsmerkmal (NF) zusammengefasst, obwohl sie in der Regel separat erfasst werden. Diese Verallgemeinerung wurde vorgenommen, da in vielen Fällen in den Aufzeichnungen nicht eindeutig erkennbar ist, ob die jeweilige Naht tatsächlich offen ist und damit einen Schaden darstellt. Als Erweiterung wurden erhabene Markierungen und Schachtdeckel aufgenommen, sowie einzelne Risse in Längs- und Querrisse unterteilt. Kantigkeit, Muldigkeit, Spurrinnen und Bindemittelanreicherungen wurden nicht berücksichtigt, da diese in den betrachteten Straßenabschnitten entweder nicht vorkommen oder in den Aufzeichnungen nicht zu erkennen sind. Bei eingelegten Flickstellen wurde nur die Flickstelle als Ganzes ausgewertet, nicht aber die Arbeitsnaht zur umgebenden Fahrbahn. Unter „Sonstige“ wurden andere Merkmale, die keiner Kategorie zuzuordnen sind, wie z.B. Schieberdeckel, aufgenommen. Im Allgemeinen wurden nur Zustandsmerkmale erfasst, die sich in der direkten Fahrspur des Fahrzeugs befinden.

3. Ergebnisse

3.1 Erkennbarkeit von Straßenschäden

Es wurden alle sichtbaren Zustandsmerkmale im jeweiligen Auswerteabschnitt der Teststrecke aufgezeichnet und auf Korrelation mit dem Schwingungsprofil überprüft. Insgesamt wurden Daten von ca. 9 km ausgewertet.

Nach Tab. 1 waren Flickstellen, insbesondere aufgelegte, Längsrisse, Nähte und Straßenmarkierungen in der Regel deutlich sichtbar. Die unter „Sonstige“ aufgeführten

Schachtdeckel und Schieberdeckel konnten im Video jeweils eindeutig identifiziert werden. Querrisse und Netzzrisse waren schwieriger zu erkennen, da sie aufgrund ihrer lokalen Begrenzung und oft schmalen Rissbreiten

in vielen Fällen nur vage sichtbar waren. Längsrisse haben dagegen eine größere Ausdehnung in Fahrtrichtung, d.h. sie sind länger sichtbar und daher im Videomaterial deutlicher zu erkennen.

Tab. 1: Identifizierung von Schäden im Video- bzw. Schwingungsprofil [1]

Zustandsmerkmale		Anzahl		Identifizierung im Video						Ausschlag im Vibrationsprofil			
				klar		ausreichend		schlecht		vorhanden		Nicht vorhanden	
eigelegte Flickstelle	EFLI	131	100 %	83	63 %	38	29 %	10	8 %	99	76 %	32	24 %
aufgelegte Flickstelle	AFLI	18	100 %	14	78 %	4	22 %	0	0 %	14	78 %	4	22 %
Querriss	RIS-Q	126	100 %	37	29 %	74	59 %	15	12 %	94	75 %	32	25 %
Längsriss	RIS-L	82	100 %	48	59 %	29	35 %	5	6 %	0	0 %	82	100 %
Netzriss	NRI	31	100 %	11	35 %	16	52 %	4	13 %	16	52 %	15	48 %
Naht	NF	87	100 %	47	66 %	30	29 %	10	7 %	54	62 %	33	38 %
Schlagloch	AUS	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
Ausbruch	AMA	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
Schachtdeckel	SCHACHT	39	100 %	39	100 %	0	0 %	0	0 %	39	100 %	0	0 %
Markierung	MARK	12	100 %	7	58 %	5	42 %	0	0 %	12	100 %	0	0 %
sonstiges	SONST	13	100 %	13	100 %	0	0 %	0	0 %	10	77 %	3	23 %

Es wird zusätzlich in Prozent angegeben, wie viele der im Video identifizierten Zustandsmerkmale in den Schwingungsdaten in Form einer Auslenkung erkannt werden konnten. In diesem Fall führten Flickstellen, sonstige Beschädigungen und Querrisse meist zu deutlich sichtbaren Messauschlägen - bei Schachtdeckeln und erhabenen Fahrbahnmarkierungen sogar in jedem Fall. Netzzrisse und Nähte waren dagegen nur in etwas mehr als jedem zweiten Fall eindeutig in den Schwingungsdaten zu identifizieren. Im Bereich von Längsrissen konnten keine zugehörigen Messauslenkungen ermittelt werden.

Umgekehrt konnten 80 % der Messauslenkungen oberhalb des gewählten Schwellenwertes von $2 \text{ m} / \text{s}^2$ eindeutig einem Merkmal zugeordnet werden. Das bedeutet, dass die verwendete App recht zuverlässige Daten liefert.

3.2 Spezifische Schwingungsprofile

Bei der Suche nach Gemeinsamkeiten in den Schwingungsprofilen verschiedener Durchläufe im Bereich von Schachtdeckeln, ein- und aufgelegten Flickstellen, Quer- und Netzzrisse sowie Nähten konnten die Ausprägungen in zwei Gruppen eingeteilt werden. Einzelne Ausschläge waren in der Regel auf Querrisse und Nähte zurückzuführen (Bild 4). Alle anderen untersuchten Zustandsmerkmale verursachten meist eine dicht aufeinanderfolgende Reihe von Messauschlägen (Bild 5 und 6). Eine exakte Differenzierung der Schäden war hier nicht möglich, da nicht eindeutig unterschieden werden kann, ob Anzahl und Betrag der Peaks für die Dimension und das Ausmaß der Schädigung oder für deren Art charakteristisch sind. Darüber hinaus war häufig keine klare Abgrenzung zweier Merkmale möglich oder sie überlagerten sich, sodass eine klare Klassifizierung der Messauschläge nur schwer möglich war (Bild 5).



Bild 4: einzelner Messausschlag durch vergossenen Querriss [1]

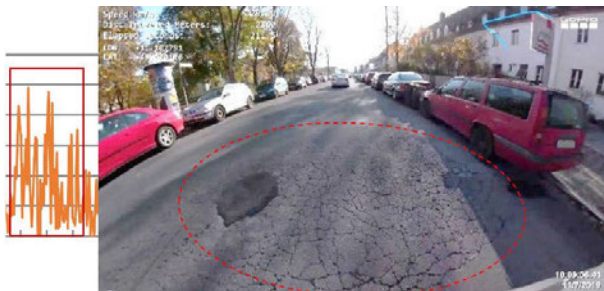


Bild 5: vermehrte Messausschläge durch Netzrisse und aufgelegte Flickstelle [1]

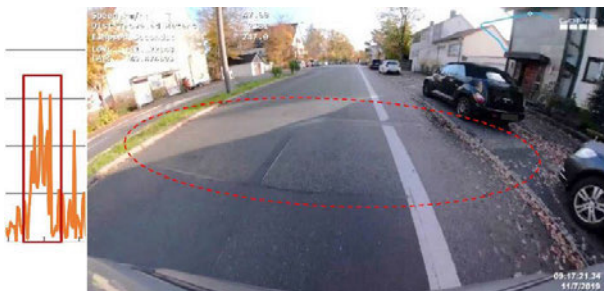


Bild 6: vermehrte Messausschläge durch eingelegete Flickstelle [1]

4. Diskussion

Die verwendete Kamera liefert eine ausreichend gute Qualität der Videoaufzeichnungen, da eine Vielzahl relevanter Zustandsmerkmale der Fahrbahnoberfläche auch bei Geschwindigkeiten bis zu 50 km/h eindeutig erkennbar ist. Darüber hinaus erlaubt das weite Sichtfeld, wenn auch in begrenztem Umfang, eine visuelle Kontrolle des Zustandes der Randbereiche und Entwässerungsanlagen. Angrenzende Verkehrsflächen können ebenfalls in den Videoaufnahmen erkannt werden, sind allerdings meist zu klein und verzerrt, um Details zu erfassen.

Die Anforderungen der ZTV ZEB-StB, wonach Risse mit Rissweiten von 1 mm oder mehr in einer visuell-bildgestützten Zustandserfassung sicher erkannt werden

müssen [3], können mit der verwendeten Kamera nur bei günstigen Lichtverhältnissen eingehalten werden.

Für Videoaufnahmen wurden unterschiedliche Lichtverhältnisse als Problemquelle identifiziert. Im Allgemeinen sind Oberflächenschäden bei direkter Sonneneinstrahlung leichter zu erkennen als in schattigen Bereichen, doch bei sonnigem Wetter findet aufgrund der umliegenden Gebäude ein ständiger Wechsel zwischen hellen und dunklen Abschnitten statt. Sind die Schatten nicht flächendeckend, wie etwa bei Baumschatten, kann die Beschaffenheit der Oberfläche durch den raschen Wechsel von Licht und Schatten schwer zu erkennen sein, denn die Kamera benötigt eine kurze Zeit, um die internen Einstellungen anzupassen. Dies kann dazu führen, dass das Bild in Übergangsbereichen stark unter- oder überbelichtet wird. Zusätzlich müssen auch andere Witterungseinflüsse berücksichtigt werden. Bei regnerischem Wetter können sich Tröpfchen auf der Kameralinse bilden und zu unbrauchbaren Aufnahmen führen. Darüber hinaus sorgt eine regennasse, reflektierende oder schneebedeckte Fahrbahnoberfläche für unklare Bilder.

Generell kann festgehalten werden, dass sogar einzelne Risse entlang und quer zur Fahrtrichtung in den Videoaufnahmen bis zur innerstädtischen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h gut sichtbar sind. Mit den Beschleunigungssensoren können dagegen keine Längsrisse detektiert werden. Bei Netzrissen richtet sich die Erkennbarkeit in den Schwingungsdaten weitgehend nach deren Charakteristika. Feine Risse mit geringer Ausdehnung können nur begrenzt erfasst werden, während stark ausgeprägte Risse meist deutlich nachweisbar sind. Ausbrüche und Flickstellen können sowohl in Videoaufnahmen als auch Beschleunigungsprofilen mit hoher Reliabilität festgestellt werden. Dasselbe gilt für Arbeitsnähte, wobei nicht mit Sicherheit zu erkennen ist, ob die jeweiligen Nähte offen oder intakt sind. Messauslenkungen aufgrund von Einbauten wie Schachtdeckel oder Schieberkappen bzw. erhabenen oder beschädigten Markierungen lassen sich zumeist verlässlich mit den aufgezeichneten Videos belegen. Die Erkennbarkeit von Ausmagerung, Bindemittelanreicherung und Spurrinnenbildung im Videomaterial hängt maßgeblich von deren Eigenschaften, der Beschaffenheit der angrenzenden Fahrbahnoberfläche und den örtlichen Lichtverhältnissen ab. Darüber hinaus sind Bindemittelanreicherungen oft nicht klar von einfachen Verfärbungen oder nassen Stellen zu unterscheiden.

Zur eindeutigen Klassifizierung diverser Zustandsmerkmale sowie des Schadensausmaßes anhand des Schwingungsprofils erscheint die Messmethode im Fahrzeuginnenraum zu ungenau, was unter anderem auf die starke Federung / Dämpfung eines PKW zurückzuführen sein dürfte. Es konnte lediglich zwischen kurzen (Risse, Nähte) und längeren (Flickstellen, Netzrisse) Ereignissen differenziert werden.

5. Fazit

Straßenschäden sollten nach allen in den Regelwerken der FGSV aufgeführten Schadensmerkmalen klassifiziert und bewertet werden. Mit dem derzeitigen Messaufbau ist es jedoch schwierig, die Anforderungen zu erfüllen. Zum einen kann mit Schwingungssensorik zwar die Längsebenheit, nicht aber die Querebenheit erfasst werden. Zum anderen können auch die Substanzeigenschaften der Oberfläche nicht vollständig erfasst werden. Einzelrisse in Fahrtrichtung sowie Bindemittelanreicherungen werden nicht erfasst. Auch eine Unterscheidung zwischen offenen und vergossenen Nähten ist nicht möglich, da in beiden Fällen eine Auslenkung im Schwingungsprofil zu erkennen ist. Daher muss in jedem Fall eine Ergänzung durch visuelle Aufzeichnungen vorgenommen werden. Videoaufzeichnung ist bis zu einer Geschwindigkeit von 50 km / h kein Problem, dennoch ist es zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht möglich, sämtliche Schäden in vollem Umfang aufzuzeichnen.

Literaturverzeichnis

- [1] Knüpfer, M. (2019), Bildreferenzierung bei der Straßenzustandserfassung mittels Erschütterungssensorik. Unveröffentlichte Bachelorthesis, Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm, Nürnberg.
- [2] Shtayat, A., Moridpour, S., Best, B., Shroff, A., Raol, D. (2019): Dynamic Monitoring of Asphalt Pavement using Mobile Application. In: „26th World Road Congress“, Abu Dhabi.
- [3] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2018): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien zur Zustandserfassung und -bewertung von Straßen Ausgabe 2006 (ZTV ZEB-StB). FGSV Verlag GmbH, Köln.



**BIM in der
Erhaltung**

Austausch und Verwertung von Daten aus Asset-Management-Systemen im anbieterunabhängigen Format

Prof. Dr.- Ing. Markus Stöckner

Hochschule Karlsruhe - Technik und Wirtschaft, Karlsruhe, Deutschland

Philip Zwernemann M.Sc.

Hochschule Karlsruhe - Technik und Wirtschaft, Karlsruhe, Deutschland

Projektteam:

Stöckner, M.; Niever, M.; Zwernemann, P. (Hochschule Karlsruhe - Technik und Wirtschaft, Karlsruhe, Deutschland)

Hajdin, R.; Elvarsson, A.; Isailovic, D. (IMC Zürich, Schweiz)

König, M.; Liu Liu (Ruhr Universität Bochum, Deutschland)

Gavin, K.; (INGeo, Delft, Niederlande)

Zusammenfassung

Das CEDR-geförderte EU-Projekt AMSTree analysiert die Architektur von Infrastruktur-Asset-Management-Systemen (IAMS), die von nationalen Straßenbehörden (NRAs) verwendet werden, sowie die Asset-Informationen in aktuellen IAMS, um detaillierte technische Anforderungen für die Verknüpfung von IAMS und Building Information Models (BIMs) als Infrastruktur-Asset-Datenbanken auf Makro- und Mikroebene festzulegen. Die Analyse wird anhand einer Reihe von Modellen durchgeführt, die von Planern und Auftragnehmern verwendet werden, so dass der allgemeine Entwicklungsgrad (LOD) für das BIM für Infrastrukturanlagen festgelegt werden kann. Um die volle Nutzung modernster Datenerfassungstechniken (Sensoren und Drohnen usw.) zu ermöglichen, werden Anforderungen an bestehende Zustandsbewertungstechniken festgelegt. Auf der Grundlage der zuvor dokumentierten Analyse werden die Prozesse eines Asset-Management-Systems unter Verwendung des BPMN-Standards beschrieben. Anschließend werden die Empfehlungen für den Umgang mit den unzureichenden Austauschdaten sowie die Regeln für die semantische Transformation festgelegt. Alle Daten aus den Quellsystemen werden unter Anwendung der festgelegten Transformationsregeln in eine Referenzdatenbank übertragen. Basierend auf den Ergebnissen der vorangegangenen Arbeiten wird der Interoperabilitätsnachweis entwickelt. Anschließend werden Anforderungen definiert, um die Verknüpfung zwischen den Daten im IAMS und dem IFC-Modell zu ermöglichen. Auf der Grundlage der Anforderungen wird eine Webanwendung entwickelt und dokumentiert. Im vorliegenden Beitrag wird ein Zwischenstand des Projektes aufgezeigt, insbesondere zur Analyse der jeweils nationalen Vorgehensweisen und der Prozessmodellierung.

1. Motivation/Project Beschreibung

Die Verkehrsinfrastruktur gehört zu den kritischen Infrastrukturen, deren Ausfall dramatische Folgen für die Gesellschaft hat. Eine anforderungsgerechte Infrastruktur ist daher entscheidend für die Verringerung gesellschaftlicher Risiken (WorldRiskReport 2016). Die Straßenbaulastträger haben in Deutschland und in Europa ein Netz mit hoher Dichte und damit eine redundante Infrastruktur entwickelt, das zur Risikovorsorge auf einem angemessenen

Qualitätsniveau erhalten werden muss. Im Jahr 2014 wurden beispielsweise mehr als 53 Milliarden Euro in die Straßeninfrastruktur in den Mitgliedsstaaten der EEA investiert (Europäische Umweltagentur, 2016). Die europäischen Straßenverwaltungen verfügen über gut entwickelte Managementsysteme zur Entscheidungsunterstützung in der Erhaltungsplanung. Damit sollen für alle Anlagenbestandteile, u.a. Straßen, Ingenieurbauwerke oder Ausstattung folgende allgemeinen Ziele verfolgt werden:

- Transparente Entscheidungsprozesse für Finanzbedarfsprognosen
- Transparente Entscheidungsprozesse zur Priorisierung von Bauprogrammen
- Sicherstellung der Netzverfügbarkeit mit Schwerpunkt auf relevanten Korridoren
- Berücksichtigung sich verändernder Mobilitätsformen

Diese Aufgaben werden mit sogenannten Asset Management-Systemen unterstützt. Die Grundlagen und Rahmenvorgaben finden sich in der DIN EN ISO Normenreihe 55000 ff. Diese stellt einen groben Rahmen mit den wesentlichen Kernelementen dar. Ein wichtiger Aspekt ist der Einsatz von sogenannten AM-Plänen auf den relevanten Entscheidungs- und Arbeitsebenen. Diese können in strategische AM-Pläne (SAMP), in taktische AM-Pläne und in die Umsetzung dieser Pläne gegliedert werden. Dazu muss ein gewünschtes Leistungsniveau definiert und der Handlungsbedarf im Vergleich zum Ist-Zustand festgelegt werden (Abbildung 1). Damit werden unter Berücksichtigung bestehender Risiken und verfügbarer Ressourcen Erhaltungsprogramme zusammen mit Finanzierungsplänen abgeleitet. Der Erfolg des Asset Managements hängt dabei von ausreichenden Informationen zum Anlagenbestand und damit von der Verfügbarkeit einer ausreichenden und barrierefreien Datenbank ab. Aufgrund der Veränderlichkeit des Netzes und seines Zustandes muss der vorhandene Datenbestand ständig gepflegt und fortgeschrieben werden. Damit entsteht ein ständiger Datenfluss über den gesamten Lebenszyklus der Verkehrsinfrastruktur.

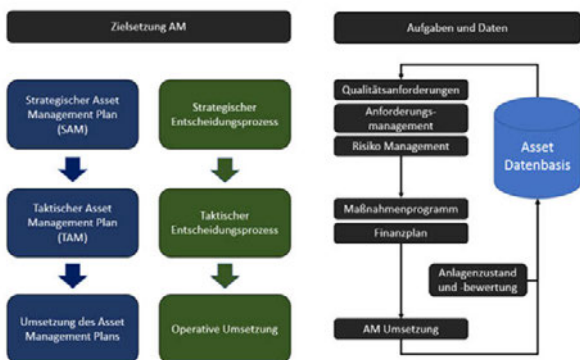


Abbildung 1: Grundstruktur des AM

Dies erfordert einen offenen und produktunabhängigen Datenaustauschprozess, wie z.B. der IFC-Standard. Aktuelle Asset-Management-Systeme benötigen über den ganzen Lebenszyklus eine große Menge an Daten, die in der Regel derzeit nicht konfliktfrei miteinander interagieren. Zur Lösung der Aufgabenstellung wurden im Projekt AMSFree unterschiedliche nationale Asset-Management-Systeme analysiert, um detaillierte technische Anforderungen für die Verknüpfung von AMS und Building Information Modeling (BIM) als Infrastruktur-

Datenbanken auf Makro- und Mikroebene festzulegen und daraus allgemeingültige Prozess- und Datenaustauschmodelle abzuleiten. Gleichzeitig wird versucht, bestehende IT-Systeme mit einzubinden.

2. Stand der Technik

Die derzeit von den nationalen Straßenbulasträgern verwendeten Asset Management Ansätze basieren auf relationalen Datenbanken, die Informationen zum Anlagenbestand, den Zustand und die durchgeführten baulichen Eingriffe enthalten. Auswertemodelle liefern Aussagen zur Zustandsentwicklung unter gegebenen Randbedingungen, zum künftigen Finanzbedarf, zu Bau- und Erhaltungsprogrammen sowie zu wahrscheinlichen Kosten. Problematisch ist dabei der Datenbestand, insbesondere auch weil Daten aus der Bauphase oftmals in der Qualität, wie sie für ein Asset Management benötigt werden, nicht oder nur unzureichend in die Betriebs-Unterhaltungsphase übergeben werden. Sinnvoll wäre es, die bereits in der Planungsphase gewonnenen Daten über die Bauphase in die Betriebs- und Erhaltungsphase zu transportieren. In einem Forschungsprojekt (König et al., 2020) wurde die Nutzung der BIM-Methode für die Planung von Erhaltungsmaßnahmen im Straßenbau untersucht. Das Projekt hat in umfassender Weise den Stand der Technik in der internationalen Anwendung der BIM-Methode analysiert und darauf aufbauend ein Datenmodell zur Beschreibung von Fahrbahnen und den erhaltungsrelevanten Informationen erarbeitet. Das im Rahmen des Projekts definierte Datenmodell orientiert sich am internationalen Datenaustauschstandard Industry Foundation Classes (IFC), für den derzeit die Erweiterung IFC-Road entwickelt wird, und den vorhandenen Möglichkeiten des Objektkatalogs für das Straßen- und Verkehrswesen (OKSTRA). Auf der Basis des internationalen Datenmodells wurden nationale Merkmale definiert. Diese umfassen zum einen Merkmale, die detailliert die einzelnen Aufbauschichten beschreiben und im Rahmen des As-built-Modells beim Abschluss einer Baumaßnahme übergeben werden müssen. Daraus entsteht die Forderung, ausgehend von einem international vereinbarten Modell ein definiertes Datenmodell für den nationalen Standard abzuleiten, vor allem auch die Merkmale, die nach Durchführung einer Baumaßnahme als sogenannten As-built-Modell in das Asset Management übergeben werden müssen. Methodisch wurden daher im Projekt AMSFree zunächst die nationalen Vorgehensweisen ausgewählter europäischer Straßenbauverwaltungen analysiert und davon ausgehend ein generisches Prozess- und Datenaustauschmodell für ein Asset Management System abgeleitet.

2.1 Asset Management in Deutschland

In Deutschland wird derzeit ein Erhaltungsmanagementsystem (EMS) für Bundesfernstraßen und Landesstraßen verwendet. Teilweise kommen diese Methoden für

Kreisstraßennetze und kommunale Netze in adaptierter Form zum Einsatz. Damit wird im Wesentlichen der Umfang eines taktischen Asset-Management-Plans erfüllt. Das deutsche EMS für das Bundesfernstraßennetz basiert auf einem regelmäßigen Zustandserfassungs- und Bewertungsverfahren (ZEB) der Oberflächeneigenschaften von Straßen gemäß den „Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für die Zustandserfassung und -bewertung von Straßen (ZTV-ZEB-StB, 2006/2018)“ beschrieben. Dort sind die sogenannten „Grunddatentabellen“ sowie der Aufbau der sogenannten „Ergebnis Datei“ mit allen erforderlichen Dateninhalten festgelegt. Diese Vorgaben werden durch den IT-ZEB-Standard detailliert; insbesondere werden die Rohdatenformate und die Datenverarbeitung beschrieben. Der IT-ZEB-Server dient zur Datenspeicherung und Visualisierung aller netzbezogenen Zustandsdaten.

Die Bestandsdaten werden in der Regel nach Abschluss der Bauarbeiten gespeichert und entsprechend den baulichen Anforderungen der Anweisung Straßen Informationsbank (ASB) in die Straßendatenbanken der Länder und in das Bundesstraßeninformationssystem (BISStra) für das Bundesstraßennetz übertragen. In der ASB werden sowohl inhaltliche als auch qualitative Anforderungen formuliert. Die korrekte Semantik wird durch den Objektkatalog für das Straßen- und Verkehrswesen (OKSTRA) gewährleistet. Die Aufgaben und Anwendungen für das Belagsmanagement sind in den Richtlinien für die Straßenunterhaltungsplanung, RPE-Str 01, beschrieben, die sich derzeit in Überarbeitung befinden. Ziel der RPE-Str ist es, die wesentlichen administrativen Aufgaben eines Erhaltungsmanagements für Straßen, u.a. für den Zustand von Netzobjekten und deren Zustandsentwicklung, die Entwicklung und Bewertung von Erhaltungsstrategien, die Erstellung von mittelfristigen Erhaltungsprogrammen bis hin zu deren Umsetzung abzudecken. Die verschiedenen Aufgaben lassen sich grob in die folgenden Punkte unterteilen (Abbildung 2):

- (1) Geolokalisierte Bestandsaufnahme (Netzstruktur- und Bestandsdaten aus dem Bundesfernstraßen-Informationssystem BISStra)
- (2) Periodische Straßenerhebung und -bewertung (vom IT-ZEB-Server)

Die Punkte (1) und (2) werden als Datenverwaltung definiert.

- (3) Datenaufbereitung, d.h. die abschnittsbezogene Homogenisierung der erforderlichen Kenndaten (meist Rohzustandsdaten) als Input für ein Fahrbahnmanagementsystem (PMS) mit einem Programmcode der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt),
- (4) Datenanalyse auf der Grundlage der PMS-Berechnung mit verschiedener spezialisierter proprietärer Software.

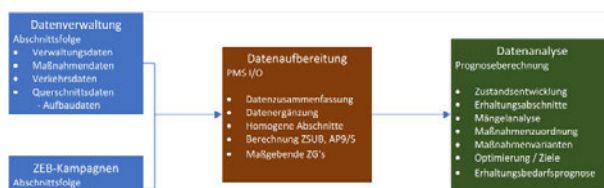


Abbildung 2: Aktuelles Modell für das Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen in Deutschland

Die Ergebnisse des PMS werden sowohl für den Bundesverkehrsinfrastrukturplan als auch für die jährliche Budgetierung und netzbezogene Erhaltungsprogramme verwendet. Ergänzend zum PMS für die Fahrbahnen entwickelte die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) ein Brückenmanagementsystem, abgekürzt BMS. Die bauliche Bewertung erfolgt in Anlehnung an die DIN-Vorgaben, die Datenhaltung erfolgt über das „Bundesfernstraßen-Informationssystem“ (BISStra) und das „Informationssystem Bauwerke“ (ISBW). Die Datendefinitionen werden durch die ASB, Segment Bauwerksdaten (ASB-Ing) zur Verfügung gestellt. Als Software-Tools sind derzeit verschiedene Straßendatenbankprodukte im Einsatz, die den Vorgaben der ASB bzw. des OKSTRA genügen sowie der IT-ZEB Server für die Zustandsdaten der Fahrbahnen. Für die weiteren Auswertungen werden Programmsysteme zur Datenaufbereitung sowie PMS-Software und BMS-Softwareprodukte eingesetzt. Einen Überblick gibt Abbildung 3.



Abbildung 3: Überblick zu AM-Werkzeugen in Deutschland

2.2 AM in Europa

Im Projekt AMSFree wurden die Asset Management Ansätze aus Schweden, Finnland, Niederlande, Dänemark, Deutschland und Österreich im Detail analysiert. Exemplarisch werden Ansätze aus Schweden, Finnland und Dänemark vorgestellt.

Die schwedische Straßenbauverwaltung nutzt für die Infrastrukturanlagen mehrere Managementsysteme. Diese Systeme decken die verschiedenen Verwaltungsaufgaben ab und sind miteinander verbunden. Das Brücken- und Tunnelmanagementsystem (BaTMan) wird für die Verwaltung von Brücken, Tunneln und anderen Ingenieurbauwerken verwendet. Es handelt sich um ein

internetbasiertes System, das ein Navigationsinstrument (WebHybris) umfasst, das auf die Datenbank des BaT-Man zugreifen kann (Helmerich, Niederleithinger, Algernon, Streicher, & Wiggenhauser, 2008). Die in BaT-Man gespeicherten Zustandsbewertungen werden auf der Grundlage der Erfahrung der Inspektoren mit Hilfe etablierter Vorgehensweisen bewertet (Andersson, 2019). Weiter wird ein Dokumentenmanagementsystem für die Durchführung von Bauprojekten, ein webbasiertes standardisiertes Instandhaltungssystem sowie ein PMS verwendet. Das schwedische Pavement Management System (PMS) schließt künftig die Entwässerungseinrichtungen mit ein.

Die finnische Straßenbauverwaltung nutzt für das Asset Management je nach Anlagenbestandteil und Aufgabe ebenfalls verschiedene Systeme. Zwei Systeme sorgen für das Informationsmanagement im Bereich der Straßeninstandhaltung und der Erhaltung von Ingenieurbauwerken. Eine interessante Entwicklung ist ein Zweikomponentensystem, das sich derzeit noch in der Entwicklungsphase befindet. Die erste Komponente dieses Systems, das Road Asset Information Register, ist eine Bestandsdatenbank. Die zweite Komponente, Projekte und Materialien, ist das Projekt- und Entwurfs-Informationsportal, das allen Beteiligten zugänglich ist. Die Idee besteht darin, die Informationen über die Anlagenbestandteile während der gesamten Lebensdauer, beginnend mit der Entwurfsphase, zur Verfügung zu stellen. Die so genannte „Projektansicht“ umfasst die grundlegenden Informationen über die Straßen, Eisenbahnen und Wasserwege. Die Informationen stehen allen Beteiligten zur Verfügung und sind mit anderen Asset-Management-Systemen interoperabel. Die so erstellten BIM-Modelle können mit Hilfe eines externen BIM-Tools einfach visualisiert werden. Ein weiteres Tool ermöglicht die Suche, Ansicht und Berichterstattung von Informationen zu einzelnen Anlagenbestandteilen.

Die dänische Straßenbauverwaltung hat in den letzten Jahren ein Managementsystem für alle Anlagenbestandteile entwickelt. Die IT-Unterstützung ist über mehrere Systeme und Plattformen verteilt, was die Zusammenarbeit, die Transparenz und die Nachvollziehbarkeit allerdings erschwert (Vejdirektoratet, 2020). Die wichtigsten Prozesse für das AM sind: (a) Datenbank, (b) Zustandsbewertung, (c) Alterungsmodell, (d) Maßnahmenoptimierungen, (e) anlagenübergreifende Priorisierung, (f) Umsetzung, (g) Maßnahmendokumentation und (h) Erfolgskontrolle.

3. Anforderungen für AM-Systeme

Die genauere Analyse der in Europa verwendeten AM Systeme hat gezeigt, dass die Daten grob in alphanumerische oder geometrische Daten und in georeferenzierte Daten unterteilt werden können. Die alphanumerischen Daten umfassen in der Regel Materialeigenschaften, Zustandsbewertungen oder Planungsdaten. Georeferenzier-

te Daten beschreiben die geographische Lage des Netzes und seiner Anlagenbestandteile, wie es üblicherweise auch in GIS-Systemen vorgenommen wird. Die derzeit verwendeten Prozesse in einem Asset Management verlangen allerdings weiter entwickelte Datenformate nach der BIM-Methode bzw. dem IFC-Standard, um die Übergabe von Daten aus der Bauphase in die Erhaltungs- und Betriebsphase der Verkehrsinfrastruktur verlustfrei sicherstellen zu können. Aus den bisherigen Betrachtungen können erwartungsgemäß Gemeinsamkeiten zwischen den europäischen Systemen abgeleitet werden, dies sowohl von den Arbeitsschritten als auch vom groben Datenbedarf her. Allerdings wird auch deutlich, dass der Asset Management Prozess in den betrachteten Straßenbauverwaltungen unterschiedlich verstanden wird, was gleichermaßen auch für Datenstandards und den Datenaustausch gilt. Oftmals sind die einzelnen Teilsysteme im AM unzureichend miteinander verknüpft, die Semantik der Daten ist nicht konsistent, sodass eine Transformation erforderlich sein kann. In einem Forschungsprojekt (Bernard, Marschal, & Hajdin, 2015) wurde dieses Problem durch die Einrichtung einer Referenzdatenbank angegangen, die die unveränderten Quelldaten importiert und dann für die Verwendung in einem AM-System transformiert. Die Grundproblematik wird im Projekt AMSFree so gelöst werden, dass ein allgemein anwendbarer und skalierbar Asset-Management-Prozess definiert wird, mit dem parallel auch die grundlegenden Datenaustauschanforderungen für ein voll funktionsfähiges AM definiert werden. Damit würde gleichzeitig auch die Brücke zwischen den derzeit ausführungorientierten BIM-Anwendungen zu einem Asset Management geschlagen, weil damit abgeleitet wird, welche Daten aus der Bauphase in die Erhaltungs- und Betriebsphase der Verkehrsinfrastruktur übergeben werden sollen.

4. Ableitung eines generischen AM Prozesses

Die nationalen AM-Prozesse wurden zunächst für die einzelnen Anlagenbestandteile beschrieben. Im gesamten AM-System wird dies naturgemäß deutlich schwieriger, weil unterschiedliche Anlagenbestandteile in einem Modell zusammengeführt werden müssen. Das Projekt AMSFree konzentriert sich hierbei zunächst auf Fahrbahnen und Ingenieurbauwerke. Ausgehend von dieser Überlegung wurden zunächst die Prozesse eines Asset-Management-Systems hinsichtlich des Arbeitsablaufs mit und zwischen den verschiedenen Beteiligten beschrieben. Dazu wurde ein Modellprozess aus den bisherigen Projektergebnissen abgeleitet. Ziel dabei war, sicherzustellen, dass dieser Modellprozess so weit wie möglich auf die verschiedenen Straßenbauverwaltungen angewendet werden kann und entsprechend skalierbar ist. Die Hauptprozesse des Asset-Managements gliedern sich in die Bereiche Zustandserfassung und Bewertung, Erstellen von Erhaltungsprogrammen, Planen der einzelnen Erhaltungsmaßnahmen und Durchführen der jewei-

ligen Baumaßnahme. Dabei wird davon ausgegangen, dass eine entsprechend nutzbare Datenbank zur Verfügung steht, indem der Anlagenbestand ausreichend hinterlegt ist, idealerweise als IFC-Modell. Insofern muss für die Anwendung der Prozesse bereits ein Bestandsmodell vorliegen. Das Bestandsmodell wird dann im Verlauf des Lebenszyklus in drei Phasen aktualisiert. Die erste Aktualisierung ergibt sich aus der Zustandserfassung und -bewertung (ZEB). Für die ZEB werden die Lokalisierungsdaten aus der Datenbank verwendet, um die Anlagenbestandteile zu lokalisieren und den Erfassungsumfang zu definieren. Die Ergebnisse der ZEB werden in die Datenbank übertragen und aktualisieren die Anlageninformationen. Dabei muss angemerkt werden, dass eine Übertragung der Rohdaten aus der Erfassung in ein Bestandsmodell nicht zwangsläufig zielführend ist, es muss vielmehr entschieden werden, welche Ergebnisse der ZEB im Bestandsmodell tatsächlich sinnvoll und nutzbar sind. Für die zweite Aktualisierung werden die einzelnen Erhaltungsobjekte in die Datenbank mit aufgenommen. Damit ist ersichtlich, wann, wo und welche Erhaltungsmaßnahmen an welchem Anlagenbestandteil geplant sind. Das dafür notwendige Erhaltungsprogramm wird mit Autorensoftware wie beispielsweise eine PMS-Applikation erstellt. Mit den Informationen über die Priorisierung, die Finanzierung und den Wartungsplan kann die Planung und Ausschreibung von Maßnahmen beginnen. Im Rahmen der konkreten Maßnahmenvorbereitung werden dann je nach Aufgabe Planungs- und Ausführungsmodelle erstellt. Die Erstellung dieser Modelle erfolgt idealerweise nach der BIM-Methode, eine Übernahme in die Asset Management Bestandsdatenbank ist an dieser Stelle nicht notwendig. Vielmehr von Interesse sind die endgültigen „as built-Daten“ nach der Bauabnahme, da diese tatsächliche Bestandsänderung beschreiben. Mit der Übernahme in die Datenbank erfolgt die dritte Aktualisierung im Gesamtprozess. Durch die Beschreibung und Definition der „as built-Daten“ wird gleichzeitig dargelegt, welche Daten aus der Bauphase für die Erhaltungs- und Betriebsphase von Bedeutung sind. Ausgehend von diesem allgemeinen Prozessmodell wurden die relevanten Teilprozesse näher definiert, um den benötigten Datenumfang darstellen zu können. Im Prinzip muss der Datenbedarf auf der Objektebene definiert werden, da diese Ebene die höchsten Datenanforderungen samt Detaillierungsgrad aufweist. Netzweite Auswertungen und Auswertungen für die weiteren Betrachtungsebenen im Asset Management können durch Datenaggregationen gewonnen werden.

Das Ableiten des Referenzdatenflussmodells basiert nun auf dem abgeleiteten AM-Prozessmodell. Zunächst wurden die Schnittstellen für den Datenaustausch identifiziert und die benötigten Dateninhalte beschrieben. In Anbetracht der Tatsache, dass die Bestandsdaten weitgehend standardmäßig bereits im BIM-Modell enthalten sind, wurde der Schwerpunkt auf die Untersuchung der Integration der Zustandsdaten in das BIM Modell gelegt.

Dabei werden sowohl derzeit eingesetzte als auch künftig ergänzende Methoden zur Zustandserfassung mit einbezogen. Ein Beispiel bezüglich der Anforderungen an Daten ist mit dem Zustandsmodell in Abbildung 4 dargestellt.

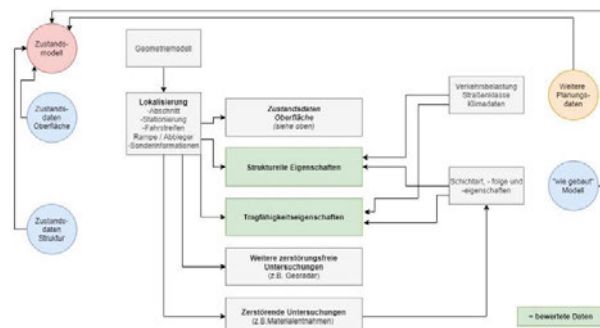


Abbildung 4: Zustandsmodell Fahrbahn

Dabei werden für die Fahrbahn sowohl bislang übliche Fassungen der Oberflächeneigenschaften wie auch künftig neu hinzukommende Verfahren der strukturellen Bewertung mit einbezogen. Die Herausforderung besteht darin, genau den Datenumfang zu definieren und in ein IFC-kompatibles Datenformat zu überführen, sodass dies künftig als Standard für ein Asset Management System angewendet werden kann.

5. Ausblick

Die weiteren Arbeiten in dem Projekt AMS Free werden sich nun darauf konzentrieren einen Vorschlag für die Übernahme von, den von einem Asset Management System benötigten, Daten in ein im System zu erstellen. Dazu wird derzeit ein Referenzmodell für den Datenfluss im Asset Management erarbeitet, notwendige Dateninhalte identifiziert und beschrieben sowie für diese ein IFC-kompatibles Modell erstellt. Die Ergebnisse sollen in einen Prototyp übertragen werden, sodass sowohl das Datenmodell als auch die Funktionalität in einem Asset Management System nachgewiesen werden kann.

Literatur

- [1] (WorldRiskReport 2016). Bündnis Entwicklung Hilft and United Nations University – Institute for Environment and Human Security (UNU-EHS). <http://collections.unu.edu/view/UNU:5763>.
- [2] (Europäische Umweltagentur, 2016). Investment in transport infrastructure. www.eea.europa.eu: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/infrastructure-investments/assessment-3>.
- [3] DIN ISO 55000:2017-05: Asset Management - Übersicht, Leitlinien und Begriffe. Beuth-Verlag, Berlin, 2017.
- [4] König et al., 2020: König, M.; Borrmann, A.; Stöckner, M.; Radenberg, M.; Hagedorn, P.; Jaud.

- S.; Niever, M.; Müller, D.: BIM-basiertes Erhaltungsmanagement im Straßenbau. Endbericht zum Forschungsprojekt FE-Nr. 04.0299/2016/MRB im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt). (Unveröffentlicht).
- [5] ZTV-ZEB-StB, 2006/2018: Zusätzliche technische Vertragsbedingungen und Richtlinien zur Zustandserfassung und -bewertung von Straßen. ZTV ZEB-StB. Ausgabe 2006, Stand 2018. FGSV-Verlag, Köln. (FGSV, 489).
- [6] RPE-Stra 01: Richtlinien für die Planung von Erhaltungsmaßnahmen an Straßenbefestigungen. RPE-Stra 01, Ausgabe 2001. FGSV-Verlag, Köln. (FGSV, 988).
- [7] Helmerich, Niederleithinger, Algernon, Streicher, & Wiggenhauser, 2008: Bridge Inspection and Condition Assessment in Europe. Transportation Research Record, 2044, 31-38. doi:10.3141/2044-04
- [8] Andersson, 2019: Data och dokumentation till förvaltande system – Väg. Trafikverket.
- [9] Vejdirektoratet, 2020: Danish Road Directorate Asset Management Strategy Version 1.1. Hedehusene: Ministry of Transport, Building and Housing.
- [10] Bernard, Marschall, & Hajdin, 2015: Forschungspaket Nutzensteigerung für die Anwender des SIS: EP6: Schnittstellen aus den Auswertungssystemen SIS (SIS-DWH). Schriftenreihe 1508, Bundesamt für Straßenwesen, UVEK, Bern, 2015.

Transdisziplinäre Standortfindung zur Sanierung multicodierter Straßenräume (Forschungsprojekt BlueGreenStreets)

Philip Zwernemann M.Sc.

Hochschule Karlsruhe - Technik und Wirtschaft, Karlsruhe, Deutschland

Prof. Dr.-Ing. Markus Stöckner

Hochschule Karlsruhe - Technik und Wirtschaft, Karlsruhe, Deutschland

Prof. Dr. Jochen Eckart

Hochschule Karlsruhe - Technik und Wirtschaft, Karlsruhe, Deutschland

Zusammenfassung

Der Straßenraum hat einen großen Anteil an der Fläche des urbanen Raumes, weshalb auf Herausforderungen der städtischen Entwicklung auch im Straßenraum reagiert werden muss. Ein multicodierter Straßenraum, in welchem verschiedene Probleme adressiert werden, ist das Ziel des zukünftigen Straßenbaus. Zentrale Herausforderungen sind drastische klimatische Veränderungen, ein Wandel der Mobilität und der Wunsch nach mehr Aufenthaltsqualität. Um diese Herausforderungen anzugehen entwickelt das Forschungsprojekt BlueGreenStreets (BGS) Elemente zur klimaangepassten Gestaltung des Straßenraumes. Dabei werden vor allem Elemente zum Niederschlagsmanagement („Blue“) und zum Begleitgrün („Green“) entwickelt, die Mobilitätsansprüche nicht außer Acht lassen. So werden Lösungen zu Hitzestress, Überflutungen, Beeinträchtigungen des Straßengrüns und zu Mobilitätsanforderungen untersucht. Diese Lösungen sollen zuerst dort eingesetzt werden, wo die Belastung am höchsten ist. Dazu entwickelt das Modul „integriertes Sanierungsmanagement“ ein GIS-Tool zur transdisziplinären Standortfindung. In der transdisziplinären Standortfindung werden Indikatoren zu Einflussfaktoren aufgenommen, um besonders belastete Straßenabschnitte zu identifizieren. Eine zentrale Rolle dabei spielt der Wert des Anlagengutes Straße. Der Zustand der Straße sowie des Kanals werden als Grundlage für Sanierungsmaßnahmen herangezogen. Durch die Koordination der Erhaltungs- und Sanierungsarbeiten werden die Kosten deutlich gesenkt. Zudem können Kommunen bei der Sanierung BGS-Elemente einbauen, um auf die aktuellen Anforderungen an den Straßenraum zu reagieren. Daraufhin wird über eine Priorisierungsmatrix im GIS-Tool eine Empfehlung ausgesprochen, welche Straßenabschnitte eine entsprechende Sanierung und Umgestaltung benötigen und zu bevorzugen sind.

1. Motivation/ Projektbeschreibung

Aufgrund der aktuellen und zukünftigen städtischen Entwicklungstrends einer wachsenden urbanen Bevölkerung und einem sich damit verstärkenden Flächennutzungsdruck sowie den zu erwartenden klimatischen Veränderungen ergeben sich in unterschiedlichen Themenbereichen neue Herausforderungen. Bestehende Probleme der Stadtentwicklung, z.B. Verkehrskonflikte, urbaner Hitzestress, Überflutungen oder Beeinträchtigungen des Straßengrüns werden sich in naher Zukunft deutlich verstärken. Die Aufgabe zukünftiger Stadtentwicklung ist es deshalb, Flächennutzungen nicht nur nebeneinander zu entwickeln, sondern miteinander zu verknüpfen und zu kombinieren. Räume werden so mehrfach codiert und damit hinsichtlich verschiedener Interessen und ihrer Flächennutzungen und -funktionen entwickelt.

Das Forschungsprojekt BlueGreenStreets strebt an, die Wirksamkeit von Planungsinstrumenten und Regelwerken zu grünen städtischen Infrastrukturen, urbaner Wasserwirtschaft, dem Sanierungsmanagement von Straßen und Kanälen sowie der Verkehrs- und Freiraumplanung zu untersuchen, zu evaluieren und weiterzuentwickeln. Straßenräume sollen zukunftsfähig gestaltet und zu Multitalenten der Stadtquartiere werden.

Zur Erhöhung der Ressourceneffizienz in wachsenden Quartieren werden Tools zur Planung multifunktionaler Straßenräume entwickelt und vor Ort mit wichtigen Stadtakteuren in Pilotprojekten erprobt.

Die von BGS gesetzten Ziele dienen als Orientierung für Kommunen in ganz Deutschland. Daher wird mit dem integrierten Sanierungsmanagement bei der Suche von sanierungskritischen Standorten angesetzt. Durch

das integrierte Sanierungsmanagement für Straßen und Entwässerungssysteme können Bauabschnitte für koordinierte Maßnahmen, die den kompletten Straßenraum betreffen, identifiziert werden. Dies betrifft zunächst nur Bauabschnitte, deren Erhaltungsbedürftigkeit sich aus dem baulichen Zustand ergibt. Durch BGS wird diese Auswahl um Komponenten der blau-grünen-Straßenraumgestaltung, also Einbeziehung weiterer funktionaler und planerischer Kriterien für die Abschnittsidentifikation, erweitert. So lassen sich Standorte für die notwendige Umgestaltung von Straßenräumen finden, die in die Erhaltungsplanung eingebunden werden können.

2. Stand der Technik (ZEB Straße und Kanal)

2.1 Erhaltungsmanagement Straßen

Die für den Außerortsbereich entwickelten „Richtlinien für die Planung von Erhaltungsmaßnahmen an Straßenbefestigungen“ (RPE-Stra01) enthalten die wesentlichen verwaltungstechnischen Planungsstufen, um eine systematische und effiziente Straßenerhaltung zu gewährleisten. Sie stellen damit einen Leitfaden zur Erhaltung von Straßen zur Verfügung. Das kommunale Erhaltungsmanagement ist in den „Empfehlungen für das Erhaltungsmanagement von Innerortsstraßen“ (E EMI 2012) beschrieben und umfasst die Straßenzustandserfassung, die Bewertung von Netzen sowie die operative und strategische Erhaltungsplanung. Aus einem darauf basierenden Erhaltungsmanagementsystem (EMS-K) kann sowohl eine Finanzbedarfsprognose als auch die Koordinierung der Erhaltungsmaßnahmen abgeleitet werden. Bei der Straßenzustandserfassung sollten Fahrbahnen sowie Nebenflächen erfasst werden. Das schließt neben Fahrstreifen, Busspuren, Radverkehrsflächen auf der Fahrbahn und befahrbaren Gleisflächen im Weiteren auch Geh- und Radwege, Parkstreifen, Betriebsflächen, Treppen und Plätze ein (vgl. FGSV, 2012).

Die Zustandsdaten werden in einem einheitlichen Ordnungssystem gespeichert, das eine eindeutige georeferenzierte Zuordnung ermöglicht. Bei der Straßenzustandserfassung werden dazu neben dem Zustand auch Straßenschlüssel und Name, Straßenklassifizierung und -kategorie (A, B, L, K, G), die Richtungskennung des Netzabschnitts, der Verlauf (z.B. Tunnel, Brücke), der Stadt- und Baubezirk, das Bauamt und die Verkehrsrichtung gespeichert und verwaltet (vgl. FGSV, 2012). Der Straßenzustand wird innerorts in 10 bzw. 20 Meter Abschnitten erfasst und mit normierten Zustandswerten nach den „Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien zur Zustandserfassung und -bewertung von Straßen“ (ZTV ZEB-STB 06) bewertet. Diese legen technische Erfassungs- und Auswerteregeln für die messtechnische Zustandserfassung und -bewertung von

Fahrbahnen fest. Erfasst und bewertet werden Längsebenheit, Querebenheit sowie Oberflächenschäden. Aus diesen werden die Teilwerte Gebrauch und Substanz errechnet. Aus dem Maximum der beiden Teilwerte ergibt sich der Gesamtwert für den jeweiligen Abschnitt. Die Zustandswerte (ZW) reichen von eins bis fünf. Dies ermöglicht eine Einteilung in Zustandsklassen (ZK). Klasse 1 (neuwertiger Abschnitt ohne Mängel), Klasse 2 (Abschnitt mit Gebrauchsspuren), Klasse 3 (Warnwert) und Klasse 4 (Erhaltungsbedarf im Abschnitt) (vgl. FGSV, 2012).

2.2 Sanierungsmanagement Kanal

Kanalsanierungsmaßnahmen werden nicht nur zum Erhalt des Substanzwerts, dem Schutz von Gewässern oder der Betriebssicherheit durchgeführt. Auch Anforderungen, die aus dem demographischen Wandel und dem globalen Klimawandel resultieren sind inzwischen Auslöser für Kanalsanierungen. Grundsätzlich sollte ein Sanierungskonzept nach DWA-A 143-14 (2016) folgende Ziele verfolgen: technische Ziele (optische Inspektion, Dichtheitsprüfung, Materialprüfung), betriebswirtschaftliche Ziele (Vermeidung von Vermögensverzehr bzw. Ermittlung der langfristig benötigten finanziellen Mittel durch Aufstellen von Investitionsbedarfsplänen) und rechtliche Ziele (Einhaltung der rechtlichen Betriebssicherheit durch vollständiges Erfassen und Bewerten des Zustands).

Für eine fachgerechte Planung ist das Vorliegen entsprechender Grundlagendaten (Generalentwässerungsplan, Ortsentwicklungsplan, Kanalbestandsplan, Dokumentation der optischen Inspektionen sowie dessen Auswertung (Schadensermittlung)) unausweichlich. Dem geht in der Regel eine flächendeckende Schadensermittlung des Kanalnetzes zuvor. Bei der Schadensermittlung werden die festgestellten Schäden klassifiziert. Dazu wird jeder Haltung entsprechend dem höchsten Einzelschaden eine Zustandsklasse (ZK 0 bis ZK 4 nach DWA oder ZK 5 bis ZK 0 nach ISYBAU) zugewiesen und anschließend prioritätsbezogen, unter Berücksichtigung wirkender Einflüsse, in eine zeitliche Reihenfolge gebracht (vgl. UBA 2019: 39). Zusammen mit den Ergebnissen hydraulischer Berechnungen und der Zustandsbewertung wird ein Sanierungskonzept entwickelt, welches die bauliche Situation sowie die tatsächliche, aber auch zukünftige, hydraulische Belastung einschließt. Zur Abschätzung des Gefährdungspotenzials sollen Aspekte wie die Lage sowie die Abwasserart bzw. Abwasserinhaltsstoffe einbezogen werden. Rechtlich gibt es keine Sanierungsfristen. Handelt es sich allerdings um Schädigungen mit erhöhter Gefährdung des Grundwassers und Bodens durch Exfiltration oder um Schäden, in denen die Tragfähigkeit des Kanals beeinträchtigt ist (bestehende Gefahr von Rohrbrüchen und Straßeneinbrüchen), sind Sofortmaßnahmen zu ergreifen.

2.3 integriertes Sanierungsmanagement

Durch die koordinierte Erhaltungsplanung von Straßen und Entwässerungssystemen werden sowohl monetäre Kosten als auch nicht monetäre Aufwendungen eingespart. Der Hauptkostenfaktor im Kanalbau sind die Kosten der Grabung und die Wiederherstellung der Verkehrsflächen. Diese Arbeitsschritte können genutzt werden, um die Verkehrsflächen zu erhalten (vgl. Meerwarth, 1994: 112). Durch die Bündelung der beiden Sanierungsmaßnahmen können die Gesamtkosten deutlich verringert werden. Zudem werden so die Belastungen für AnwohnerInnen und NutzerInnen der Straßen minimiert, da nur einmal ein Baufeld auf der betroffenen Fläche eingerichtet werden muss (vgl. Meerwarth, 1994: 99 f.). Diese Vorgehensweise betrachtet nur den baulichen Zustand als maßnahmenauslösenden Faktor.

Bei der Erhaltung von Verkehrsflächen wie auch bei der Erhaltung des Entwässerungssystems wird die Dringlichkeit der Erhaltung einzelner Abschnitte mit Zustandsklassen bewertet. Auf diese Weise kann eine gemeinsame Matrix zur Priorisierung von Maßnahmen aufgestellt werden. Anhand der Matrix lässt sich entscheiden, welche Abschnitte innerhalb eines Bauvorhabens saniert werden sollten. Bei Abschnitten mit gutem Zustand sollte sich die Sanierung nur auf Bereiche konzentrieren, welche eine hohe Dringlichkeit aufweisen (vgl. Meerwarth, 1994). Dies hängt maßgeblich von den notwendigen Maßnahmen ab, die zur Instandhaltung oder Erneuerung der Anlagen zu ergreifen sind.

3. Faktoren zur transdisziplinäre Standortfindung

Neu am vorliegenden Ansatz ist die Einbindung weiterer planerischer und nutzungstechnischer Aspekte, wie sie u.a. Begrünung, Aufenthaltsqualität, Überflutungsproblematik oder Umfeld bezogene Kriterien darstellen. Damit ist zum einen eine gezielte Potenzialabschätzung für BGS angedacht, zum anderen eine wirtschaftlich sinnvolle Reihung von BGS-Maßnahmen möglich. Im Zuge der kosteneffizienten Erhaltung können so mehrere Probleme im Straßenraum gleichzeitig gelöst werden.

Neben den klassischen Indikatoren für die Priorisierungsmatrix zur Sanierung werden in BGS Aspekte, die den besonders durch klimatische Veränderung belasteten Straßenraum beschreiben, berücksichtigt. Geplant ist, Daten über das Mikroklima, den Baumbestand, Grünflächen, Überschwemmungen und Hitzestress in den Maßnahmenplan mit einzubeziehen. Somit werden bei der Straßenraumsanierung Abschnitte mit besonderem Handlungsbedarf verstärkt in den Fokus genommen, wodurch die Zielsetzungen aus BGS angewendet werden können. Akute Probleme, wie Überflutungsproblematiken oder Probleme im Baumbestand, können durch die entsprechende Berücksichtigung in der

Priorisierungsmatrix eine Sanierung des Straßenraums anstoßen.

3.1 Zielsetzung

Bestehende Probleme der Stadtentwicklung, wie Verkehrskonflikte, urbaner Hitzestress, Überflutungen oder Beeinträchtigungen des Straßengrüns, werden sich in naher Zukunft deutlich verstärken. Ziel der Straßenraumgestaltung ist es diesen Problemen entgegenzuwirken. So ergeben sich aus den Herausforderungen des aktuellen Straßenbildes folgende Lösungsgrundlagen.

Der Straßenraum soll grün sein. Dies beinhaltet vor allem Straßenbegleitgrün, wozu auch Fassaden- und Dachbegrünung gehören. Dies führt zu Abkühlung durch Verschattung und Verdunstung, der Luftreinigung und zudem wird die Aufenthaltsqualität erhöht. Des Weiterem muss Regenwasser durch die Infrastruktur versorgt werden können. Schmutzfracht gilt es hierzu abzutransportieren und sauberes Regenwasser vor Ort zur Bewässerung und Verdunstung zu nutzen. Dies fördert die Kühlleistung des Straßenraums und kann Überflutungen vermindern. Zudem soll ausreichend Platz für alle Verkehrsteilnehmende bestehen. Daher ist bei einer autogerechten Straßenplanung und entsprechendem Bedarf von anderen Verkehrsteilnehmende eine Flächenumverteilung die Zielvorgabe. Dies fördert den Rad- und Fußverkehr, wodurch die Umweltbelastung gesenkt und die Aufenthaltsqualität erhöht wird.

3.2 Einflussfaktoren

Um die Zielsetzungen zu erreichen, benötigt es Straßenräume, deren Potential zur Umgestaltung möglichst hoch ist. Dieses Potential wird durch die Untersuchung verschiedener Einflussfaktoren bestimmt. Neben der Erhaltungsplanung von Straße und Kanal werden weitere Begebenheiten untersucht und in der Potentialbewertung berücksichtigt (Abbildung 1: Einflussfaktoren im Priorisierungsprozess).

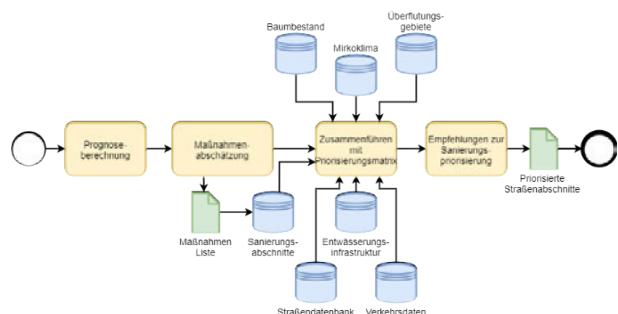


Abbildung 1: Einflussfaktoren im Priorisierungsprozess

Bei vielen Veränderungen im Straßenraum handelt es sich um Flächenumwidmungen, beispielsweise bei zusätzlichen Elementen wie Begleitgrün oder beim vergrößerten

ßern des Platzangebots für den nichtmotorisierten Verkehr. Da im städtischen Straßenbild kaum freie Flächen vorhanden sind, wird die Umwidmung von Flächen durch die Bedarfsprognose überprüft. So wird die benötigte Straßenbreite anhand von DTV und Geschwindigkeit bestimmt, wobei die Geschwindigkeit möglichst auf 30 km/h verringert werden soll. Überschreitet die aktuelle Straßenbreite den Bedarf, werden Flächen frei. Bei der Umgestaltung des Straßenraums können somit größere Effekte hinsichtlich der Zielsetzung erreicht werden.

Um den Handlungsbedarf speziell für mehr Begleitgrün zu bestimmen, wird der aktuelle Anteil der vorhandenen Grünflächen bestimmt. Je niedriger dieser Anteil ist, desto höher ist der Handlungsbedarf um den Straßenraum grüner zu gestalten. Hierzu werden die Flächen des Grünbestands bestimmt. Die Art der Bepflanzung wird dabei zunächst nicht berücksichtigt, um die Bestimmung netzweit praktikabel zu halten.

Neben dem Anteil des im Straßenraum vorhanden Begleitgrüns muss auch dessen Zustand in die Priorisierungsmatrix einfließen. Durch veränderte klimatische Bedingungen in Städten verschlechtert sich an vielen Standorten der Zustand des Begleitgrüns. Um diesen zu verbessern, oder gar zu retten, sind auch bauliche Maßnahmen notwendig. So wird der Zustand netzweit indiziert und kann somit als Faktor in der Priorisierung berücksichtigt werden.

Für den klimatisch angepassten Straßenraum ist die Nutzung und Speicherung des Regenwassers essenziell. Daher wird das Regenwassermanagement bewertet. Der Faktor bezieht sich auf den Anteil der Wassermenge. Dazu wird der Anteil der Flächen, deren Niederschlagswasser ungenutzt in den Kanal geleitet wird, bemessen. Je höher der Anteil des ungenutzten Niederschlags, desto höher der Faktor und die Priorisierung des Straßenabschnittes.

Durch vermehrt auftretende Starkregenereignisse spielt die Thematik der Überflutung eine wichtige Rolle in der Straßenraumgestaltung. Um Überflutungsschäden zu verhindern müssen oft bauliche Maßnahmen eingeleitet werden. Daher fließen als ein weiterer Faktor, der bei erhöhtem Bedarf eine Sanierung anstoßen kann, Überflutungsschwerpunkte in die Bewertung mit ein. Die Schwerpunkte werden kategorisiert betrachtet, wobei nur die schwerwiegendste Kategorie eine Sanierung anstoßen kann. Niedrigere Kategorien fließen lediglich mit in die Priorisierung der Erhaltungsmaßnahmen ein.

Neben der Evaluation von vorhandenen Elementen im Straßenraum wird auch der Bedarf an Abkühlung berücksichtigt. Straßenräume, die sich besonders in den Sommermonaten stark aufheizen, benötigen Veränderun-

gen in ihrer Gestaltung, um ihre Temperatur abzusenken. Daher werden Hitzekarten hinzugezogen. Je größer die Hitzebelastung in einem Straßenraum ist, desto höher wird die Priorisierung gesetzt.

Im Forschungsprojekt BGS wird untersucht, ob weitere Faktoren in die Priorisierung einfließen können.

4. Priorisierung der Standortfaktoren

Zur Vergleichbarkeit der Faktoren und einer Priorisierung werden die erhaltenen Werte der Einflussfaktoren indexiert. Angelehnt an die Zustandserfassung und Bewertung des Straßenbaus werden die zuvor beschriebenen Faktoren auf einer Skala von 1 bis 5 bewertet, um den IST-Zustand des Straßenraums zu quantifizieren. Die messbaren und berechenbaren Werte der Einflussfaktoren werden in fünf Kategorien festgelegt:

- 1 - kein Handlungsbedarf
- 2 - langfristiger Handlungsbedarf
- 3 - mittelfristiger Handlungsbedarf
- 4 - kurzfristiger Handlungsbedarf
- 5 - starker/sofortiger Handlungsbedarf

Die Einstufung der Werte kann je Einflussfaktor frei gewählt werden. Ziel des BGS Forschungsprojektes ist es eine Empfehlung zur Einstufung zu reichen.

Je nach Zielerreichungsgrad und politischem Willen werden die Einflussfaktoren in der abschließenden Priorisierung unterschiedlich gewichtet. So können unterschiedliche Zielvorgaben durch die Vorgehensweise abgedeckt werden. Für die Empfehlung werden die Ziele des Forschungsprojektes BlueGreenStreets angewendet. So wird ein besonderer Wert auf Wasserrückhalt und Straßenbegleitgrün gelegt. Die Verkehrsinfrastruktur wird zweitrangig betrachtet.

Neben der reinen Priorisierung der Sanierungsmaßnahmen können auch einzelne Einflussfaktoren bei einer insgesamt geringeren Priorisierung eines Standortes die Sanierung auslösen. Dies geschieht über besondere Warnwerte. Neben den Warnwerten des Straßen- und Kanalzustandes, die aus Sicherheitsgründen auftreten, werden auch starke lokale Überflutungsereignisse zu Warnwerten, da bei diesen aus Sicht des Überflutungsschutzes ebenfalls akuter Handlungsbedarf besteht.

Je nach Zielsetzung können auch extreme Hitzepunkte oder gefährdetes Begleitgrün zu einem Warnwert führen. Dies ist vor allem der Fall, wenn bestimmte finanzielle Mittel für spezielle Eingriffe freigegeben sind. Andernfalls müssen besondere Zielsetzungen über die Gewichtung der Einflussfaktoren zur entsprechenden Priorisierung der Straßenabschnitte führen.

5. Technische Umsetzung

Um netzweit den Sanierungsbedarf festzustellen und die Straßenräume zu finden, in denen das Handeln am notwendigsten ist, müssen die Daten zu den verschiedenen Einflussfaktoren verortet sein. Durch ein GIS-Tool werden die räumlichen Daten übereinandergelegt. So entstehen Flächen, die den Priorisierungsgrad aufzeigen. Dadurch können die Straßenräume gefunden werden, deren Sanierung zeitnah umgesetzt werden sollte. Zudem kann eine Sanierungsprognose für die folgenden Jahre erstellt werden. Dazu werden Verfallsprognosen aus Straßen- und Kanaldaten berechnet und einbezogen.

Die Geodatenbank beruht auf Flächen, die den Straßenraum abbilden. Diese Flächen erhalten die Priorisierungswerte der Straßen- und Kanalnetze, sowie die flächenhaft verteilten Werte der weiteren Einflussfaktoren. Durch die räumliche Überschneidung der Datensätze wird so für jeden Straßenabschnitt ein Priorisierungswert aus den Einflussfaktoren und deren Gewichtung berechnet, der die Dringlichkeit der Sanierung des Straßenraums bestimmt. Anhand des Ergebnisses können einzelne Maßnahmen im Detail abgewogen, geplant und aufeinander abgestimmt werden. So kann ein multifunktionaler Straßen-

raum geschaffen werden, der transdisziplinär auf aktuelle Entwicklungen ausgerichtet ist.

Literatur

- [1] DWA-Regelwerk (2017), Arbeitsblatt DWA-A 143-14, Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 14: Entwicklung einer Sanierungsstrategie
- [2] FGSV (2012), E EMI 2012: Empfehlung für das Erhaltungsmanagement von Innerortsstraßen No. FGSV 487, FGSV Verlag, Köln.
- [3] Meerwarth, W. (1994), Koordinierte Planung der Erneuerung städtischer Infrastrukturnetze, Schriftenreihe des Instituts für Städtebau und Landesplanung, Universität Fridericiana zu Karlsruhe, Heft 26, Institut für Städtebau und Landesplanung, Karlsruhe.
- [4] (UBA) Umweltbundesamt (2019), Leitfaden zur Sanierung von Abwasserkanalisation, verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/leitfaden-zur-sanierung-von-abwasserkanalisationen> (abgerufen am: 24.01.2020).

Ein BIM-System für das duraBAST

Dipl.-Wirt.-Ing. Christian Klöpfer

HOCHTIEF PPP Solutions GmbH, Essen, Deutschland

Dipl.-Ing. Christian Forster

HOCHTIEF ViCon GmbH, Essen, Deutschland

Zusammenfassung

Der Vortrag stellt das von der ARGE BIM2BAST entwickelte BIM-System für das Management des Betriebs auf dem Demonstrations-, Untersuchungs- und Referenzareal der BAST (duraBAST) vor. Das duraBAST zeichnet sich insbesondere dadurch aus, dass durch den ständigen Bau- und Rückbau im Rahmen von Forschungsprojekten, den Einbau verschiedenster innovativer Materialien und eine Vielzahl von verbauten Sensoren, die Planung und Dokumentation im Betrieb komplex ist. Der Vortrag gibt einen Überblick über die bei der Implementierung des Systems getroffenen Entscheidungen zu Modellierungsgrundlagen, zu den eingesetzten Technologien sowie zu den umgesetzten Anwendungsfällen. Weiterhin werden im Vortrag die Erfahrungen die beim Einsatz des Systems gesammelt werden konnten und die daraus abgeleiteten Weiterentwicklungen vorgestellt.

1. Einleitung

Im Jahr 2019 entwickelte eine ARGE bestehend aus HOCHTIEF ViCon und HOCHTIEF PPP Solutions in Zusammenarbeit mit dem Geodätischen Institut und Lehrstuhl für Bauinformatik & Geoinformationssysteme und dem Institut für Straßenwesen der RWTH Aachen University im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST) ein BIM-System für das Management des Betriebs auf dem Demonstrations-, Untersuchungs- und Referenzareal der BAST (duraBAST). Im vorliegenden Beitrag soll das System vorgestellt und über die Erfahrungen bei der Inbetriebnahme sowie beim ersten Modellupdate berichtet werden.

1.1 Das duraBAST

Das duraBAST ist ein ca. 20 Hektar großes Versuchsgelände östlich von Köln das, für die Öffentlichkeit nicht zugänglich, im Autobahnkreuz Köln-Ost gelegen ist. Es erstreckt sich parallel zur BAB A 3 auf einer Länge von ca. 900 m und gliedert sich in Referenz-, Untersuchungs-, Park-, Bewirtschaftungs- und Grünflächen

Auf den Abschnitten der Referenzstrecke erfolgt vorrangig die Kalibrierung und Betriebszulassung von Messfahrzeugen und Messgeräten zur Beurteilung der Quer- und Längsebenheit und des Oberflächenbildes im Rahmen der ZEB.

Die Flächen für Demonstrations- und Untersuchungsprojekte (D- und U Flächen) sollen für straßenbautechnische Fragestellungen (z. B. neue Bindemittel, Recyclingbaustoffe, innovative Deckschichten und Straßenkonstruktionen) und messtechnische Fragestellungen (z. B. Sensorik im Straßenaufbau) großmaßstäblich zur Verfügung stehen (Einbau und ggf. Beprobung bzw. Messung) und können von Interessenten aus Industrie, Forschung und Verwaltung genutzt werden.

Während die R-Flächen sich in Zukunft nicht wesentlich ändern werden, bleiben von den D- und U Flächen nur Teile als Demonstratoren dauerhaft erhalten. Weitere Flächen werden nach Abschluss der Untersuchungen wieder ausgebaut und für neue Untersuchungen freigegeben. Hierdurch wird eine regelmäßige Anpassung des BIM-Modells notwendig.

1.2 Aufgabenstellung

Die Aufgabenstellung für die ARGE war es, ein BIM-System des duraBAST zu erstellen, um alle Verkehrsflächen inkl. des gesamten Straßenaufbaus, der Ingenieurbauwerke sowie der Ausstattung (Einbauten, Sensorik, Leitungen, Sicherheitsausstattung, Zäune etc.) verwalten zu können.

Mit dem System sollen die Aktivitäten auf dem Gelände in den Bereichen Planung, bautechnische Umsetzung und Betrieb über den gesamten Lebenszyklus des dura-

BAST mittels eines dreidimensionalen Modells effizient und ohne Redundanzen geplant und begleitet werden. Weiterhin soll das die Anschaulichkeit des duraBAST, z.B. für Präsentationen, Planungsprozesse und Koordinierungstätigkeiten erhöhen und als Grundlage für die dokumentierte Rückgabe des Geländes nach Ablauf der Nutzungszeit in ferner Zukunft an den Baulastträger dienen. Zur Gewährleistung der langfristigen Aktualität und Funktionalität des Systems beinhaltet der Auftrag an die ARGE eine 10-jährige Modellpflege.

2. Umsetzung

2.1 Modellierung

Die Umsetzung der Aufgabenstellung erfolgte in enger Abstimmung zwischen den Parteien so dass eine anforderungsgerechte und performante Modellierung gewährleistet werden konnte.

Als Autorensystem wurde Autodesk Revit 2019 eingesetzt, außerdem kamen auch Autodesk Navisworks Manage 2019 und Ceapoint DESITE MD 2.3 zur Anwendung.

Eine Grundanforderung war, dass im Zeitverlauf wechselnde Geometrien und Nutzungen insbesondere im Bereich der D- und U-Flächen einfach und effizient zu planen und zu aktualisieren sein sollten. Hierfür wurde die Modellierung mittels eines fahrstreifenbezogenen Rasters entlang einer Bezugsachse gewählt, wobei das Raster im Bereich der D- und U-Flächen zur engmaschiger gewählt wurde als in den übrigen Bereichen.

Bezüglich des geometrischen Fertigstellungsgrades (LOG) wurden die folgenden Vereinfachungen getroffen:

- Lärmschutzwände werden vereinfacht mit den realen Abmessungen modelliert.
- Der Fahrbahnaufbau wird nicht getrennt modelliert, sondern nur in einer Schicht. Die Schichtinformationen werden als Datenelemente modelliert.
- Wechselnde Querneigungen werden im Modell nicht berücksichtigt. Die Fahrbahn wird mit einer einheitlichen Neigung dargestellt.

2.2 Use-Cases

Sensorverwaltung: Die Versuchsflächen in den D- und U- Teilen des duraBAST werden projektbezogen mit Sensoren ausgestattet. In verschiedenen Tiefen und an verschiedenen, klar definierten Positionen, werden in der Regel Temperatur-, Druckspannungs-, und Dehnungssensoren eingebaut. Auch Beschleunigungsaufnehmer,

faseroptische Sensoren oder projektspezifisch konfigurierte Sensoren kommen zum Einsatz. In Summe werden pro Versuchsfläche in der Regel mindestens 60 Sensoren verbaut. Projekte mit über 200 Sensoren wurden auch schon realisiert.

Die Lage der Sensoren wird vor dem Einbau definiert und beim Einbau dokumentiert. Erforderlichenfalls erfolgt danach eine Überprüfung der Lage durch beispielsweise Georadarmessungen. Somit kann gewährleistet werden, dass die aufgenommenen projektspezifischen Daten stets reproduzierbar der genauen Position des Sensors in der Versuchsfläche zugeordnet werden können.

Zu einem geschlossenen Versuchsprogramm gehören üblicherweise die Entnahmen von Bohrkernen zu verschiedenen Zeitpunkten sowie der teilweise und vollständige Rückbau der Versuchsflächen. Für alle Fälle ist die eindeutige und transparente Darstellung der Lage der Sensoren von Wichtigkeit, damit beispielsweise bei der Bohrkernentnahme keine Kabel unabsichtlich durchtrennt werden.

Durch das BIM-System ist es möglich diese Information für alle Projektphasen und vor allem durch alle Projektbeteiligten zu nutzen indem sich für jeden Zeitpunkt die Lage der Sensoren im Raster darstellen lässt.

Versuchsverwaltung und Fotodokumentation: Forschungsprojekte auf den Versuchsflächen der D- und U- Teile des duraBAST setzen während der Versuchsplanung und -durchführung sowie der nachgelagerten Datenaufbereitung eine kontinuierliche Verfügbarkeit von Daten, in gleichbleibend hoher Qualität voraus. Eine besondere Herausforderung stellen dabei großmaßstäbliche Versuchsreihen mit Laufzeiten über mehrere Monate und evtl. auch Jahre dar.

Die Dokumentation erfolgte bislang in einzelnen Messdateien, die durch eindeutige Dateibezeichnungen und die Nennung von Messzeitpunkten zugeordnet werden können. Bei der Umsetzung des BIM-Systems bestand der Wunsch, alle Messdaten nach Ort Zeit und Versuch sortiert darstellen zu können. Zudem sollte eine eindeutige Projekt- und somit Lagezuordnung möglich sein.

Aufgrund der unterschiedlichen Datenquellen und der damit verbundenen Rohdatenformate, wurde ein einfaches und anpassbares Layout zur Datenintegration gewählt, welches auf dem Microsoft Excel Dateiformat beruht. Hierdurch wird erreicht, dass die Datenbereitstellung und -pflege an quasi jedem Arbeitsplatz ausgeführt werden kann. Über die PBS erfolgt anschließend die automatisierte Verknüpfung mit allen Daten innerhalb des BIM-Systems.

Die Datenanzeige im BIM-System erfolgt derart, dass über die Selektion von Ort, Zeit oder Projekt die ge-

wünschten Messdaten angezeigt werden können. Hiermit ist eine einfache und eindeutige Vorselektion der Daten möglich. Des Weiteren besteht so auch die wichtige Möglichkeit Beurteilungen im Kontext zu den weiteren Datenquellen anhand rein visueller Betrachtungen zu treffen. Die weitere Bearbeitung der Daten erfolgt dann anschließend in anderen Softwareumgebungen, bzw. in den Ursprungsdateien.

Die Zuordnung von Versuchen zu Forschungsprojekten kann entweder über die Fläche oder über die Zeitleiste gefiltert werden

Sehr ähnliche Herausforderungen ergeben sich bei der Fotodokumentation von Projekten in allen Projektphasen. Fotos, egal aus welcher Quelle, können im vorliegenden Fall geo- und zeitreferenziert sowie mit Beschreibungstext im BIM-System eingepflegt werden.

3. Erfahrungen in der Anwendung und Ausblick

Die Aufgabenstellung konnte durch die ARGE komplett umgesetzt werden. Erste Erfahrungen in der Praxisanwendung zeigten allerdings, dass der Detaillierungsgrad der Ausschreibung nicht ausreichend war. Durch die enge und intensive Projektzusammenarbeit wurden die Probleme schnell identifiziert, Lösungsmöglichkeiten gefunden und umgesetzt.

Als Beispiel sei die Einteilung der duraBAST-Flächen in Teilflächen und Flächenelemente genannt. Im Rahmen des Projektes, vor der Erstellung des BIM-Systems, wurde die Rasterlänge für die D- und U-Flächen abgestimmt. Rasterlängen von 50 cm wurden dabei als ausreichend genau zur Zuordnung von Bohrkernentnahmen und Sensorpositionen identifiziert. Die Breite eines jeden Rasterelements wurde dabei als konstant über die jeweilige Einbaufläche definiert. Während der Inbetriebnahme des BIM-Systems fielen dann bei der Erfassung der Projekte solche auf, bei denen nicht die gesamte Breite der Einbaufläche genutzt wurde und solche, bei denen die Einbaubreite über die Länge wechselt. Hierdurch ergaben sich dann bei Annahme konstanter Breiten falsche Ergebnisse bei der Mengenermittlung. Dieses Problem konnte mit einem zusätzlichen Breitenfaktor, der nun individuell für jedes Projekt angepasst wird, behoben werden. Dieser Faktor gibt an, wie viel Prozent der hinterlegten Fläche für den Einbau der neuen Versuchsfläche tatsächlich benutzt wird.

Weiterhin wurde das BIM-System zunächst aus verfahrenstechnischen Gründen beim Auftragnehmer als Stand-Alone Lösung implementiert. In den nächsten Implementierungsschritten sind daher Strukturen für die vernetzte Anwendung, auch vor Ort, zu schaffen.

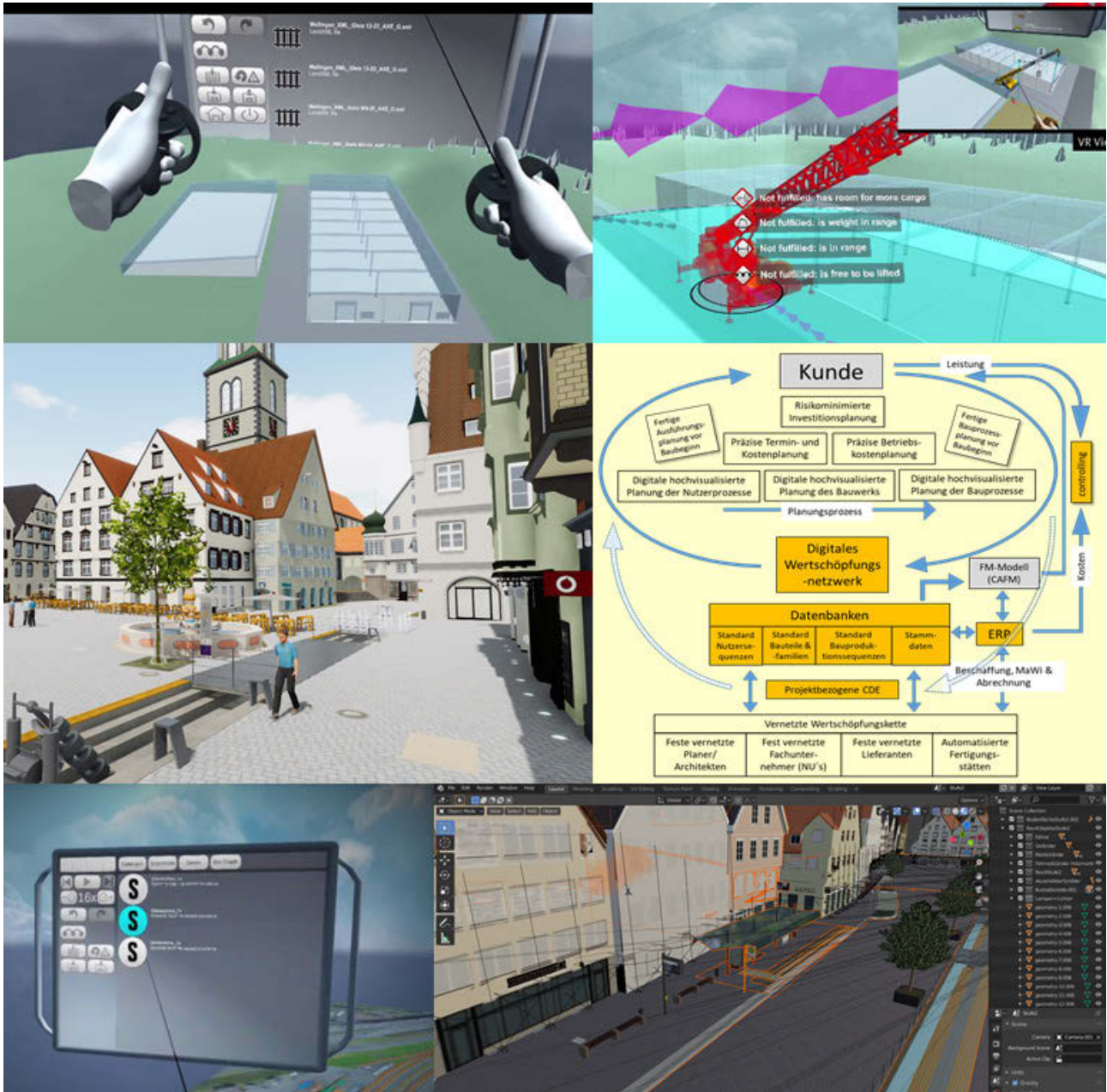
Da das Modellupdate zum Redaktionsschluss noch nicht vollständig abgeschlossen war, enthält der Vortrag über die hier genannten Punkte hinausgehende Informationen.



**Digitalisierungs-
potenziale**

Was kommt nach 5D? Digitalisierung über den Lebenszyklus

Prof. Dr. Christof Gipperich
Hochschule Biberach



1. Einleitung

Obwohl vor dem Hintergrund des Stufenplans der Bundesregierung zu Building Information Modeling (BIM) eine breite Einführung der Technologie ab 2021 im Straßenbau zu erwarten wäre, müssen wir feststellen, dass der Straßenbau, insbesondere der kommunale Straßenbau, anderen Bereichen der Baubranche deutlich hinterher hängt.

Die bestehenden Hindernisse lassen sich in technologische Aspekte und strukturelle Aspekte aufteilen. Technologisch betrachtet sind die gebräuchlichen CAD-Softwareprodukte wenig intuitiv. Die Softwareanwendungen hinken dem Entwicklungsstand des Hochbaus hinterher. Softwarearchitekturen oder geschlossene Softwarelösungen, mit denen die notwendigen Anwendungsfälle im Straßenbau wirklich störungsfrei und für den Planer wirklich komfortabel abgedeckt werden können, sind am

Markt z. Z. nicht zu finden. Zudem stehen viel zu wenig frei im Netz verfügbare Bauteile und Baugruppen zur Verfügung.

Die strukturellen Hürden erscheinen jedoch deutlich höher. Hintergrund sind die i.d.R. jahrelangen, nicht selten sogar jahrzehntelangen Vorlaufzeiten der Projekte. Die Planungen sind mit Technologien aufgesetzt, die Jahrzehnte alt sind und kaum Bezug zur BIM-Denke aufweisen. Gleiches müssen wir leider auch für die Prozesse feststellen, in denen die Strukturen der Bauherren, der Fachplaner und der ausführenden Unternehmen denken und arbeiten, u.a. der mangelhafte Wille zur Vernetzung zum Wissensaustausch (die eigentlichen Treiber der Digitalisierung) und zur Innovation. Oft fehlen das Streben und der Wille, dass Machbare umzusetzen, sich auf neues Terrain zu wagen, Geübtes und Gewohntes fallen zu lassen und Neues zu wagen.

Die Vergaberichtlinien der öffentlichen Hand und deren Handhabung in der Praxis sind hier das Paradebeispiel. Die VOB/A steht in krassem Kontrast zur kollaborativen Arbeitsmethodik nach BIM. Die haushaltsrechtlich begründeten kleinteiligen Vergaben von Planungs- und Bauleistungen widersprechen den in der BIM-Methode geforderten und produktivitätserhöhenden ganzheitlichen Lebenszyklus- und Wertschöpfungskettenbetrachtungen.

Allerdings ist auch festzustellen, dass bei den Softwareprodukten aktuell große Fortschritte gemacht werden und eine 5D-Anwendung im Straßenbau, mit ein paar Einschränkungen, zumindest kein unüberwindliches technologisches Problem mehr darstellt. Das haben wir an der Hochschule Biberach im Rahmen einer Semestergruppenarbeit (Bachelor 7. Semester) analysiert, in der insgesamt 23 Programme der Kategorien CAD, Terminplanung, Kostenplanung, Modelchecker /5D Baumanagement, Visualisierung und Simulation getestet in einer agilen Matrix bewertet wurden. Unten dargestellt ist eine Softwarearchitektur, welche auf der Basis der verbreiteten CAD-Anwendung card1 hin zu einer BIM-5D-Lösung eingesetzt werden könnte und sich aus Sicht der Hochschule als eine praxistaugliche Lösung darstellt.

Andere Lösungsansätze für eine BIM 5D Softwarearchitektur sind je nach Gewichtung der unterschiedlichen Vor- und Nachteile sinnvoll, wobei sich als größter Kritikpunkt die Fehleranfälligkeit und der Informationsverlust bei der Datenübergabe, vor allem aber der notwendige Arbeitsaufwand zur Datenübergabe bei s.g. „open BIM“-Lösungen herauskristallisiert. Hier sind geschlossene Lösungen, s.g. „closed BIM“-Lösungen derzeit anwendungsfreundlicher, auch wenn diese Entwicklung aus marktwirtschaftlicher Sicht ausgesprochen kritisch zu betrachten ist, im Trend möglicherweise aber gar nicht mehr zu stoppen ist.

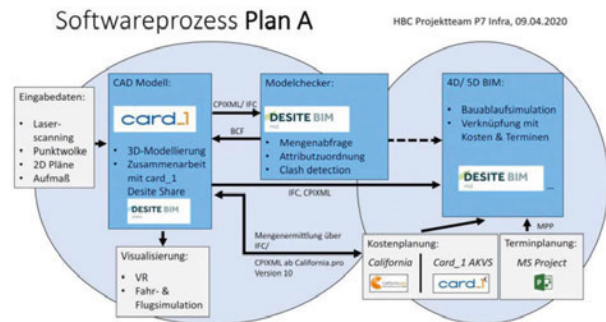


Abbildung 1: Beispielhafte BIM 5D Softwarearchitektur (Hochschule Biberach)

Die Erzeugung und Nutzung von digitalen Bauwerksmodellen nimmt also auch im Straßenbau langsam aber sicher Fahrt auf. Die exemplarisch aufgeführten Hindernisse werden in den nächsten Jahren überwunden werden, wahrscheinlich schneller als wir erwarten. Die Mühen mahlen zwar langsam, aber die Zeit ist jetzt reif.

Wesentlicher Treiber wird vermutlich der Fachkräftemangel und die demografische Entwicklung bei den Bauingenieuren sein, die national betrachtet und auf Sicht gar nicht mehr beeinflussbar ist. Immer mehr Infrastruktur, denken Sie an die notwendigen Erneuerungsarbeiten, an den Ausbau der digitalen Infrastruktur oder die Energiewende, muss mit immer weniger und immer älteren Ingenieuren geschaffen werden. Junge Ingenieure zieht es übrigens schon seit Jahren in den Hochbau. Davon kann ich authentisch von der Hochschule berichten. Denn im Hochbau geht zunehmend die „digitale Post“ ab, es entstehen moderne und zeitgemäße Arbeitsplätze, die immer weniger mit Maßstab, Massen ziehen und Aufmaßblättern zu tun haben. BIM 5D im aktuellen Verständnis (dreidimensionale CAD-Daten erweitert und Termin und Kosteninformationen) wird zunehmend Standard sein.

2. Was kommt nach BIM 5D? Der Beginn einer spannenden Reise

Mit der Planung und der Erstellung von 5D-Modellen als digitaler Zwilling sind wir aber erst am Anfang einer zunehmend dynamischen Entwicklung.

Denn der Bau und der Unterhalt/Betrieb sind bisher kaum von der Digitalisierung erfasst, obwohl sie oft mehr als 90 % der Wertschöpfung im Lebenszyklus ausmachen. Im Umfeld der Hochschule Biberach arbeiten wir mit Lösungsansätzen, die weit über CAD-Lösungen hinausgehen und sich u.a. aus Kollaborationen mit der Gaming-Industrie ergeben.

2.1 Beispiel 1: Digitale Bürgerbeteiligung

Immer wieder kommt es zu politischen Diskursen und Widerständen gegen Infrastrukturprojekte. Ein Grund ist die nicht funktionierende Einbeziehung der Bürger in den Beteiligungsprozessen. Denn der Großteil der Bür-

ger kann sich die Planungen und die damit verbundenen Vor- oder Nachteile der Projekte nicht oder nur schwer vorstellen.

14 Masterstudierende der Hochschule Biberach haben im Sommersemester 2020 einen Prototyp einer digitalen Bürgerbeteiligung am Beispiel Marktplatz Biberach erarbeitet.



Abbildung 2: Marktplatz Biberach real (Stadt Biberach) und virtuell (Hochschule Biberach)

Hintergrund ist die durchaus kontroverse Diskussion über einen autofreien Marktplatz, der sicherlich aus umweltpolitischen Gründen beachtenswert ist und bei vielen Bürgern auf Wohlwollen stößt, weil damit der Marktplatz an Freizeit- und Erlebniswert gewinnt. Dementgegen stehen aber durchaus ebenfalls ernst zu nehmende Befürchtungen der Einzelhändler, dass ein autofreier Marktplatz ohne Parkraum unmittelbar vor den Geschäften die Umsätze der Einzelhändler negativ beeinflussen kann. Aus wissenschaftlicher Sicht ist es heute nicht möglich, eine eindeutige Bewertung der Vor- und Nachteile vorzunehmen. Das ist und bleibt eine politische und damit demokratisch zu legitimierende Entscheidung.

Dabei haben sich die Studierenden im Projekt verschiedenster Technologien bedient u.a. aus der Gaming-Welt.

- Zunächst wurde der Marktplatz photogrammetrisch aufgenommen.
- Anschließend wurden drei Mobilitätskonzepte für den Marktplatz erarbeitet und die notwendigen baulichen Maßnahmen in CAD mit verschiedenen Softwareprodukten modelliert.
- Das photogrammetrische Modell und die CAD-Modelle wurden durch das Unternehmen LocLab aus Darmstadt in einem s.g. „Player“ zusammengeführt.



Abbildung 3: Marktplatz Biberach CAD Anwendung Blender (Hochschule Biberach)

Die Bürger können nunmehr ihren Marktplatz mit den unterschiedlichen Mobilitätskonzepten in einem Gaming-Umfeld virtuell bemustern, also mit sehr hoher Immersion im virtuellen Raum über den Marktplatz spazieren und dabei zwischen den o.g. Konzepten jederzeit umschalten.



Abbildung 4: Mobilitätskonzepte Marktplatz Biberach (Hochschule Biberach)

„Sahnehäubchen“ ist ein Konfigurator, mit dem sich der Bürger im Player seinen individuell gestalteten Favoriten bauen kann. Die Software wurde durch die Studierenden zudem bereits so vorbereitet, dass interessierte Bürger ihre favorisierte Marktplatzgestaltung per E-Mail hochladen können und so eine digital gestützte Bürgerbefragung möglich wird.

Über den QR-Code in Abbildung 5 bzw. über den Link kommen Sie zur Homepage der Hochschule Biberach und können den Player downloaden, eine auch über

Smartphone nutzbare Browseranwendung nutzen oder vorbereitete virtuelle Rundgänge streamen.



<https://www.hochschule-biberach.de/digitaler-marktplatz>

Abbildung 5: QR-Code und Link zum Player „Digitaler Marktplatz“ (Hochschule Biberach)

2.2 Beispiel 2: Bauprozess- und Betriebsplanung

Der Bau und der Unterhalt/Betrieb sind bisher kaum von der Digitalisierung unter dem Synonym „BIM“ erfasst, obwohl sie i.d.R. mehr als 90 % der Wertschöpfung im Lebenszyklus ausmachen.

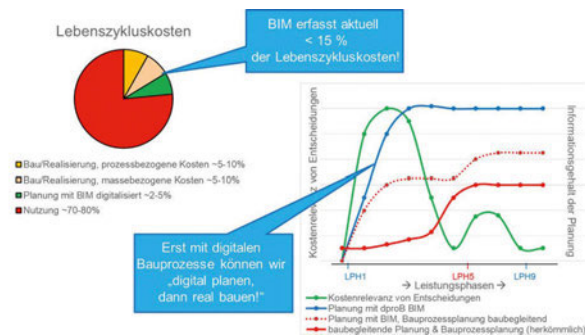


Abbildung 6: BIM und Lebenszykluskosten (eigene Darstellung)

Beschränken wir uns nur auf die Produktion eines Bauwerkes, also das Planen Bauen, kommen wir zu dem Ergebnis, dass auch hier der maßgebliche Teil der Wertschöpfung durch BIM nicht erfasst wird. Denn bei BIM geht es um das Planen. Die eigentliche Kernkompetenz der Bauunternehmen, die Bauproduktion oder besser die Bauprozesse, werden zurzeit noch nicht abgebildet. Das mag auch der Grund sein, warum sich BIM gerade bei den Bauunternehmen so schleppend durchsetzt.

Aktuell ist BIM keine wirkliche 5D-Planung, weil die Bauprozesse nicht digital geplant werden. Digital er-

mittelte Massen werden mit analogen s.g. „Aufwandswerten“ in Kalkulation und Terminplanung vermischt. Deshalb kann BIM aktuell auch nur die „halbe Wahrheit“ bei den Baukosten, nämlich die massebezogenen Kosten digital und mit zeitgemäßer Genauigkeit erfassen. In der nachfolgenden Graphik sind die wirklich digital ermittelten Kosten- und Terminanteile grün dargestellt, die herkömmlich analog mit Schätz- und Erfahrungswerten ermittelten Anteile in orange dargestellt.

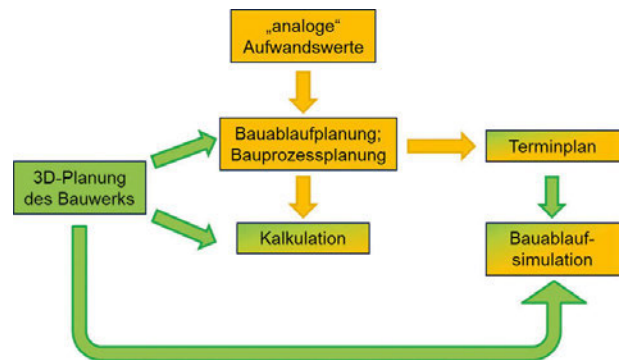


Abbildung 7: Herkömmliches BIM-5D. Digital und analog ermittelte Kosten und Terminanteile (eigene Darstellung)

Soweit wir s.g. Simulationen in verschiedenen Softwareprodukten sehen, handelt es sich durchweg um händisch erzeugte Verknüpfungen von herkömmlich erzeugten Balkenplänen mit dem Bauwerksmodell, also um Visualisierungen des Terminplans oder nachträglich ebenfalls auf der Basis von Balkenplänen oder den s.g. Phasenplänen erzeugte Videos. Die Planungsumgebung der Bauprozessplanung ist herkömmlich aber immer analog. In einem hochschulnahen Startup wird z.Z. eine Software entwickelt, die eine ganz neuartige intuitive und interaktive Bauprozessplanung ermöglicht und sich dabei wiederum auf Werkzeuge der Gaming Industrie abstützt.

Ausgangsbasis der Planungen ist immer das digitale Bauwerksmodell, d.h. die Bauprozessplanung ist wie alles bei BIM objektorientiert. Das Model wird zusammen mit Umgebungsdaten in die Software geladen, die Gamer bezeichnen das als „in die Welt holen“ und meinen damit ihre virtuelle Welt. Für etwas ältere Semester entsteht dadurch so etwas wie ein digitaler Sandkasten, in dem wir virtuell solange mit Baugeräten etc. spielen können, bis wir den richtigen Bauablauf und Bauprozess gefunden haben. Wir planen also tatsächlich erst, bevor wir bauen.

Ist der BIM-Sandkasten betriebsbereit, wird zunächst die Baureihenfolge festgelegt. Das ist die herkömmliche Bauablaufplanung, die wir aus der Balkenplanerstellung kennen. Allerdings machen wir das in der Prozessplanung Bau vorzugsweise mit VR und Controller. In Abbildung 9 finden sich zwei Videolinks, die die Bauablaufplanung und die Bauprozessplanung zeigen.

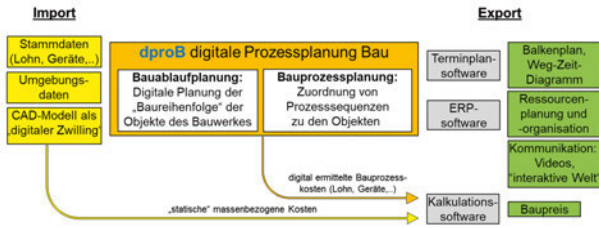


Abbildung 8: Workflow digitale Prozessplanung Bau am Beispiel der Software dproB (Building Information Innovator GmbH)

In der Bauprozessplanung bauen wir jetzt tatsächlich. Wir positionieren Geräte, lassen sie fahren und drehen, führen Hubprozesse durch, Laden und Entladen u.v.a.m. Je nach Anwendungsfall (rail, road ...) müssen heute noch unterschiedliche Geräte konfiguriert werden, weil die Gerätehersteller i.d.R. noch keine digitalen Modelle der Baugeräte bereitstellen. Auch das ist hoffentlich nur noch eine Frage der Zeit. Mit dieser Bauprozessplanung erkennen wir zum einen die „Baubarkeit“ von bestimmten Bauwerken bzw. die dazu notwendigen Aufwendungen (denken Sie an komplexe innerstädtische Infrastruktur) und erkennen, wie verschiedene Bauprozesse ineinandergreifen (denken sie an die letzten Wochen eines komplexen Hochbaus).

Vor allem gelingt es uns mit der digitalen Prozessplanung Bau endlich ein Verständnis für den vollständigen Bauprozess zu gewinnen und damit für Termine und Baukosten. Denn sind wir einmal ehrlich: Bei etwas komplexeren Baustellen kommen wir schlicht an die Kapazitätsgrenzen unseres Gehirns, weil uns die Abspeicherungsmöglichkeiten und resultierend auch die Kommunikationsmedien fehlen. Haben Sie sich einmal den Bauprozess einer fünfjährigen innerstädtischen Tunnelbaustelle von Ihrem erfahrenen Arbeitsvorbereiter und Terminplaner im Detail erläutern lassen? Wenn Sie nach einem halben anstrengenden Tag verstanden haben, wie das nächste halbe Jahr im groben nach den Vorstellungen des Planers abläuft, können sie sich auf die Schulter klopfen. Die gleichen Bauprozesse wie der Planer haben Sie dabei noch lange nicht im Kopf.



Abbildung 9: digitale Bauablaufplanung und Bauprozessplanung (Building Information Innovator GmbH)

Neben dem Vorteil der immersiven digitalen Planung und Kommunikation ergeben sich die maßgeblichen Wirtschaftlichkeitseffekte durch Produktivitätszuwächse, in dem wir den Gedanken der Planung mit BIM auf die Bauproduktionsplanung übertragen. Auch wenn viele Architekten und Bauingenieure noch darauf schwören, dass es sich bei Bauwerken um die s.g. Losgröße 1 handeln muss, also immer wieder besonders speziell an die Bedürfnisse des Bauherrn angepasste Einzelfertigungen, so wissen wir doch aus der Realität des digitalen Planens, dass wir uns über copy and paste, so gut es möglich ist, aus „Altplanungen“ bedienen (so wie wir in Word auch nicht immer wieder neu schreiben), wo es geht Objekte oder Bauteilfamilien aus dem Netz oder dem firmeneigenen Server laden u.v.a.m., um den Planungsaufwand zu reduzieren und Performance zu bekommen. Erst das macht die digitale Planung gegenüber der herkömmlichen Planung effektiv. Das führt aber zwangsläufig auch zu gewissen Standardisierungen.

hochproduktive Geschäftsprozesse basierend auf standardisierten Objekten und Prozessen		
Bauwerksplanung (objektorientiert, standardisiert) digitales Modell	Baublaufplanung (objektorientiert) gamingorientiert „in der Welt“ und im Balkenplan	Bauprozessplanung (objektorientiert); gamingorientiert „in der Welt“
Standardisierte Baugruppen aus standardisierten Objekten	Standardisierte Bauabläufe für Baugruppen	Standardisierte Bauprozesse für Baugruppen
Standardisierte Objekte		Standardisierte Sequenzen

Abbildung 10: Standardisierung von Bauwerksplanungen, Bauabläufen und Bau-prozessen (eigene Darstellung)

Deshalb basieren wie die Bauwerksplanung auch die Bauabläufe und Bauprozesse möglichst weitgehend auf digital hinterlegten objektorientierten Standards, den s.g. Sequenzen. So kann u.a. das Wissen der Baufirmen zum ersten Mal digital gespeichert werden. Erfahrene Baufachleute können Ihr Wissen digital archivieren. Standardisierte digitale erfasste Prozesse öffnen zudem die Möglichkeit eines effektiven KVP-Prozesses, weil immer nur die sich am besten in der Praxis bewährte Sequenz digital in einer Datenbank archiviert ist.

Viele Erfahrungen aus anderen Branchen (denken Sie an die Plattformtechnologie beim Automobilbau) zeigen, dass die Standardisierung und Digitalisierung der Bauplanungen, der Bauabläufe und Bauprozesse die entscheidende Grundlage für eine effektive Vernetzung von Wertschöpfungsketten und damit verbundenen sprunghaften Produktivitätssteigerungen ist. Für den Bau zeigen das einige inzwischen verfügbare Studien z.B. von McKinsey auf.

Gemeinsam mit verschiedenen Industriepartnern als Early Adopter wurde bereits ein s.g. „Stable MVP“ zur

Erstellung von Prozesssequenzen für einen bestimmten Anwendungsfall programmiert und begonnen in die Softwarelandschaft zu integrieren. Im Rahmen der Optimierung der digitalen Bauablaufplanung wird eine Verbindung zum Lean Management untersucht („digital Lean“) und die Weiterentwicklung zahlreicher Funktionen, UI's, dem Softwarekern und spezielle Anwendungsfälle der Industriepartner vorangetrieben. Dabei wird das Prinzip des Lean-Startup verfolgt.

3. Das digitale Wertschöpfungsnetzwerk

In zahlreichen Veröffentlichungen und Vorträgen wird die praktisch nicht vorhandene Produktivitätserhöhung der Baubranche in den letzten Jahrzehnten thematisiert. Betrachten wir allein die technologischen Weiterentwicklungen der letzten Jahrzehnte auf den Baustellen und vergleichen diese z.B. mit der Maschinen- und Elektroindustrie oder gar der IT-Technologie, ist diese Aussage schnell qualitativ nachgewiesen und begreifbar. Diese zugegeben sehr niedrig liegende Ausgangsbasis hat wiederum einen Vorteil, nämlich ein riesiges Potential auch für Sprunginnovationen, wenn wir uns die Technik und Arbeitsweisen anderer Branchen schnell und effektiv zu nutzen machen. Irgendein Marktteilnehmer wird dieses Potential früher oder später heben, spätestens im nächsten Konjunkturzyklus. Für die im Markt befindlichen Unternehmen ergibt sich dann aber die Notwendigkeit und/oder Machbarkeit von Innovationssprüngen mit mehreren Zehnprozent Produktivitätszuwachs. Konventionelle Innovationsprozesse reichen nicht.

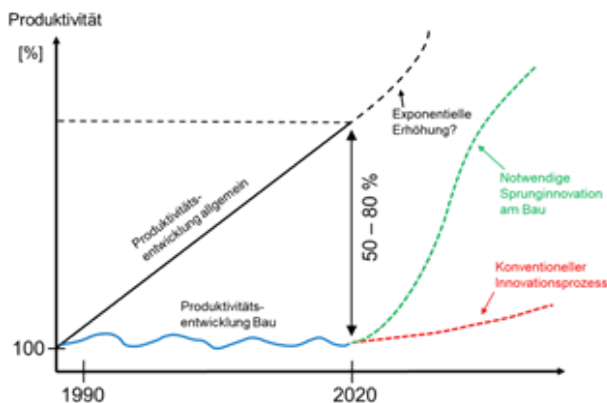
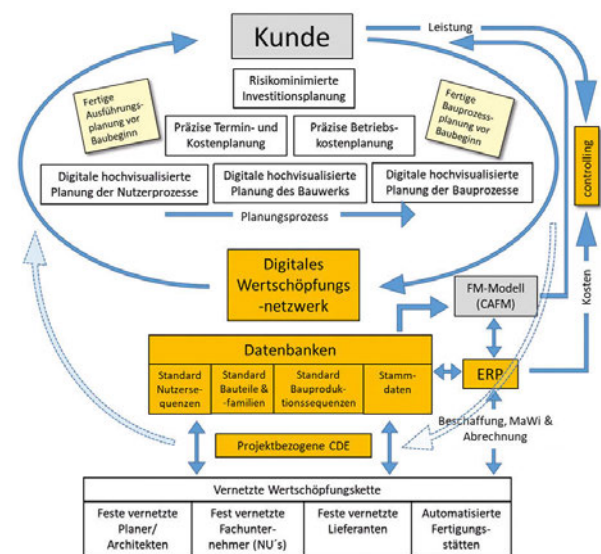


Abbildung 11: Potential zu Sprunginnovationen in der Baubranche (eigene Darstellung)

Dazu müssen wir lernen, die Wertschöpfung als Ganzes zu betrachten, uns zu vernetzen, unser Wissen zu teilen und unsere Kräfte zu bündeln. Erst mit dem dafür notwendigen Kulturwandel in unserer Branche können wir die Produktivitätsvorteile aus der technischen Entwicklung hebeln und die geforderten Innovationssprünge erreichen.

An der Hochschule Biberach haben wir, basierend auf der wegweisenden Bachelorarbeit von Herrn Patrick Theis aus dem Wintersemester 19/20, den Begriff des „digitalen Wertschöpfungsnetzwerks“ geprägt und beschrieben. Das digitale Wertschöpfungsnetzwerk beschreibt die projektunabhängige vollständige digitale Vernetzung aller an der Wertschöpfung beteiligten Stakeholder über den gesamten Lebenszyklus. Digital verfügbare Standards der Bauwerke, Bau- und Betriebsprozesse erhöhen die Produktivität und Innovationskraft. Durch einen transparenten, risikominimierten, nutzerorientierten, kollaborativen und digital gestützten Planungs- und Bauprozess werden partnerschaftliche Vertragsmodelle mit den Kunden/Nutzern ermöglicht und Vertrauen aufgebaut. Die heutigen Möglichkeiten der Digitalisierung schaffen dafür endlich die geeignete technologische Basis.



Eigene Darstellung nach: Produktivitätserhöhung im Bauwesen: Kann Industrie 4.0 dabei helfen? Bachelorarbeit Hochschule Biberach Wintersemester 2019/20, Patrick Theis, Datengrundlage MGI (2017): Reinvesting construction-A route-to-higher-productivity-Full-report, In: McKinseyGlobal Institute.

Abbildung 12: Digitales Wertschöpfungsnetzwerk (Hochschule Biberach 2020)

Virtuelle Technologien in der Praxis

Effizienter Einsatz von Augmented Reality für Infrastrukturprojekte

Kemal Gider

CDM Tech GmbH

Auberlenstr. 13

70736 Fellbach

kemal.gider@cdmtech.de

+40 1715102250

Zusammenfassung Vortrag

Agile Prozesse, eine schnell voranschreitende Digitalisierung und steigende Ansprüche an eine frühzeitige Partizipation von unterschiedlichen Stakeholdern bei Infrastrukturprojekten stellen komplexe Herausforderungen an die moderne Straßenverkehrsinfrastruktur. Der Einsatz virtueller Technologien bietet hier neue Möglichkeiten der 3D-Visualisierung, die am Praxisbeispiel des Großbauprojekts „Stuttgart 21“ dargestellt werden. Kemal Gider, Director Sales der CDM Tech GmbH, zeigt unter anderem wie sich Architekturmodelle mittels Augmented Reality (AR) realitätsnah erweitern lassen, wie eine digitale Vernetzung von Plänen ermöglicht wird, wie mittels AR ein IST-SOLL Abgleich der Baulayouts durchgeführt wird und welche Möglichkeiten für eine Remote-Bauabnahme mittels AR bereits heute bestehen. Zusätzlich wird der Vortrag mit der Präsentation von Partizipationsmodellen mittels virtueller Technologien in Extended Reality und deren Vorteil für eine frühzeitige Einbindung in der Planungs- und Bauphase dargestellt.

Ziel des Vortrags ist es praxisnah aufzuzeigen, wie sich virtuelle Technologien für Bauprojekte in der Straßenverkehrsinfrastruktur einsetzen und nutzen lassen. Dabei geht der Autor auch auf konkrete Vorteile hinsichtlich Ressourceneinsparungen und eine integrierte Nutzung über den gesamten Lebenszyklus der Bauplanung ein.

Welche Möglichkeiten bietet die Digitalisierung im Straßenbau!

Dieter Licht

m.i.k. IT GmbH, IT-/Prozesslösungen für Bau- und Asphaltindustrie



Müssen wir uns in der heutigen Zeit noch fragen, ob Digitalisierung benötigt wird? Wer diese Frage stellt, gehört zu den Verlierern in der Zukunft.

Gerade unter den Einflüssen von „Corona“, sollte das Thema Digitalisierung in allen Unternehmen in den Focus rücken.

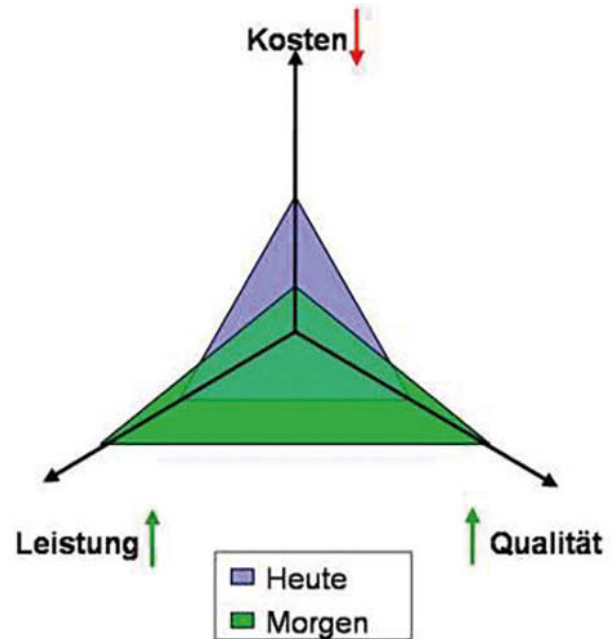
Wer sich mit Digitalisierung beschäftigt, sollte dies nicht nebenbei machen, sondern ein Konzept haben, das folgende Fragen beantwortet:

- Was will/kann ich digitalisieren?
- Welche Ressourcen stehen mir zur Verfügung?
- Mit welchen Prozessen fange ich an?
- Was kostet die Digitalisierung?

Bereits durch kleine Veränderungen durch Digitalisierung und die damit verbundenen Prozessveränderungen können Verbesserungen erzielt werden.

Wichtig ist, der Wille und die Überzeugung der Verantwortlichen, die Digitalisierung im Unternehmen zu etablieren.

Aber wo und wie fange ich an und welche Ziele verfolge ich?



Ziele der Digitalisierung können sein,

- Die Wettbewerbsfähigkeit erhöhen
- Hohe Transparenz/Effizienz der Prozesse
- Schneller Informationsfluss
- Weniger manuelle Abläufe
- Fehlerminimierung und Vermeidung von Nacharbeiten
- Standardisierung von Abläufen
- Sicherheit in den Abläufen

Diese Frage „wie fange ich an“, wird immer wieder gestellt und es gibt keine generelle Antwort darauf. Das Erkennen von Problemfeldern, sowie die damit verbundenen Prozessabläufe und das Bilden von Schwerpunkten ist dabei sehr wichtig.

Grundsätzlich können in allen Bereichen eines Unternehmens Digitalisierungsprozesse eingesetzt werden.

Dies sind im Einzelnen:

Der Planungsprozess:

- Einrichtung virtueller Baustellen und Geozonen
- Mischgutbestellungen
- Fahrzeugbestellung und Bestätigung
- Digitale Informationen an Fahrer über Einsatzzeit und Ort

Logistiksteuerung:

- Berechnung optimaler Anzahl an Fahrzeugen
- Fahrzeugrouting mit Stauerfassung
- Digitale Lieferscheine

Werkstatt / Lager:

- Lagerpläne
- Wartungsdokumentation
- Inventur
- Ein-/Ausgabe von Werkzeug/Maschinen
- Bestellungen
- Kostenverteilungen auf Kostenstellen
- Info, wenn der Wartungszyklus erreicht ist

Prozessdokumentationen:

- Wetterdaten
- Walzleistung
- Einbautemperatur
- Einbaumenge
- Einbaugeschwindigkeit
- Wartezeiten Mischanlage / Baustelle
- Umlaufzeiten Hin-/Rückfahrt
- Bautagesbericht mit Textbausteine

Administration:

- Geräteverrechnung
- Leistungsverrechnung
- Digitale Bauakte
- Dokumentenarchivierung
- Mobiler Zugriff auf die Ablage
- Rechnungsabwicklung

Auf dem Weg zur Digitalisierung gibt es Grundvoraussetzungen die zu beachten sind.

Offen für Veränderungen und das Einbinden der betroffenen Mitarbeiter durch die Geschäftsführung von Anfang an ist ein wichtiger Baustein für eine erfolgreiche Umsetzung.

Die Bereitschaft, vorhandene Prozesse infrage zu stellen und die Bereitschaft zur Prozessveränderung muss gegeben sein.

Auch ist zu beachten, vor dem Start zu prüfen, ob die eigenen Ressourcen ausreichen oder ob geeignete Lösungspartner hinzugezogen werden müssen.

Erst wenn alle Fragen auf dem Weg zur Digitalisierung beantwortet sind, sollte eine Roadmap erstellt und gestartet werden.

Allerdings gibt es die Digitalisierung nicht kostenlos. Neue Technologien erfordern Investitionen in Geld und Wissenstransfer für die Mitarbeiter.

Fazit

Die Digitalisierung ist eine wichtige Basis und der Erfolgsfaktor für die Zukunft

- Um Wettbewerbsvorteile zu generieren.
- Um Kosten zu minimieren.
- Um zukunftsfähig zu sein.
- Um schneller zu werden
- Um administrative Prozesse zu entschlacken.

Spätestens, wenn Probleme auftauchen oder die Kosten aus dem Ruder laufen, werden Veränderungen erforderlich. Allerdings kann es dann schon zu spät sein.



Asphalt- modifikation

Einsatz faserverstärkter Asphalte

Anordnung eines Zugbandes an der Unterseite der Asphaltbefestigung

Christiane Weise

TU Dresden, Institut für Stadtbauwesen und Straßenbau, Professur für Straßenbau, Dresden, Deutschland

Viktoria Sommer

TU Dresden, Institut für Stadtbauwesen und Straßenbau, Professur für Straßenbau, Dresden, Deutschland

Zusammenfassung

In einer regelkonformen Asphaltbefestigung treten die maximalen Zugspannungen bei ausreichendem Schichtenverbund zwischen den einzelnen Asphaltsschichten an der Unterseite der Asphalttragschicht auf. Daraus folgt, dass in diesem Bereich Asphaltgemische mit besonderen Materialeigenschaften hinsichtlich wiederholter Zugbeanspruchung (Ermüdungsverhalten) eingesetzt werden sollten. Die Anordnung eines sogenannten Zugbandes aus einem entsprechend (faser-)modifizierten Asphaltgemisch würde diese Anforderungen erfüllen und damit der Entstehung von Rissen an der Unterseite und somit dem Versagen der Befestigung entgegenwirken.

Unter Einbeziehung bisheriger Forschungsarbeiten an der TU Dresden ist der Einsatz faserverstärkter Asphaltgemische als Zugband besonders erfolgsversprechend. Die untersuchten faserverstärkten Asphalte wiesen signifikant verbesserte Ermüdungseigenschaften auf. Unter Berücksichtigung der Kosten haben sich insbesondere Glasfasern bewährt. Voraussetzung für die Umsetzbarkeit der Bauweise ist eine entsprechende Vorbereitung des Planums sowie die Sicherstellung eines umfassenden Schichtenverbundes zwischen den Asphaltsschichten. Durch den Einsatz eines faserverstärkten Zugbandes wird eine rechnerisch nachgewiesene Schichtdickenreduzierung der darüber liegenden Asphaltsschichten ermöglicht. Je nach Materialeinsatz ist so eine Kostenreduzierung hinsichtlich des gesamten Asphaltpaketes realistisch.

Zur Validierung und zur Evaluation der technischen Umsetzbarkeit der Bauweise soll eine Versuchsstrecke angelegt werden.

1. Einleitung

Durch die signifikante Erhöhung der Achslasten der Fahrzeuge des Schwerverkehrs aufgrund der wirtschaftlich notwendigen Auslastung und durch die steigende Verkehrsdichte sind Rissbildungen derzeit einer der am häufigsten zu beobachtenden Schäden in Asphaltbefestigungen. Die an der Oberseite der Asphaltbefestigung sichtbaren Risse sind dabei zumeist auf Ermüdungsrisse an der Unterseite der Asphalttragschicht zurückzuführen, die bei fortbestehender Belastung von unten nach oben (bottom-up-cracking) durchschlagen. Die Anordnung einer Asphaltsschicht mit besonderer Widerstandsfähigkeit bzgl. der Ermüdung an der Unterseite des Asphaltpaketes ermöglicht es, dieses Schadensbild zu verhindern.

2. Charakterisierung Faserverstärkte Asphalte

Die ausreichende Einbindung der Fasern in die Asphaltmörtel ist bei Asphaltgemischen mit einem für diese Asphaltarten vergleichsweise hohen Bindemittelgehalt erfahrungsgemäß gewährleistet. Bei sehr trockenen Asphaltgemischen ist die Erhöhung des Bindemittelgehaltes bis zum Zugabeprozentsatz der Fasern erforderlich. D.h. bei der Zugabe von 0,5 M.-% Fasern in ein trockenes Asphaltgemisch, ist eine Erhöhung des Bindemittelgehaltes um maximal 0,5 M.-% zu überprüfen.

Die Modifizierung von Asphalten mit losen Kurzschnittfasern kann eine signifikante Verbesserung der Materialeigenschaften bewirken und ist daher Gegenstand der Forschung und der Umsetzung auf Versuchsstrecken

2.1 Faser-Materialien

An der TU Dresden wurden im Rahmen zweier AiF-ZiM Kooperationsprojekte (gefördert durch das BMWI) [1] [2] zahlreiche Asphaltgemische mit verschiedenen Fasermodifikationen untersucht. Signifikant verbesserte dimensionierungsrelevante Materialeigenschaften konnten insbesondere für Glas- und PAN-Fasern ermittelt werden. Für die in den folgenden Abschnitten dargestellten Versuchsergebnisse wurden industriell verfügbare lose Kurzschnittfasern verwendet. Die Eigenschaften der verwendeten Fasern sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Eigenschaften der verwendeten Fasern

Eigenschaft	Einheit	Glas	PAN
Schnittlänge	[mm]	4,4	6
Dichte	[g/cm³]	2,6	1,18
Feinheit	[dtex]	4	
Filamentdurchmesser	[µm]	13	
Zugfestigkeit	[cN/tex]	130,8	
	[MPa]	3400	616
Reißdehnung	[%]	3,5	
E-Modul	[MPa]	2807	5030
Temperatur-beständigkeit	[°C]	550	~200

Bei Betrachtung unter dem Mikroskop (Abbildung 1 und Abbildung 2) unterscheiden sich die beiden Fasern kaum voneinander. Die Fasern sind als dünne Fäden mit glatter Oberfläche zu erkennen.

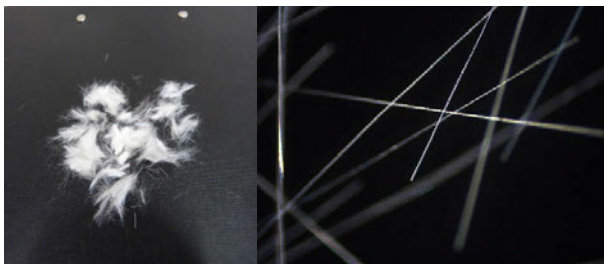


Abbildung 1: PAN-Faser – rechts: 5fach vergrößert

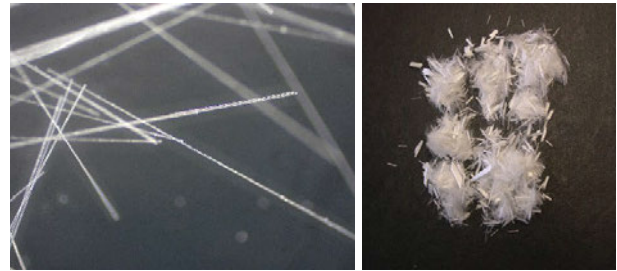


Abbildung 2: Glas-Faser – rechts: 5fach vergrößert

2.2 Asphaltgemische und Probekörperherstellung

In Vorversuchen [1][2] zeigte sich, dass eine homogene Verteilung der Fasern im Asphaltgemisch mit üblichen Einwellen-Labormischern nicht zu gewährleisten ist, so dass die hier vorgestellten Asphaltgemische als 2t-Charge an einer regulären Mischanlage (Doppelwellenzwangsmischer) hergestellt werden mussten.

Zu den faserverstärkten Asphalten wurde jeweils eine Vergleichsvariante ohne Fasern hergestellt, um den Einfluss der Fasern auf die Materialeigenschaften darstellen zu können.

Tabelle 2 zeigt die an der Mischanlage hergestellten Asphalte. An den Asphaltbinderschichtvarianten (B) AC 16 B S wurde der Einfluss des Bindemittelgehaltes und an den Asphalttragschichtvarianten (T) AC 22 T S die Auswirkungen der Zugabemenge von Asphaltgranulat (RC) auf die Materialeigenschaften bestimmt. Die Eingangsbauuntersuchungen zeigten, dass das verwendete Asphaltgranulat ein Asphalttragschichtmaterial AC 22 mit einem Bindemittelgehalt von 4,2 M.-% war.

Tabelle 2: Untersuchte Asphaltvarianten

Variante	Bindemittel-art/-sorte	Bindemittel-gehalt	RC-Anteil	Faser-menge/-art
		[M.-%]	[M.-%]	[M.-%]
B0-1	25/55-55A	4,3	-	-
B0-2	25/55-55A	4,7	-	-
B4-1	25/55-55A	4,3	-	0,5 (Glas)
B4-2	25/55-55A	4,7	-	0,5 (Glas)
T0-25	50/70	4,2	25	-
T4-25	50/70	4,2	25	0,5 (Glas)
T4-40	50/70	4,2	40	0,5 (Glas)
T0	50/70	4,7	-	-
TP	50/70	4,7	-	0,5 (PAN)

Es ist zwingend zu berücksichtigen, dass die Varianten T0 und TP an einer anderen Mischanlage mit abweichenden Gesteinskörnungen und gänzlich ohne Zugabe von Recycling-Material (RC) hergestellt wurden.

Für die Probekörper der Spaltzugschwellversuche wurden im Labor mit Hilfe des Walzsegment-Verdichters Platten (Maße 26 x 32 cm, Zielhöhe 4 bzw. 6 cm) hergestellt. Die Verdichtung erfolgte kombiniert weg- und kraft geregelt gemäß TP Asphalt-StB Teil 33 [3]. Aus den Platten wurden mittels eines Handbohrgerätes Bohrkern mit einem Durchmesser von 100 bzw. 150 mm herausgebohrt und die Raumdichte sowie die geometrischen Abmessungen bestimmt. Die Raumdichtebestimmung erfolgte entsprechend TP Asphalt-StB Teil 6 [4]. Die Raumdichte der für die Spaltzugschwellversuche ausgewählten Probekörper variierte gemäß TP Asphalt-StB Teil 24 [5] in einem Bereich von max. $0,03 \text{ g/cm}^3$, um sicherzustellen, dass die Prüf-ergebnisse durch den Hohlraumgehalt nicht beeinflusst werden.

2.3 Versuche zur Charakterisierung der Materialeigenschaften

Anhand von Spaltzugschwellversuche wurden sowohl die Steifigkeitsmodul-Temperatur-Funktionen (Multi-stage-Versuche) als auch die Ermüdungsfunktionen ermittelt.

Bei der Ermittlung der Steifigkeitsmodul-Temperatur-Funktionen wurde von den Versuchsbedingungen gemäß TP Asphalt-StB Teil 26 [6] abgewichen und die Versuche bei nur drei Temperaturen (-10, 5 und 20°C), durchgeführt, da die Parameter für die rechnerische Dimensionierung verwendet werden. Die Ermittlung der Ermüdungsfunktion erfolgte gemäß TP Asphalt-StB Teil 24 [5].

2.4 Versuchsergebnisse

Die ermittelten Steifigkeits-Modul-Temperatur-Funktionen zeigen, sowohl für die Asphaltbinderschicht- als auch für die Asphalttragschichtvarianten, dass durch die Zugabe von Glas- oder PAN-Fasern eine Verringerung der Werte zu beobachten ist. Dies ist Abbildung 3 und Abbildung 4 zu entnehmen. Für die Asphaltbinderschichtvarianten mit niedrigem Bindemittelgehalt (B0-1/B4-1 mit 4,3 M.-% Bitumen) zeigt sich im Bereich hoher Temperaturen $>10^\circ\text{C}$ eine Versteifung und im Bereich niedriger Temperaturen gleichbleibende Werte beim Vergleich der faserverstärkten Variante (B4-1) gegenüber der Variante ohne Faserzugabe (B0-1).

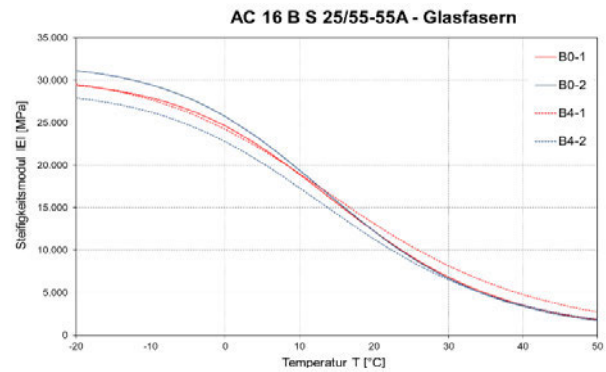


Abbildung 3: Steifigkeitsmodul-Temperatur-Funktionen für die Asphaltbinderschicht-Varianten

Für die ATS mit erhöhtem RC-Anteil (T4-40 gegenüber T0-25) ist eine besonders ausgeprägte Verringerung der Steifigkeitsmodul-Werte zu erkennen. Dies lässt einen signifikanten Einfluss des Frischbitumens 70/100 gegenüber dem Bitumenanteil aus dem RC-Material vermuten. Rechnerisch wird zwar ein Bitumen 50/70 wie für die Vergleichsvariante T0-25 erzielt, im Gemisch überwiegen jedoch die Eigenschaften des Frischbindemittels. Dieses Ergebnis muss in Zukunft noch weiter untersucht werden. Auch für die Tragschichtvariante mit PAN-Fasern (TP) kann im Vergleich zur Variante T0 die Verringerung der Steifigkeitsmoduln aufgezeigt werden.

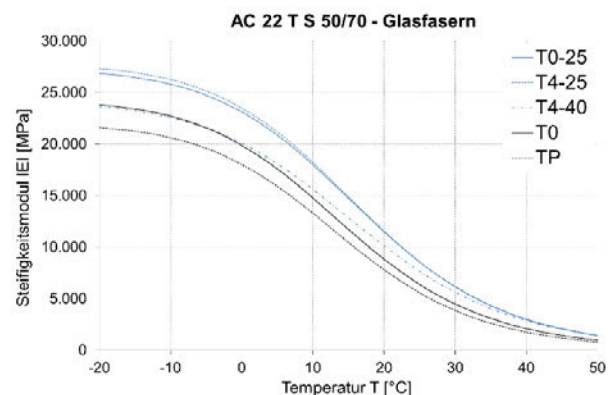


Abbildung 4: Steifigkeitsmodul-Temperatur-Funktion für die Asphalttragschicht-Varianten

Im Gegensatz dazu kann bei Betrachtung der Ermüdungsfunktionen eine signifikante Verbesserung festgestellt werden. Die Ermüdungsfunktionen der Asphaltbinderschichtgemische in Abbildung 5 zeigt, dass die Zugabe der Fasern in Abhängigkeit vom Bindemittelgehalt zu unterschiedlich stark ausgeprägten Verbesserungen der Ermüdungseigenschaften führt. Statt ~ 10.000 Lastwechseln (B0-1) bei einer elastischen Anfangsdehnung von 0,1‰ werden infolge Fasermodifikation ~ 20.000 Lastwechsel (B4-1) ertragen.

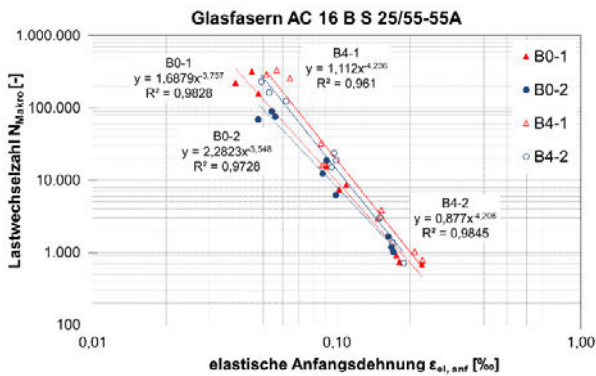


Abbildung 5: Ermüdungsfunktionen für die Asphaltbinderschicht-Varianten

Die Zugabe von Glasfasern zu den betrachteten Asphalttragschichtgemischen bewirkt hinsichtlich der Ermüdungseigenschaften Verbesserungen von ca. 40%, wie aus Abbildung 6 deutlich wird.

Die Zugabe von PAN-Fasern bewirkt z.B. bei einer elastischen Anfangsdehnung von 0,1‰ eine Erhöhung der ertragbaren Lastwechsel von ~20.000 (T0) auf ~190.000 (TP). Diese signifikanten Verbesserungen stehen im Gegensatz zu den „Verschlechterungen“ der Steifigkeitsmodul-Temperatur-Funktionen. Eine Gesamtbetrachtung kann nur anhand von Dimensionierungsberechnungen gemäß RDO Asphalt 09 [7] erfolgen. Auf Grund der unterschiedlichen Herkunft der Tragschichtvarianten mit Glas- bzw. PAN-Fasern, kann nicht grundsätzlich geschlossen werden, dass die Modifikation mit PAN-Fasern leistungsfähiger ist. Dies ist wahrscheinlich auf den höheren Bindemittelgehalt (4,7 M.-% statt 4,2 M.-%) zurückzuführen.

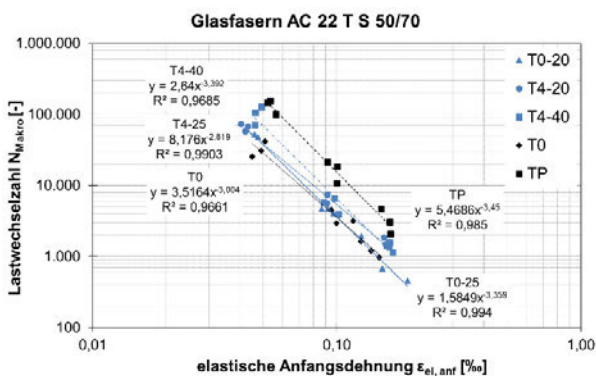


Abbildung 6: Ermüdungsfunktionen für die Asphalttragschicht-Varianten

3. Wirkprinzip eines Zugbandes an der Unterseite der Asphalttragschicht

Im Asphaltpaket treten unter Voraussetzung eines optimalen Schichtenverbundes, die maximalen Zugspannungen an der Unterseite der Asphalttragschicht auf. In diesem Zusammenhang wird als Zugband eine Asphalt-

schicht mit besonderen Eigenschaften bezüglich der auftretenden wiederholten Zugbeanspruchungen (Steifigkeits- und Ermüdungsverhalten) angesehen.

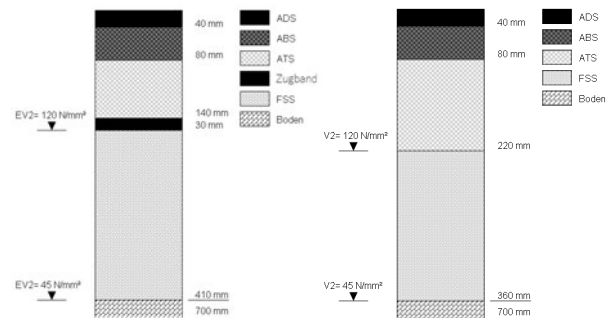


Abbildung 7: Aufbau einer Straßenbefestigung nach RStO 12, BK100 (links) [8] - Anordnung eines Zugbandes unter der Asphalttragschicht (rechts)–

Als Zugband können sowohl Asphalttragschichtgemische mit entsprechender Modifikation z.B. durch die Zugabe von Fasern oder die Verwendung polymermodifizierten Bitumens oder andere geeignete Asphaltgemische angeordnet werden.

3.1 Ergebnisse der Dimensionierungsberechnungen

Die Dimensionierungsberechnungen zur Darstellung der technischen und wirtschaftlichen Eignung eines Zugbandes wurden für einen hochbelasteten Straßenaufbau der BK100 durchgeführt, da sich hier gesamtwirtschaftlich das größte Potential dieser Bauweise erwarten lässt.

Die Ergebnisse der Dimensionierungsberechnungen sind in Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. enthalten. Zeile 1 enthält die Vergleichsvariante mit einem unmodifizierten Asphalttragschichtmaterial entsprechend der Standardbauweise. Die gesamte Asphalttragschicht ist mit dem Material T0-25 ausgeführt. In den folgenden Zeilen ist ein Zugband aus unterschiedlichen Asphalten (unterhalb der nicht modifizierten Asphalttragschicht T0-25) angeordnet. Bei den Dicken sind die technisch notwendigen Mindestschichtdicken nach den ZTV Asphalt-StB berücksichtigt.

Die Gesamtdicke des frostsicheren Oberbaus beträgt 700 mm. Kann die Dicke des Asphaltpaketes aufgrund der verbesserten Materialeigenschaften des Zugbandes reduziert werden, so muss dies in der Frostschutzschicht (FSS) ausgeglichen werden.

Die angegebenen Kosten umfassen ausschließlich reinen Materialkosten des Aufbaus. Da für die Kosten Annahmen getroffen werden mussten, sind die Werte nicht absolut, sondern im Verhältnis zueinander zu betrachten.

Der Ermüdungsstatus wurde sowohl an der Unterseite des Zugbandes als auch an der Unterseite der unmodifizierten Asphalttragschicht bestimmt. Damit konnte sichergestellt werden, dass auch die unmodifizierte Tragschicht ausreichend dimensioniert ist. Weiterhin zeigt sich, wel-

ches Potential in der jeweiligen Variante steckt. Die Berücksichtigung der erforderlichen Mindestschichtdicken führt z.T. zu einer Verlängerung der Nutzungsdauer.

3.2 Diskussion der Berechnungsergebnisse

Es zeigt sich, dass bei Verwendung von modifizierten Asphalttragschichtgemischen (TP), von Gemischen ohne

RC-Zugabe (T0) oder von Asphaltgemischen mit polymermodifizierten Bitumen (B0-1 bzw. B4-1) eine signifikante Reduzierung der erforderlichen Asphaltenschichtdicken möglich ist. Der Ermüdungsstatus des Zugbandes zeigt, dass rechnerisch theoretisch eine weitere Schichtdickenreduzierung möglich wäre, die technologisch jedoch nicht umsetzbar ist.

Tabelle 3: Ergebnisse Dimensionierungsberechnungen [10]

Material	Dicke [mm]			Ermüdungsstatus [%]		Kosten [EUR/m ²]
	Zugband	unmod. ATS	FSS	unmod. ATS	Zugband	
T0-25	200	-	380	95,52	-	63,90
T4-25	120	80	380	8,14	93,90	65,40
T4-40	100	80	400	35,64	89,77	62,20
T0	150	80	250	11,76	85,02	68,30
TP	80	80	420	37,49	97,67	64,90
B0-1	90	50	440	49,72	98,36	58,70
B0-2	100	50	430	37,03	99,28	60,00
B4-1	80	50	450	39,29	47,46	58,40
B4-2	80	50	450	55,80	91,98	58,40

An dieser Stelle besteht also die Möglichkeit durch die Verwendung von Asphalten mit kleinem Größtkorn als Zugband (und somit geringeren technologisch notwendigen Schichtdicken) eine weitere Optimierung des gesamten Aufbaus durchzuführen, wenn eine Nutzungsdauerverlängerung nicht erwünscht ist.

Jedoch ist für diesen Fall ebenfalls die technologische Ausführbarkeit zu überprüfen, da ein Asphalt mit einem Größtkorn von z.B. 11 mm qualitätsgerecht auf die Frostschutzschicht aufgebracht und ausreichend verdichtet werden muss.

Weiterhin muss berücksichtigt werden, dass einige aufgezeigte Varianten in Tabelle 3 höhere Kosten als die Referenzvariante aufweisen, was auf die Kosten der Faserzugabe zurückzuführen ist.

3.3 Ausblick Versuchsstrecke

Im Rahmen eines vom BMWi geförderten ZiM-Kooperationsprojektes ist der Bau von Versuchsstrecken geplant. Große Hoffnung wird in diesem Zusammenhang in die Zugbandvariante ATS mit polymermodifiziertem Bitumen gesetzt. Die ersten Ergebnisse hierzu liegen voraussichtlich Ende 2021 vor.

Um die Herstellung der faserverstärkten Asphaltgemische zukünftig auch ohne händische Zugabe der losen Kurzschnittfasern zu ermöglichen, wird derzeit eine Verfahrensweise zur Erzeugung von Glasfaserpellets er-

forscht. Damit soll die Dosierung der Fasern über die üblichen Vorrichtungen an der Mischanlage gewährleistet werden

4. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Insgesamt ist festzuhalten, dass durch die Modifizierung der Asphaltgemische mit Fasern die Eigenschaften deutlich verbessert werden können. Die angeführten Dimensionierungsergebnisse zeigen das Potenzial Anordnung eines faserverstärkten Zugbandes auf, die in verschiedenen Materialkombinationen eine Reduzierung des Asphaltpaketes erlauben.

Quellen

- [1] Weise, C. und Zeißler, A. (2014) Faserverstärkte Asphalte zur Verbesserung der Gebrauchseigenschaften von Straßenbefestigungen, Straße und Autobahn 11/2014, S. 880-886, Kirschbaum-Verlag, Bonn, 2014
- [2] Weise, C.; Schmalz, M.; Ziegler, T.; Reußmann, T. und Wolf, S. (2019) Glasfaserverstärkte Asphaltgemische – Herstellung, Einbau und Materialeigenschaften, Straße und Autobahn 4/2019, Kirschbaum-Verlag, Bonn, 2019

- [3] Technische Prüfvorschriften für Asphalt - TP Asphalt-StB 2013
Teil 33 Herstellung von Asphalt-Probepplatten im Laboratorium mit dem Walzsektor-Verdichtungsgerät (WSV), FGSV Verlag GmbH, Köln
- [4] Technische Prüfvorschriften für Asphalt - TP Asphalt-StB
Teil 6: Bestimmung der Raumdichte von Asphalt-Probekörpern, FGSV Verlag GmbH, Köln, 2007
- [5] Technische Prüfvorschriften für Asphalt - TP Asphalt-StB 2018
Teil 24 Spaltzug-Schwellversuch – Beständigkeit gegen Ermüdung, FGSV Verlag GmbH, Köln, 2018
- [6] Technische Prüfvorschriften für Asphalt - TP Asphalt-StB 2018
Teil 26 Spaltzug-Schwellversuch – Bestimmung der Steifigkeit, FGSV Verlag GmbH, Köln, 2018
- [7] RDO Asphalt 09
Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen mit Asphalt-deckschicht, FGSV Verlag GmbH, Köln, 2009
- [8] RStO 12 (2012)
Richtlinie für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen
Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV Verlag GmbH, Köln, 2012
- [9] ZTV Asphalt-StB
Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt
Forschungsgesellschaft für Straßenbau- und Verkehrswesen, FGSV Verlag GmbH, Köln, Ausgabe 2007 / Fassung 2013
- [10] Sommer, V. (2018)
Auswirkungen eines Zugbandes aus modifizierten Asphalten auf den Spannungs-/ Dehnungszustand und die Nutzungsdauer einer Asphaltbefestigung, Diplomarbeit, Technische Universität Dresden

Lebenszyklus – und Emissionsbetrachtungen von Gummimodifizierten Asphalten

Gummimodifizierter Asphalt - Ein Beitrag zum Klimaschutz?

Dr. Daniel Gogolin

Ingenieurgesellschaft PTM Dortmund mbH

Dr. Manuel Hülsbömer

Ingenieurgesellschaft PTM Dortmund mbH

Zusammenfassung

Als Alternative zu Polymermodifizierten Asphalten werden bereits seit vielen Jahren Gummimodifizierte Bitumen bzw. Asphalte angewendet. Diese bestehen zumeist aus einem Straßenbaubitumen, welches mit additiviertem Gummimehl modifiziert wird. Nach derzeitigen Kenntnissen liefert diese Modifizierung verschiedenste Vorteile, wie zum Beispiel in Hinblick auf das Tieftemperaturverhalten oder die Gesamtperformance des Asphaltes, sowie in der verlängerten Nutzungsdauer, wodurch ebenfalls ein Beitrag zum Klimaschutz geleistet wird. Derzeit bestehen hierzu bereits Erfahrungen mit hochstandfesten Asphaltkonzepten - jedoch stehen noch allgemeine Langzeitbeobachtungen mit entsprechenden Laboranalysen aus. Anhand von drei Langzeitstudien führt die Ingenieurgesellschaft PTM Dortmund mbH in diesem Zusammenhang Untersuchungen durch, wobei bereits festgestellt werden konnte, dass Gummimodifizierte Asphalte sehr gute Alterungsraten und eine hohe Verformungsbeständigkeit aufweisen. Darüber hinaus sollen durch umfassende Laborprogramme Eingangsgrößen zur Rechnerischen Dimensionierung entsprechender Verkehrsflächenbefestigungen gemäß den RDO Asphalt gesammelt, um zukünftig adäquate Lebenszyklusanalysen (LCA) durchführen zu können.

1. Einleitung

Bei der Konzipierung einer Bauweise und der Wahl der einzelnen Baustoffe nehmen die Themengebiete Nachhaltigkeit und Emissionseinsparung im Asphaltstraßenbau einen immer größeren Stellenwert ein. In der Regel werden beim Asphaltstraßenbau für besondere Beanspruchungen Polymermodifizierte Bitumen (PmB) verwendet. Bei den verwendeten Polymeren (zumeist SBS) handelt es sich um weltweit begrenzt vorhandene Primärbaustoffe.

Seit vielen Jahren werden alternativ zum PmB im Rahmen unterschiedlicher Projekte Gummimodifizierte Bitumen (GmB) bzw. Asphalte eingesetzt. Gummimodifizierte Bitumen bestehen in der Regel aus Straßenbaubitumen, welche mit additiviertem Gummimehl (aus recycelten Reifen) modifiziert sind.

2. Bisheriger Kenntnisstand zur Gummimodifizierung

Die Gummimodifizierung von Bitumen liefert nach bisherigen Erkenntnissen deutliche Vorteile in Hinblick auf das Tieftemperaturverhalten, das Alterungsverhalten und das Verdichtungsverhalten von Asphalt. Es gibt seit Jahren sehr gute Erfahrungen mit der Gummimodifizierung im Bereich hochstandfester Asphaltkonzepte (Containerterminals, Logistikzentren, Busbuchten etc.), im Bereich lärmoptimierter und dünner Asphaltschichten (PA, AC 5 D LOA, SMA 5 S, SMA LA, etc.), im Bereich konventioneller Asphalte (von AC bis SMA) und in Kombination mit Asphaltgranulat. In Hinblick auf immer weiter steigende Anforderungen an den Asphaltstraßenbau kann die Gummimodifizierung deutliche Verbesserungen in der Gesamtperformance erzielen. Nach bisherigen Erkenntnissen wird gleichermaßen ein zusätzlicher Beitrag zum Klimaschutz, durch den gezielten Einsatz von Recyclingprodukten (Upcycling) und durch verlängerte Nutzungsdauern, erreicht.

3. Langzeituntersuchungen und Datenlage

Die verlängerte Lebensdauer von gummimodifizierten Asphaltbauweisen wird allgemein erwartet und größtenteils auch anerkannt, ist jedoch bisher insgesamt nur schlecht bis gar nicht durch Daten und entsprechende Vergleiche dokumentiert.

Teil der bisher durchgeführten Langzeitstudien sind u.a. zwei unter höchster Belastung stehende Industrieflächen. Die erste gummimodifizierte Asphaltfläche wurde von der Ingenieurgesellschaft PTM Dortmund mbH nach ca. 13 Jahren Liegedauer beprobt und hinsichtlich ihrer Eigenschaften und Performance nach der bisherigen Liege-/Nutzungsdauer geprüft bzw. bewertet.

Aus den in diesem Fall sehr umfangreichen Bauunterlagen ging hervor, dass folgende Asphaltsschichten in Anlehnung an die ZTV Asphalt-StB 01 eingebaut wurden:

- 4 cm Asphaltdeckschicht aus Splittreichem Asphaltbeton 0/8 mit Bitumen 30/45 und ROAD+
- 4 cm Asphaltbinderschicht aus Asphaltbinder 0/16 S mit Bitumen 30/45 und ROAD+
- 12 cm Asphalttragschicht mit Bitumen 30/45

Der Zusatz ROAD+ bezeichnet hierbei das additivierte Gummimehl (95,5 % Gummimehl und 4,5 % Additiv Polyoctenamer). Die zum Zeitpunkt der Begutachtung und der Beprobung bereits 13 Jahre unter höchster Beanspruchung (sehr hohe dynamische und statische Lasten) stehende gummimodifizierte Asphaltkonstruktion befand sich nach einer visuellen Begutachtung grundsätzlich noch in einem sehr guten Zustand.

Im Rahmen der Untersuchungen wurden entsprechend an den aus der bestehenden Konstruktion entnommenen Asphaltproben (Bohrkerne) u.a. die Bindemittleigenschaften/Parameter nach der Extraktion bestimmt. Aus der ursprünglichen Qualitätsüberwachung der Baumaßnahme liegen entsprechende Vergleichsdaten der einzelnen Asphalte u.a. hinsichtlich der verwendeten bitumenhaltigen Bindemittel vor:

Splittreichen Asphaltbeton 0/8 (ADS)

EP RuK: 62,4 °C bis 63,1 °C
Lösl. Bindemittelgehalt: 7,4 M.-% bis 7,6 M.-%

Asphaltbinder 0/16 S (ABS)

EP RuK: 68,0 °C bis 74,8 °C
Lösl. Bindemittelgehalt: 4,6 M.-% bis 4,7 M.-%

Aus den durchgeführten Untersuchungen an den 13 Jahre alten Asphaltsschichten haben sich u.a. Erweichungspunkte Ring und Kugel von 67,4 °C für die Asphaltdeckschicht und 74,0 °C für die Asphaltbinderschicht ergeben. Wird als Ausgangspunkt der Betrachtungen jeweils von dem niedrigeren EP RuK ausgegangen (ungünstiger Fall) ergeben sich folgende Veränderungen infolge der 13 Jahre Liegedauer:

Splittreichen Asphaltbeton 0/8

- EP RuK: 62,4 °C 67,4 °C
- Zunahme nach 13 Jahren: + 5 °C
- Zunahme: $\approx 0,4$ °C / Jahr

Asphaltbinder 0/16 S

- EP RuK: 68,0 °C 74,0 °C
- Zunahme nach 13 Jahren: + 7 °C
- Zunahme: $\approx 0,5$ °C / Jahr

Die Alterungsrate, hier gemessen am Erweichungspunkt Ring und Kugel, liegt deutlich unter den Alterungsraten vergleichbarer Asphalte mit Bitumen nach den TL Bitumen-StB 07/13 [1] (Polymodifizierte Bitumen oder Straßenbaubitumen). Aus bisherigen Erfahrungen wird an dieser Stelle konservativ von einem Zuwachs des Erweichungspunkts Ring und Kugel von 1 °C bis 2 °C je Jahr Liegezeit ausgegangen.

Untermauert werden diese geringen Alterungsraten zusätzlich noch durch die ermittelten BBR-Ergebnisse. Mit Steifigkeiten von 164 MPa (ADS) bzw. 173 MPa (ABS) und gleichzeitigen m-Werten von 0,319 (ADS) und 0,300 (ABS) liegen diese selbst nach 13 Jahren immer noch im Anforderungsbereich eines frischen Gummimodifizierten Bitumens nach den E GmBA [2].

Im Rahmen der Asphaltuntersuchungen wurden gerade im Tieftemperaturbereich enorm gute Ergebnisse erzielt. Nach dem heutigen Stand des Wissens werden i.d.R. im Rahmen von Ausschreibungen Bruchtemperaturen kleiner -20 °C gefordert. Die hier mit additiviertem Gummimehl modifizierten Asphalte erreichen diesen „Grenzwert“ mit Werten von -27,4 °C (ADS) und -24,2 °C (ABS) nach 13 Jahren Liegezeit immer noch problemlos.

Der gute Zustand der bereits 13 Jahre unter Belastung stehenden Asphaltflächen konnte durch die labortechnischen Untersuchungen erklärt werden. Die Untersuchung der beiden gummimodifizierten Asphaltsschichten hat deutlich gezeigt, dass diese Asphalte im Vergleich zu Asphaltsschichten mit Straßenbaubitumen oder PmB nur geringfügig gealtert sind. Nach 13 Jahren weisen die gummimodifizierten Asphalte beispielsweise Bruchtemperaturen bei Kälte auf, die zum Teil deutlich besser sind als vergleichbare „konventionelle“ Asphalte von heute.

Zu vergleichbaren Ergebnissen ist eine weitere Studie im Rahmen einer kommunal umgesetzten Baumaßnahme gekommen. Hier wurde ein gummimodifizierter Asphalt nach 7 Jahren Liegezeit unter konzentrierter Verkehrsbelastung begutachtet. Die Straße wurde in den Jahren 2012/2013 erneuert. Die Besonderheit dieser Maßnahme lag zum einen in dem hohen Anteil des verwendeten Asphaltgranulats von 50 % in der Asphaltdeckschicht aus Splittmastixasphalt und zum anderen in der Zugabe von additiviertem Gummimehl [3].

Die Additivierung sollte hierbei

- der Optimierung des im Asphaltgranulat vorhandenen Altbitumens und insbesondere des in Voruntersuchungen festgestellte schlechte Tieftemperaturverhalten dienen sowie
- zur allgemeinen Verbesserung der Gesamtleistung des Asphalts (Verdichtbarkeit, Verformungswiderstand, etc.) beitragen.

Aus den Ergebnissen konnte abgeleitet werden, dass die gummimodifizierte Asphaltdeckschicht grundsätzlich eine hohe bis sehr hohe Verformungsbeständigkeit aufweist. Die positiven Ergebnisse der Laboruntersuchungen, d.h. Druckschwellversuche zur Bestimmung des Verformungsverhalten im Hochtemperaturbereich und Spaltzug-Schwellversuche zur Bestimmung des temperaturabhängigen Steifigkeitsverhaltens im Gebräuch- und Tieftemperaturbereich, konnte durch die Begutachtung der Straße in der Praxis bestätigt bzw. noch zusätzlich untermauert werden. Nach Beurteilung des aktuellen Zustands der Fahrbahnoberfläche, d.h. nach ca. 7 Jahren Liegezeit der Asphaltdeckschicht unter Verkehrs- und Witterungsbeanspruchung, zeigen sich bisher keine Verformungen in Form von z.B. Spurrinnen und auch keine Risse oder Schäden die durch Kälte (z.B. Sprödrisse) verursacht werden.

4. Erprobungsstrecke für LCA

Das Hauptprojekt dieser Reihe wird bis zum Jahresende 2020 abgeschlossen sein. Bei diesem Projekt wird eine Probestrecke auf einer Landstraße im Sauerland mit unterschiedlichen Modifizierungsvarianten hergestellt. Hierbei wird der geplante drei-schichtige Aufbau, bestehend aus Asphalttragschicht AC 32 T S, Asphaltbinderschicht aus AC 16 B S SG und Asphaltdeckschicht aus AC 8 D S, als Variantenvergleich jeweils mit Straßenbaubitumen, Polymermodifiziertem Bitumen und Gummimodifiziertem Bitumen ausgeführt. Die Umsetzung des Projekts wurde von der Konzipierung der Erstprüfungen bis hin zum Einbau der einzelnen Asphalt-schichten vollständig bautechnisch, emissionstechnisch und wissenschaftlich begleitet.

Die Erkenntnisse aus diesem Projekt (u.a. aus Herstellung, Einbau, Emissionen, Prognosen zur Nutzungsdauer) vervollständigen bzw. ermöglichen dann die geplanten

Lebenszyklusanalysen (LCA). Hierzu werden unter anderem im Rahmen eines großen Laborprogramms die für eine Rechnerische Dimensionierung nach den RDO Asphalt [4] benötigten Eingangsparameter für Dimensionierungsberechnungen und Szenarien-Betrachtungen ermittelt.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Die im Rahmen des Projekts durchgeführte Life Cycle Analysis (LCA) betrachtet unterschiedliche Szenarien, inkl. längerer Lebensdauer der Asphaltbauweisen, die signifikant die global „warming equivalents“ reduziert. Die Langzeitbetrachtungen und die bisherigen Vergleichsuntersuchungen der einzelnen Asphaltvarianten (u.a. rechnerische Dimensionierung) weisen in diesem Kontext auf deutlich höhere Lebens- bzw. Nutzungsdauern hin.

Erste Erkenntnisse zeigen bereits ein enormes Potential bei der Einsparung der CO₂-Emissionen durch die Verwendung von Gummimodifizierten Asphalten anstelle von Standard Polymermodifizierten Asphaltvarianten. Allgemein machen die CO₂-Emissionen bei der Asphalt-herstellung bis zu zwei Drittel der Gesamtemissionen bei der Straßenerhaltung aus.

Literaturverzeichnis

- [1] „Technische Lieferbedingungen für Straßenbaubitumen und gebrauchsfertige Polymermodifizierte Bitumen (TL Bitumen-StB 07/13)“, Ausgabe 2007/ Fassung 2013, FGSV Verlag, Köln
- [2] „Empfehlungen zu Gummimodifizierten Bitumen und Asphalten (E GmB A)“, Ausgabe 2012, FGSV Verlag, Köln
- [3] D. Gogolin, H.-H. Weßelborg: „Hochwertige Wiederverwertung von Asphaltgranulat aus Splittmastixasphalt im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWG) am Beispiel „Detmolder Straße in Paderborn“, Fachzeitschrift Straßen und Autobahn, Ausgabe 8/2013
- [4] Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht (RDO Asphalt 09), Ausgabe 2009, FGSV Verlag, Köln

Höchste Produktqualität vom Spezialisten für PMMA-Technologie

- Beste Anbindung an alle relevanten Werkstoffen im Verkehrswegebau
- Kalt an Kalt-Anwendung innerhalb einer breiten Temperaturskala
- Nahezu auf „Null“ ausziehbar
- Keine Mehrfachanfahrten, minimale Sperrzeiten
- Schnelle Lieferung auch von Kleinmengen
- Unterstützung durch praxiserfahrene Techniker
- Über 40 Jahre Know-how und Erfahrung

Triflex
Gemeinsam gelöst.

VERKEHRSSICHERHEIT
ERHÖHEN –
SPERRZEITEN
AUF EIN MINIMUM
REDUZIEREN



Moderne Baustoffe im Erhaltungsmanagement – Was PMMA-Bindemittel leisten können

Arnd Laber, Sven Stumberger-Fischer
Triflex GmbH & Co. KG / Bereich Infrastruktur / Minden

Zusammenfassung

Jeder kennt es – sein „ganz persönliches“ Schlagloch auf dem Weg zur Arbeit oder nach Hause. So vielfältig die Gründe für die Entstehung auch sind; die Erhaltung der Verkehrsinfrastruktur kostet Zeit und Geld und ist eine Aufgabe, der wir nicht angemessenen nachkommen können, wenn wir nicht schauen, ob es abseits der eingefahrenen Wege zur vorübergehenden Sanierung von Schäden nicht doch Werkstoffe gibt, die mit Blick auf Dauerhaftigkeit und Flexibilität in der Anwendung einen wirtschaftlichen Beitrag leisten können. Wenn wir nahezu temperaturunabhängig über weite Strecken des Jahres solche Gefahrenstellen nicht nur behelfsmäßig sondern dauerhaft sanieren und damit den Schadensfortschritt vom Detail in die Fläche nachhaltig bremsen können, leisten wir damit einen wertvollen Beitrag zu einem modernen Erhaltungsmanagement.

1. Seit Jahren in den Normen

In vielen Bereichen des Bauens im Bestand sind PMMA¹-basierte Produkte und Systemlösungen seit Jahren die Norm. Wurden diese Flüssigkunststoffe noch vor 30 Jahren z.B. im Dachbereich eher belächelt, habe sie über ihre Performance heute doch einen festen Platz bei Planung und Ausführung teils komplizierter Details. Sie haben ihren Weg in die aktuellen Normenreihen gefunden und über viele Jahre den Nachweis angetreten, dass sie in Funktion und Dauerhaftigkeit mehr als nur eine flüssige Alternative zu den etablierten Bahnen darstellen. Nicht umsonst haben heute nahezu alle relevanten Bahnenhersteller entsprechende Flüssigkunststoffe in ihrem Lieferprogramm.

2. Was spricht für PMMA als Bindemittel

Epoxidharze und Polyurethan sind seit vielen Jahren die Bindemittel in der Welt der Bauchemie. Sie haben sich anforderungsgerecht weiterentwickelt und leisten heute einen umweltgerechten Beitrag als Beschichtungsstoffe, als Rissfüllstoffe oder als Bindemittel für Betonersatzsysteme, die normiert und grundgeprüft sind. Die Bedeutung der PMMA-Produkte hat in den vergangenen Jahren stark zugenommen. Als schnellreagierende, hoch belastbare System formuliert nutzen sie ihren UV- und Witterungsbeständigkeit z.B. als kalt applizierte Fahrbahnmarkierungen (nach BAST) oder als grundgeprüfte Oberflächenschutzsysteme im Bereich von Parkbauten.

Das dann erst im Herbst 2018 über das H PMMA² des FGSV der Weg für diese Bindemittel auch für Anwendungen z.B. im Bereich der Brücke normierbar geöffnet wurde, ist letztlich nur der Beleg dafür, dass sie – sinnvoll formuliert und anforderungsgerecht konzipiert – Basis für Werkstoffe sind, die einen relevanten Beitrag leisten, wenn kurze Bauzeiten benötigt werden und/oder alternative Bindemittel aufgrund einzuhaltender Temperaturgrenzen nicht zielsicher eingesetzt werden können

Eigenschaften	EP-Systeme	PUR-Systeme	PMMA Systeme
Wartezeit zwischen den Arbeitsgängen	> 8 Stunden (20 °C)	> 8 Stunden (20 °C)	30 Minuten (20 °C)
Verarbeitungstemperatur	ab 5 °C	ab 8 °C	ab 0 °C
Luftfeuchtigkeit	max. 85 %	max. 80 %	max. 95 %
Regensicher	nach 16 Stunden	nach 16 Stunden	nach 45 Minuten
Befahrbar	nach 2-5 Tagen	nach 2-5 Tagen	nach 30 - 45 Minuten
UV-Beständig	nein (-)	nein (-)	ja (+)
Haftung an Asphalt	nein (-)	bedingt	ja (+)

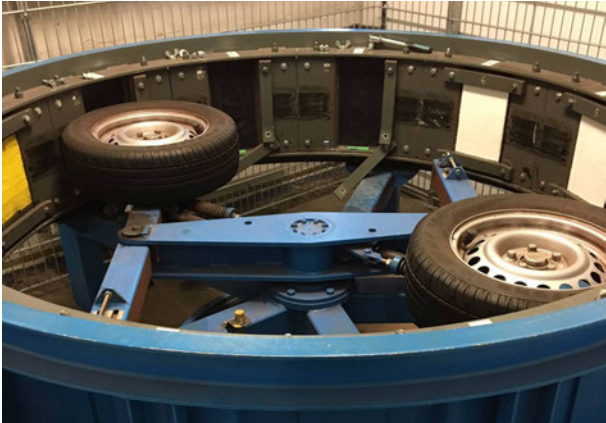
3. Mit PMMA an Asphaltflächen anbinden?

Natürlich geht das. Im Bereich Dach ist die Verträglichkeit aber auch die Dauerhaftigkeit in Verbindung zu Bitumenschweißbahnen heute Stand der Technik. Auch bei Fahr-

¹ PMMA: Polymethylmethacrylat

² Hinweise für die Herstellung von Abdichtungssystemen aus einer Polymerbitumen-Schweißbahn auf einer Versiegelung, Grundierung oder Kratzspachtelung aus PMMA für Ingenieurbauwerke aus Beton (Ausgabe 2018)

bahnmarkierung ist es eine seit Jahren erfolgreich etablierte Bauweise – und das auch im befahrenen Bereich. Hierzu müssen sich Hersteller wie die Triflex auch entsprechenden Befahrbarkeitsprüfungen unterziehen, die teilweise auf eigenen Prüfständen durchgeführt werden.



RPA-Prüfstand der Triflex GmbH & Co. KG

Heute lassen sich mit entsprechenden Formulierungen der PMMA-Bindemittel und den darauf abgestimmten Sieblinien Reaktionsharzmörtel konzipieren, die nicht nur den Anforderungen der bestehenden Normen entsprechen, sondern manchmal auch darüber hinaus gehen.

4. Normgerechte Reaktionsharzmörtel auf PMMA-Basis.

Ob aus Anforderungen den DIN EN 1504-3 oder über Anforderungen in Anlehnung an die „Technischen Lieferbedingungen / Technische Prüfvorschriften für Betonersatzsysteme aus Reaktionsharzmörtel/Reaktionsharzbetonen TL/TP BE PC“ – moderne PMMA-Mörtel können die entsprechenden Kennwerte nachweisen und haben damit einen Platz bei den Auswahl der zur Verfügung stehenden Baustoffe.

Aber warum nicht bei der Erhaltung von Asphaltflächen? Obwohl die Diskussion über den Zustand unserer Verkehrsinfrastruktur seit Jahren intensiv geführt wird, hat sich „der Markt“ anscheinend damit abgefunden, dass die für kleinere Erhaltungsmaßnahmen zum Einsatz kommenden Ersatzmassen bis vor Kurzem keinerlei Normierung unterlagen bzw. nur allgemein in der ZTV-BEA-StB 09 sowie den TL Asphalt-StB 07/13 geregelt wurden. Das entsprechende Hinweisblatt der FGSV – die H RepA³ – hat dabei den richtigen Versuch unternommen, grundsätzliche Anforderungen zur Beschaffenheit von Reparaturasphalten zu formulieren. Mit mäßigem Erfolg. Da die H RepA bereits im Vorwort explizit Reaktionsharzbasierte Ersatzprodukte inhaltlich nicht regeln kann (will?).

³ Hinweise für Reparaturasphalt zur Schadstellenbeseitigung (Ausgabe 2019)

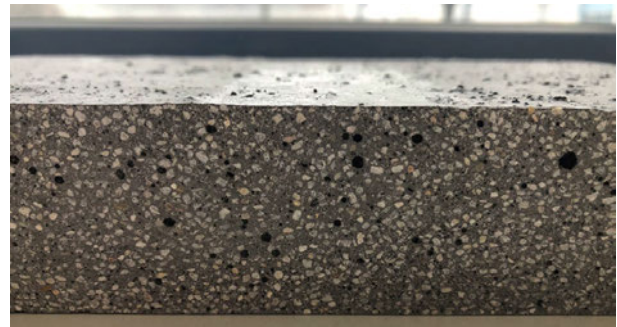
Warum? Weil sie mehr leisten können? Weil sie dauerhaftere Instandhaltung ermöglichen?

Hier besteht Nachbesserungsbedarf und die Öffnung hin zu reaktionsharzbasierten Bindemittelalternativen.

Da mit Ausnahme der Wasseraufnahme (sie liegt bei PMMA-Mörteln bei 0) kaum eine der in der H RepA aufgeführten Bindemittelprüfungen mit einem Reaktionsharz durchführbar ist, haben wir uns andere Wege gesucht, die Performance der speziell für diesen Bereich konzipierten Mörtel nachzuweisen.

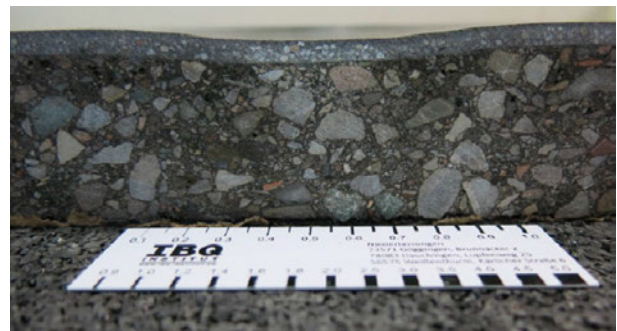
5. Performance-Prüfungen als Orientierung

Um nicht nur das Bindemittel, sondern die Ersatzmasse an sich, hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit zu prüfen, hat die Triflex in Zusammenarbeit mit dem IBQ-Institut, Remseck in verschiedenen Aufbaustärken das Produkt Triflex Asphalt Repro 3K entsprechenden Belastungsproben unterzogen, die alle aus gängigen Prüfnormen für Asphalte abgeleitet wurden.



Vollkörper Triflex Asphalt Repro 3K, 40 mm stark im Mischungsverhältnis 1:6
Rinntiefe nach 10.000 Zyklen bei 60° C : 0,2 mm
(Der Vergleichsasphalt AC 11 DS lag bei 2,2 mm)⁴

Doch nicht nur als Vollkörper für hohe mechanische Belastung, sondern auch als dünnere Auflage zeigt der Werkstoff seine Widerstandsfähigkeit.



Eine 5 mm Auflage Triflex Asphalt Repro 3K im Mischungsverhältnis 1:3 zeigt bei gleicher Belastung auf einem Träger aus AC 11 DS eine Rinntiefe von 1,9

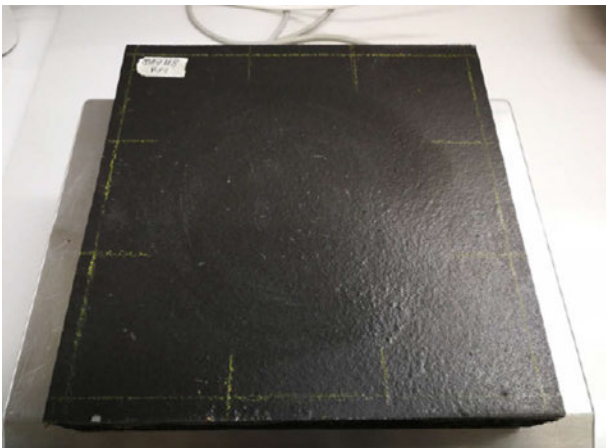
⁴ Spurbildungsversuch gemäß TL Asphalt-StB 07, Teil 22 (2013)

mm. Dabei fällt auf, dass an dem Probekörper weder eine Delamination noch eine Rissbildung im Flankenbereich der Verdrückung zu beobachten ist.

Auch der für die Praxis so wichtige Abrieb wurde mit entsprechenden Prüfkörpern in Anlehnung an CEN/TS12697-50⁵ ermittelt.



Weder die 1:3 noch die 1:6 Mischungen (Verhältnis Harz : Füllstoff) des Triflex Asphalt Repro 3K ergaben dabei nach 10 Doppelschubzyklen mit einer Vertikallast von 1000 N bei 40° C einen messbaren Abrieb.



Wie viele der „etablierten“ Ersatzmassen würden wohl ähnliche Werte erreichen? Wenn sie dann überhaupt als dünnsschichte Auflagen anwendbar wären.

Neben zahlreicher Praxisbeispiele die außer im Straßenbau auch in den Bereichen Logistik-, Parkhaus- und Industrieflächen liegen, laufen derzeit auch noch weitere Prüfungen – so z.B. an der Fachhochschule Erfurt (FHE).



Zum Zeitpunkt der Skripterstellung laufen die Prüfungen noch. Über die sich andeutenden, bemerkenswerten Ergebnisse und die daraus gewonnenen Ableitungen wird im Vortrag zu berichten sein.

6. Fazit

Quo vadis Erhaltungsmanagement?

Können wir es uns leisten, wie bisher immer und immer wieder Schadstellen nur behelfsmäßig zu flicken? Haben wir mal daran gedacht, dass es vielleicht für junge Berufseinsteiger oder für die aktiven Fachkräfte auch mehr als unbefriedigend ist, immer und immer wieder an die gleiche Schadstelle ran zu müssen?

Kann man da stolz auf seine Arbeit sein?

Mit PMMA-basierten Bindemitteln steht für das Erhaltungsmanagement von Verkehrsflächen eine dauerhafte und damit auch wirtschaftliche Alternative zur Verfügung, die so vielfältig einsetzbar ist, dass eine Vielzahl von Aufgaben im Straßen-, Tief- und Gleisbau zielsicher erledigt werden können und das über weite Strecken im Jahr. Zeitraubende Detailprobleme können jetzt schnell und ergebnissicher gelöst werden.

⁵ Asphalt - Prüfverfahren - Teil 50: Widerstand gegen Oberflächenverschleiß ; Deutsche Fassung CEN/TS 12697-50:2018



Digitalisierte Baustelle

Das richtige Werkzeug für Ihre Baustellen am Beispiel von Q Asphalt und Q Plant

Dipl. Ing. (FH) Simon Martin Künz

Q Point GmbH, Wien, Österreich

Zusammenfassung

Die Digitalisierung steckt in der Baubranche trotz großer Bemühungen von Baufirmen, die in den letzten Jahren viel Zeit und Geld in die Suche nach dem richtigen digitalen Werkzeug für ihr Unternehmen investiert haben, immer noch in den Kinderschuhen. Viele etablierte Anbieter, Start-Up Unternehmen und Baufirmen mit ausreichendem Bedarf und finanziellen Mitteln haben für einzelne Problemstellungen von der Planung bis zur Dokumentation, digitale Lösungen entwickelt. In den letzten 5 Jahren ist so eine heterogene Landschaft an Produkten und Systemen zur Digitalisierung der Baubranche entstanden. Daraus ergeben sich zwei wesentliche Herausforderungen für die Akteure. Zum einen muss die Integration der einzelnen Lösungen bzw. der standardisierte und sichere Datenaustausch geschaffen werden und zum anderen sind die Anwender durch die unterschiedlichen Lösungen bei der Anwendung gefordert die verschiedenen Businesslogiken der Lösungen zu verstehen, um diese richtig bedienen zu können. Am Beispiel von Q Asphalt und Q Plant versuchen wir einen Weg aufzuzeigen, wie Baufirmen die Herausforderungen der Digitalisierung meistern können.

1. Anforderungen und Rahmenbedingungen

Um die Digitalisierung erfolgreich im eigenen Unternehmen umzusetzen, reicht der Wille dazu alleine nicht aus. Ungenaue Zielsetzungen, unklare Erwartungen und unterschiedliche Motivationen lassen eine Vielzahl der Projekte scheitern. Nicht selten bekommen sie unbefristete Laufzeiten und werden auf Dauerschleife bearbeitet. Um dies zu verhindern hilft es, wenn zuerst eine Situationsanalyse durchgeführt wird. Mit der Unterstützung von Experten kann dies über Benchmarks und strukturierten Interviews in wenigen Tagen erledigt werden. Auf Basis dieser Analyse können nun rentable Projekte anhand der bestehenden Prozesse – und Systemkosten lokalisiert werden.

Aktuelle Problemstellungen und Hemmnisse werden transparent und können bei der Umsetzung entsprechend berücksichtigt werden. Die bestehenden Rahmenbedingungen und die Projekt – bzw. Systemgrenzen können somit klar definiert werden. So ist auch die Zielsetzung und ein gemeinsames Verständnis der Erfolgskriterien gewährleistet.

1.1 Herausforderung Anwender

Der Bau ist eine gewachsene und auf Erfahrungen basierende Branche, die es grundsätzlich gewohnt ist das Know-how von Generation zu Generation weiterzugeben. Die grundlegende Veränderung der Arbeitswelt durch die Digitalisierung und Globalisierung schreitet

auch in der Baubranche voran und verlangt von Arbeitnehmer und Arbeitgeber neue Kompetenzen und Herangehensweisen.

Neben der Art der Wissensvermittlung verstärkt auch der demografische Wandel unserer Gesellschaft das Problem in der Digitalisierung schneller voranzukommen, da in der Baubranche immer weniger geeignetes Personal für den Wandel über alle Hierarchien hinweg zur Verfügung steht. Die Arbeitsbedingungen und die Perspektiven für junge Menschen machen den Bau ebenfalls wenig attraktiv. Aus diesem Grund müssen sich Bauunternehmen Gedanken darüber machen, was sie potenziellen Mitarbeitern bieten können, damit sich diese entscheiden für sie zu arbeiten.

Waren bisher Firmenwagen und Statussymbole ein wichtiger Anreiz, so geht die Tendenz heute in Richtung flacher Hierarchien und eine ausgewogene Work-Life-Balance. Hier treffen nicht nur Alt und Jung aufeinander, sondern komplett unterschiedliche Generationen mit unterschiedlichen Werten und Verhaltensmerkmalen.

Heute und in den kommenden Jahren sind es vier bis fünf Generationen, die gemeinsam an einer Lösung für die Branche arbeiten.

Um ein besseres Verständnis für die Herausforderung bei der Umsetzung digitaler Projekte zu bekommen, liste ich an dieser Stelle stark verkürzt die Generationen sowie deren Motivation und Ausprägung auf. Mir ist dabei klar, dass das Konzept der Generationen kontrovers diskutiert wird und sich diese nur schwer auf Jahrgänge fixieren

lassen. Nichtsdestotrotz gibt es eine Intergenerationsdifferenz zwischen den nachstehenden Generationen, die beachtet werden soll.

Die **Generation Baby Boomer** (1955-1965) mit dem Motto „Leben, um zu arbeiten“ mit einem hohen Stellenwert der Arbeitsplatzsicherheit.

Die **Generation X** (1965-1979) mit dem Motto „Arbeiten, um zu leben“ mit einem hohen Stellenwert der Entwicklungsmöglichkeit und Lebensqualität.

Die **Generation Y** (1980-1994) mit dem Motto „Arbeit muss Sinn machen“ mit einem hohen Stellenwert für Teamwork, flache Hierarchien und Vernetzung.

Die **Generation Z** (ab 1995) mit dem Motto „Arbeit ist nur ein Teil des Lebens“ mit einem hohen Stellenwert für Selbstverwirklichung, Sicherheit und Fokus auf das Privatleben.

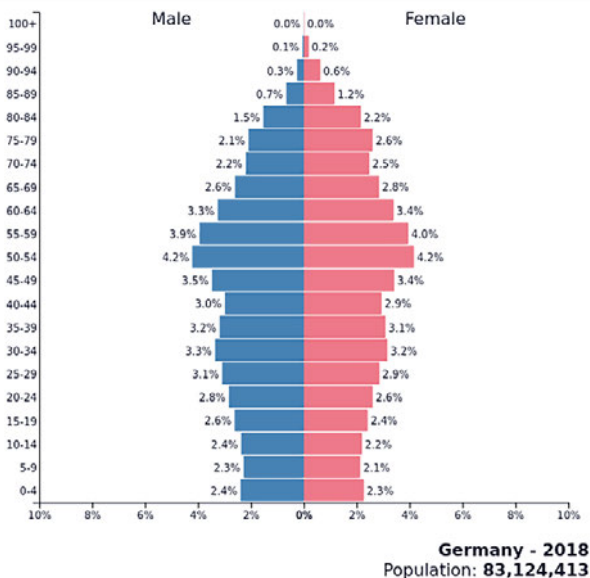


Abb. 1: Populationspyramide 2018 DE

Warum ist es für den Erfolg der Digitalisierung im Bau wichtig, die Merkmale der Generationen zu kennen?

Respekt und Umgangsformen

Generationen haben die Eigenart sich abzugrenzen und dadurch entstehen in der Zusammenarbeit automatisch Konflikte. Wenn beispielsweise ein Projektleiter oder Digitalisierungsbeauftragter des Unternehmens der Generation Y auf Anwender der Generation X oder der Generation Baby Boomer trifft, kann es schnell zu Spannungen und Akzeptanzproblemen kommen. Kommunikation auf Augenhöhe kann hier schnell missverstanden werden.

Werte und Motivationen

Bei der Beschäftigung mit den Generationen geht es allerdings um mehr als nur Konflikte zu verstehen und zu lösen, die bei der Umsetzung von unternehmensweiten digitalen Lösungen auftreten können. Die unterschiedlichen Werte verschiedener Generationen spielen direkt in die Anforderung der gesuchten Lösung hinein und stellen Anwenderrollen, Zugriffsrechte und Datensicherheit der einzelnen Lösungen auf die Probe.

So kann der Wunsch eines Anwenders der Generation Y, die Daten und Informationen vor der Verteilung zu kontrollieren und freigeben zu können, im Gegensatz zur Notwendigkeit der Datenbereitstellung in Echtzeit für Prozess – und Systemsteuerungen stehen. Ablehnung einer solchen Echtzeitzlösung durch den Anwender kann schnell als Angst vor Transparenz verstanden werden. Bei der Umsetzung und Einführung von digitalen Systemen muss somit neben der Teamzusammenstellung, auch auf die Veränderungen in den Zuständigkeiten, Informationszugängen und der persönlichen Stellung im Unternehmen geachtet werden.

1.2 Herausforderung Integration

Die Integration ist aus zweierlei Sichten zu betrachten. Aus der Herausforderung der technischen Aufgaben und aus der Herausforderung der organisatorischen Integration der digitalen Lösungen.

Herausforderungen der Integration



Abb. 2: Herausforderungen der Integration

Sind bei den technischen Herausforderungen die Kompatibilität der Hardware und der Abgleich der unterschiedlichen Programmiersprachen und Datenstrukturen die prioritären Themen, so sind es bei den organisatorischen Punkten meist die doppelten Eingaben der Anwen-

der durch parallele Systeme oder durch die getrennten Arbeitsbereiche zwischen Planung, Arbeitsvorbereitung, Produzenten, Lieferanten, der Baustelle, dem Bauherrn und dem eigenen Office. Zudem sind die IT-Abteilungen oftmals mit den neuen Anforderungen rund um den Betrieb, die notwendigen Prozess-Kenntnisse und durch den geforderten Support für die Anwendung und die Anwender außerhalb der Bürozeiten am Rande der Überforderung.

Wenn man sich die Erstellung eines Bauwerkes als 360° Prozesskreis vorstellt, der mit der Planung des Bauwerkes beginnt und mit dem Betrieb, der Erhaltung, der Erneuerung und vielleicht beim Rückbau endet, um dann wieder mit dem Planungsprozess des Neubaus zu beginnen, kann man nun entlang der einzelnen Prozessabschnitte in die jeweiligen Kreissektoren die beteiligten Abteilungen, die verwendeten Systeme oder die notwendigen Daten und Dokumente aufgetragen. So erhält man sehr schnell einen einfachen Überblick über die vielen parallel eingesetzten Systeme und die daraus resultierenden System – und Organisationsbrüche in der Wertschöpfungskette. Das nachstehende Schema zeigt einen 360° – Prozesskreislauf einer typischen Tiefbaufirma in Deutschland. Sehr gut sind die Systembrüche des eingesetzten ERP Systems, die Vielzahl an Excel Lösungen und die parallel laufenden Systeme erkennbar.

Durch diese Betrachtung wird schnell klar, dass ohne klare Strategie und einen digitalen Bauplan für die Ziel-Systemlandschaft des Unternehmens, das Unterfangen der technischen und organisatorischen Integration der bestehenden Lösungen für eine geschlossene digital unterstützte Wertschöpfungskette ohne System – und Datenbrüche kaum erfolgreich umsetzbar ist.

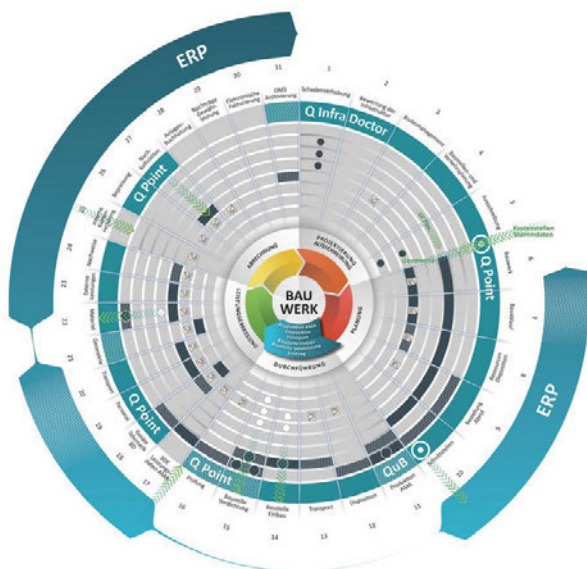


Abb. 3: 360°Prozesskreis neutral

Die getrennten Arbeitsbereiche in einem Unternehmen werden entweder durch ein Monolithen-System nach dem Motto „one-fits-all“ verbunden oder es werden die einzelnen Lösungen des jeweiligen Bereichs Schritt für Schritt über eine unzählbare und unwartbare Flut an Schnittstellen miteinander verbunden.

In beiden Fällen sind die Unternehmen meist auf ihr eigenes Know-how oder das ihrer zugekauften Berater angewiesen, da sich die einzelnen Systemlieferanten meistens wenig offen zeigen, wenn es um das Teilen von Daten oder eine tiefe Integration geht. Aber genau das wäre notwendig, wenn wir von systemübergreifenden Arbeitsprozessen sprechen.

Q Point zeigt mit dem Ansatz der Kollaboration auf, wie Digitalisierung in der Baubranche funktionieren kann und wie viele kleine innovative Anbieter in Europa gemeinsam gegen die globalen Riesen aus Asien und Amerika bestehen können, um somit den eigenen Anwendern und Kunden eine nachhaltige Lösung zu bieten und deren getätigtes Investment sichern können.

Q Point bündelt bestehende und innovative Marken und Lösungen in einem digitalen Cluster, um gemeinsam als Innovationsführer im Bereich der Digitalisierung in der Baubranche auftreten zu können.

Warum ist der digitale Cluster der richtige Weg?

Als digitaler Cluster ist es möglich, ein zeitlich befristetes Alleinstellungsmerkmal und notwendige Markteintrittsbarrieren für Lösungen aus Asien und den USA aufzubauen, um das von Kunden getätigte Investment in Ihre Lösungen zu schützen und den betrieblichen Erfolg der einzelnen Anbieter zu sichern.

Zu den Markteintrittsbarrieren gegenüber Imitatoren aus dem Ausland gehören die Etablierung der Marktführerposition, der Aufbau von Abnehmerloyalitäten, das Setzen von Standards und die Nutzung von Erfahrungskurveneffekten.

Als Innovationsführer am Markt aufzutreten birgt für ein einzelnes Unternehmen ein erhebliches Risiko, wie sich aus der hohen Rate an Misserfolgen bei Produktinnovationen in der Baubranche gezeigt hat.

Ein Unternehmen, welches plant, als Innovationsführer aufzutreten, sollte daher folgende Fähigkeiten aufweisen:

- a. Beherrschung des Standes der Technik im relevanten Technologiefeld,
- b. Verfügbarkeit von ausreichenden Investitionsmitteln bei Bedarf,
- c. erhöhte Flexibilität und geringe Regulationsintensität innerhalb der Organisationsstruktur.

Diese Voraussetzungen zu schaffen, fällt einem Cluster leichter als einem einzelnen Unternehmen in dieser Branche.



Abb. 4: Kooperationspartner / digitaler Cluster

2. Die Lösungen

Da es im Straßenbau keine einheitliche Lösung gibt, konkurriert Q Point mit Spezialisten aus verschiedenen Bereichen der Branche. Es gibt Lücken zwischen Lösungen und Gesetzen, die geschlossen werden müssen, um die Produktivität der Branche zu verbessern. Das Ergebnis dieser Fragmentierung sind hochkomplexe Prozesse und eine Vielzahl digitaler Dienste, die die Abneigung gegen Technologie und Digitalisierung zwischen dem hochkonservativen, nicht technischen Publikum der Branche zusätzlich verstärken.



Abb. 5: Prozess der Bauwerksherstellung und Systemanordnung

Q Point ist entschlossen, eine digitale Infrastruktur zu schaffen, die es der Branche ermöglicht, die besten Ideen und Lösungen von der Mischanlage bis zum Fertiger zu verbinden und einen Bauzyklus zu bilden, der den individuellen Marktanforderungen der Zukunft entspricht. Die Lösung soll die Arbeiten an der Infrastruktur des Straßenbaus erleichtern, indem wir den Datenfluss über Branchenkontaktpunkte und Plattformen verbinden, optimieren und große Datenmengen in greifbare und umsetzbare Informationen umwandeln.

2.1 Q Point

Die Q Point Gruppe versucht dieses Ziel als Member der AMMANN GROUP HOLDING und somit als Schwesterfirma von AMMAN Bau Ausrüstung, AVESCO und t-matix zu erreichen.

Eingebettet in der Gruppe arbeitet Q Point zusammen mit über 20 Kooperationspartnern, 70 eigenen Mitarbeitern und den Anwendern an den Standorten in Österreich, Deutschland und der Schweiz.



Abb. 6: Unternehmensstruktur Q Point Gruppe

2.2 Analyse und Masterplan

Für die erfolgreiche Umsetzung werden zusammen mit der Firma Innovent Construction, nutzbringende Maßnahmen und Handlungsfelder mit dem jeweiligen Kunden erarbeitet. Dazu werden anhand von Standardprozessen, Interviews und relevanten Benchmarks die Handlungsfelder und die erwarteten Potentiale fixiert.

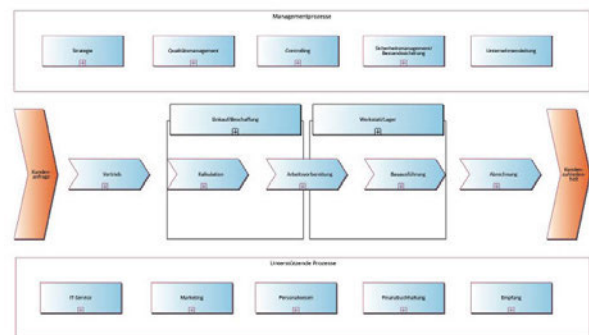


Abb. 7: Prozesslandkarte einer Tiefbaufirma

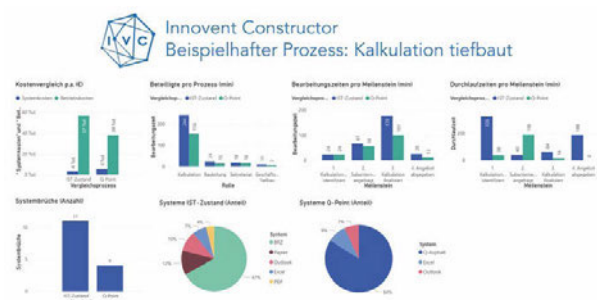


Abb. 8: Kosten, Systembrüche und Nutzendarstellung je Prozess

Auf Basis dieser Analyse wird die Zielstruktur für das Unternehmen definiert und in den 360° Prozesskreis eingetragen. Somit wird für den Entscheider sehr einfach ersichtlich, wie sich die neue Lösung in die bestehenden Systeme einbettet und welche Integrationsaufwände sich durch die Einführung ergeben werden.

Die Frage, die sich jetzt die meisten Unternehmen stellen ist der richtige Zeitpunkt für den Start, wer das Projekt

umsetzen kann, wer wie eingebunden wird und ob die Umsetzung in einem Gesamtprojekt oder doch über einzelne „punktuelle“ Projekte erfolgen soll.

Da diese Entscheidungen meist von vielen unterschiedlichen Faktoren im Unternehmen abhängen, kann hier keine pauschale Aussage oder ein Patentrezept ausgestellt werden, wie ein erfolgreiches Projekt abläuft. Jedoch zeigt sich in der Praxis, dass die nachfolgenden Punkte tendenziell zum Erfolg beitragen.

- Es gibt nicht den falschen Zeitpunkt, um mit der Digitalisierung zu starten. Nicht zu beginnen, wäre falsch.
- Digitalisierung ist Chefsache
- Straffe Gesamtplanung mit punktueller Umsetzung
- Schnelle Erfolge und Nutzen beim Anwender

Bei der Auswahl des Systems ist darauf zu achten, dass neben den funktionalen Anforderungen vor allem auch die nicht funktionalen Anforderungen abgedeckt sind. Die Betrachtung der finanziellen Situation des Lieferanten, die eingesetzte Technologie und deren Lebenszyklus und die Leistungsfähigkeit für den Betrieb, Wartung, Support und Innovation sollten bei der Auswahl einen wesentlichen Faktor einnehmen.

Am Beispiel der Q Point Systeme wird gezeigt, wie mittels Einzelsysteme flexibel über mehrere Schritte ein geschlossenes Gesamtsystem entwickelt werden kann.

Somit werden die Vorteile von Einzelsysteme mit den Vorteilen eines Gesamtsystems kombiniert und die Erfolgchancen für die Umsetzungen erhöht.

2.3 Q Exchange

Q Exchange ist der Basisbaustein der Integration. Er besteht aus einem System von Schnittstellen, mit denen andere Hersteller ihre Applikation in dem digitalen Cluster integrieren können. Über Q Exchange können Produktionsdaten, Mischgutbestellungen, Lieferscheine und andere wesentliche Informationen in Echtzeit ausgetauscht werden. Um eine Q Exchange Schnittstelle zu nutzen, muss der aufrufende Client sich authentifizieren und registriert sein. So wird die Sicherheit der Daten gewährleistet.

Über Q Exchange werden Schnittstellen zu den wichtigsten Systemen am Markt bereitgestellt. So sind Wiegesysteme, Anlagensteuerungen, Buchhaltungssysteme oder Telematik – und Telemetrie – Daten über die standardisierten Schnittstellen abrufbar.

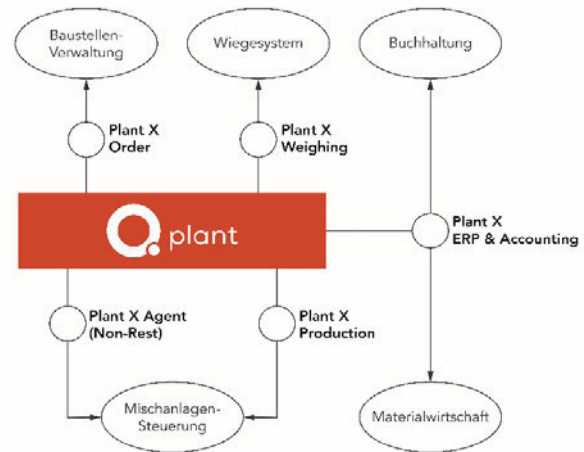


Abb. 9: Schema PlantX Schnittstellen in Q Exchange



Abb. 10: Schema der Integration über Q Exchange

2.4 Q Directories

Q Directories ist ein öffentliches allgemeines Branchenverzeichnis für den Straßenbau. Über Q Directories werden Mischwerke, Steinbrüche und Kiesquellen und deren angebotene Mischgutartikel veröffentlicht oder abgerufen. Jeder Betreiber ist eingeladen, dem Markt Informationen über sein jeweiliges Angebot mittels Q Directories zur Verfügung zu stellen. Die Informationen sind öffentlich und können von Baufirmen und anderen interessierten Organisationen verwendet werden, um Bauprojekte und Bestellungen zu planen.

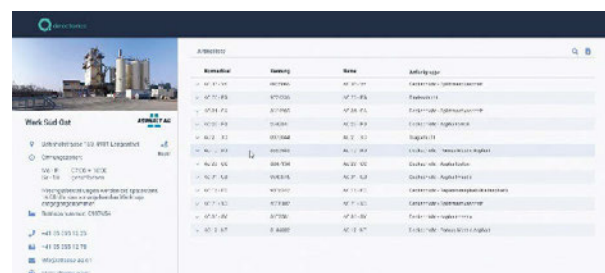


Abb. 11: Screen Q Directories Website

Die Directories X API ist eine zentrale REST API zur Abfrage des Verzeichnisses und zur Pflege der Einträge über Drittsysteme. Neben der manuellen Erfassung von Mischwerken und Artikeln bildet sie den zweiten Kanal, über den Anbieter ihre Informationen pflegen können. Für Kunden von Mischanlagen bietet API eine Alternative zur manuellen Suche nach Anbieter-Information über die Q Directories Webseite.

2.5 Q Plant

Q Plant ist die umfassende Applikation für Betreiber von Mischanlagen, Steinbrüchen oder Kieswerken. In Q Plant werden alle relevanten Systeme eines Produktionsstandorts miteinander verknüpft. Somit stehen zum ersten Mal alle Informationen aus der Anlagensteuerung, dem Wiegesystem, dem Laborprogramm, dem CRM bzw. der Auftragsverwaltung in einer Plattform gebündelt zur Verfügung.

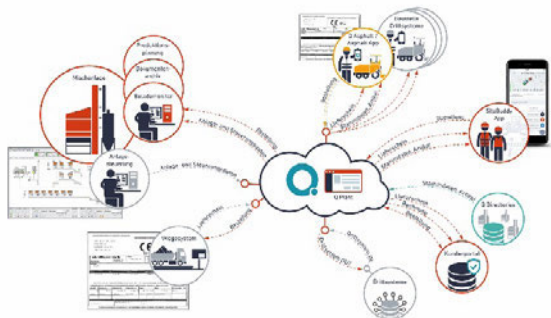


Abb. 12: Integrationsschema Q Plant PRO

Durch die Cloudbasierte Lösung hat jeder Anwender über einen Zugangspunkt jederzeit und von überall Zugriff auf die kompletten Anlagen – und Produktionsdaten, Kundenaufträge, Liefer – und Produktionsstatus, Funktionszeiten, Lieferscheine, Rapporte, Chargenprotokolle, den Energieverbrauch und vieles mehr.

Durch die einzigartige Möglichkeit andere Systeme in Q Plant einzubinden, können Anwender in ihrer gewohnten Umgebung des jeweiligen Systems z.B. Wiegesystem, der Anlagensteuerung oder im ERP System arbeiten und die dabei entstehenden Daten ohne weitere Bearbeitung mit anderen Systemen oder Anwendern in Echtzeit teilen.

Jedes so verbundene System und jeder Arbeitsbereich in Q Plant verwaltet und entscheidet dabei selbst über die Zugriffe und die Art der Datenteilung. So sind trotz offener Schnittstellen der Datenschutz und Datensicherheit immer gewährleistet.



Abb. 13: Arbeitsplatz auf einer Mischanlage mit Q Plant

Q Plant stellt den Kunden der Mischanlage einen papierlosen Bestellservice zur Verfügung. So können die Kunden ihre Bestellungen digital über die mobile SiteBuddy App oder andere standardisierte Wege einreichen. Anhand der so eintreffenden Kundenbestellungen wird sowohl ein elektronischer Produktionsplan als auch die Beladefolge für die LKW-Disposition und die Waage generiert. Taktpläne und Lieferpläne für die JIT Versorgung der Baustelle können unter Berücksichtigung der bestmöglichen Auslastung und Effizienz der Anlage erstellt werden.

2.6 Q Asphalt

Q Asphalt ist die weltweit fortschrittlichste Prozess Steuerungssoftware, da sie neben der Koordination und Harmonisierung der Arbeitsprozesse und Informationsflüsse zwischen den Systemen entlang der Wertschöpfungskette, auch den eigentlichen Prozess des Asphalteinbaus komplett plant, steuert und dokumentiert.

So können mit Q Asphalt die Bauprozesse im Asphaltstraßenbau organisiert und über die gesamte Wertschöpfungskette, von der Ausschreibung bis zum Rückbau, abgedeckt werden. Mit den Partnersystemen bietet Q Asphalt somit das erste 7D Tool für den Asphaltstraßenbau und erfüllt alle erforderlichen Normen für Baustellen nach QSBW4.0, Kompaktasphalt und Regelungen aus der Qualitätsoffensive Asphaltstraßenbau.

In der Anwendung ist das System trotz des großen Umfangs intuitiv und in wenigen einfachen Schritten durch die Anwender zu bedienen. Jeder Projektbeteiligte hat genau die Kennzahlen im Blick, welche er für seinen Bauablauf unmittelbar benötigt. Aus den unzähligen Daten aller am Prozess beteiligten Systemen werden Informationen und Handlungsempfehlungen durch die praxiserprobten Algorithmen errechnet. So passt sich das System dynamisch an die vom Anwender gewählte Abarbeitung an und berechnet laufend Kosten und Zeiten auf Basis der aktuellen Position des Arbeitsfortschritts im Bauwerk.



Abb. 14: Integrationsschema Q Asphalt

So ist es trotz einer hohen Standardisierung möglich, dass jeder Bauablauf flexibel und mit einem unterschiedlichen Grad an integrierten digitalen Lösungen gestaltet werden kann. Die Abwicklung einer BIM Baustelle, eines Kompaktasphalt Projektes oder eine einfache Sanierung eines Schlaglochs kann mit Q Asphalt ohne große Umstellung und Anpassung durchgeführt werden. Dabei passt sich das System immer an den Komplexitätsgrad an, der vom Anwender benötigt wird. Die Daten werden von der kleinsten bis zur größten Baustelle im gleichen Detaillierungsgrad dokumentiert und stehen so für Analysen und Berichte für alle Bauwerke zur Verfügung.

2.7 Q Dispo

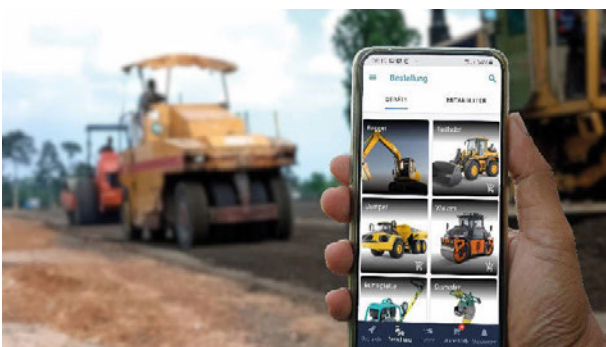


Abb. 15: Baustellen-App Q Dispo

Mit dem System Q Dispo ist es gelungen, sämtliche Datenpunkte nach logischen Gesichtspunkten in einem Unternehmen für die Disposition aller Ressourcen zu verknüpfen. Das System spannt innerhalb des Bauwerksprozesses aus einzelnen Datenpunkten ein riesiges Datennetz und verknüpft die geplanten Ressourcenbedarfe automatisch mit Transportbedarfen, Mitarbeitererein-

sätzen, Wartungsaufträgen bis hin zur Betankung und der automatischen Kostenstellenzuordnung. Der komplette Dispositionsprozess wird lediglich durch die einfache mobile Bedarfsanmeldung ausgelöst.

In Verbindung mit dem ERP Systemen und der mobilen Leistungserfassung kann Q Dispo sämtliche Abläufe in Echtzeit zur optimalen Versorgung der Baustelle unterstützen.

2.8 Partner

Q Point stellt stets den Kunden und seinen Nutzen in den Mittelpunkt. Da jeder Kunde sowie jede Baustelle einzigartig ist, bietet Q Point mit dem digitalen Cluster nicht nur eigene Lösungen und Dienstleistungen an, sondern arbeitet mit wichtigen Marktteilnehmern offen zusammen, um alle Anforderungen des Kunden bestmöglich erfüllen zu können.

Alle Partner werden über ein Partnerkonzept eingebunden, welches in drei Stufen den Grad der Zusammenarbeit mit dem jeweiligen Partner einstuft. Dabei beläuft sich die Zusammenarbeit von einer Anbindung der Systeme über die standardisierten Schnittstellen von Q Exchange sind bis hin zur gemeinsamen Produktentwicklung und Produktvermarktung.

2.8.1 Q Point Partner

- Q Telematics – t-matix solutions gmbh
- Q Storage – Rocklog GmbH
- Q Compaction – Völkel Mikroelektronik GmbH
- Q Pave von Völkel Mikroelektronik GmbH
- Prozessberatung – Innovent Construction by Innovent Consulting GmbH
- Transportlösungen – Fliegl Bau – & Kommunaltechnik GmbH
- Digitalisierungsberatung – Build Analytics
- Transportkoffer – ILLTEC Engineering e.U.

2.8.2 Q Point Certified

- Q Mawi – Batsch Waagen & EDV GmbH & Co KG
- Q Docu – docutools GmbH
- Q Weather – Ubimet GmbH
- AS1 Steuerung – Ammann AG
- AS1 Wiegesystem – Ammann AG
- ServiceLink – Ammann AG
- Butler Wiegesystem – Batsch Waagen & EDV GmbH & Co KG
- Lastrada – Dr. Jung & Partner Software & Consulting AG

KONTAKT

Q Point GmbH

Tel: +43 1 319 20 90; E-Mail: office@q-point.com

Digitale Bauprozesse im Straßenbau

Daniel Heuberger

Volz Consulting GmbH

Durch die hohe Komplexität im Straßenbau verliert man leicht den Überblick. Deshalb wurde mit BPO (Bauprozessoptimierung) über mehrere Jahre das fortschrittlichste Planungs- und Echtzeitsystem für den Asphaltstraßenbau entwickelt. Immer mit dem Fokus, dass ein solches Planungs- und Steuerungssystem auch dort angewendet werden kann, wo es hin gehört: Auf die Baustelle. BPO ASPHALT ist sofort einsatzbereit. Sie brauchen keine teure Spezialhardware. Lediglich ein Laptop, Tablet-PC oder Smartphone genügt. BPO ASPHALT entlastet den Bauleiter und macht die Bauplanung mobil, berechnet die nötige Einbauparameter und minutengenaue Zielvorgaben, erzeugt automatisch alle Planungsunterlagen, reagiert flexibel auf Änderungen und vernetzt in Echtzeit die Mischanlage mit den LKW und der Baustelle.

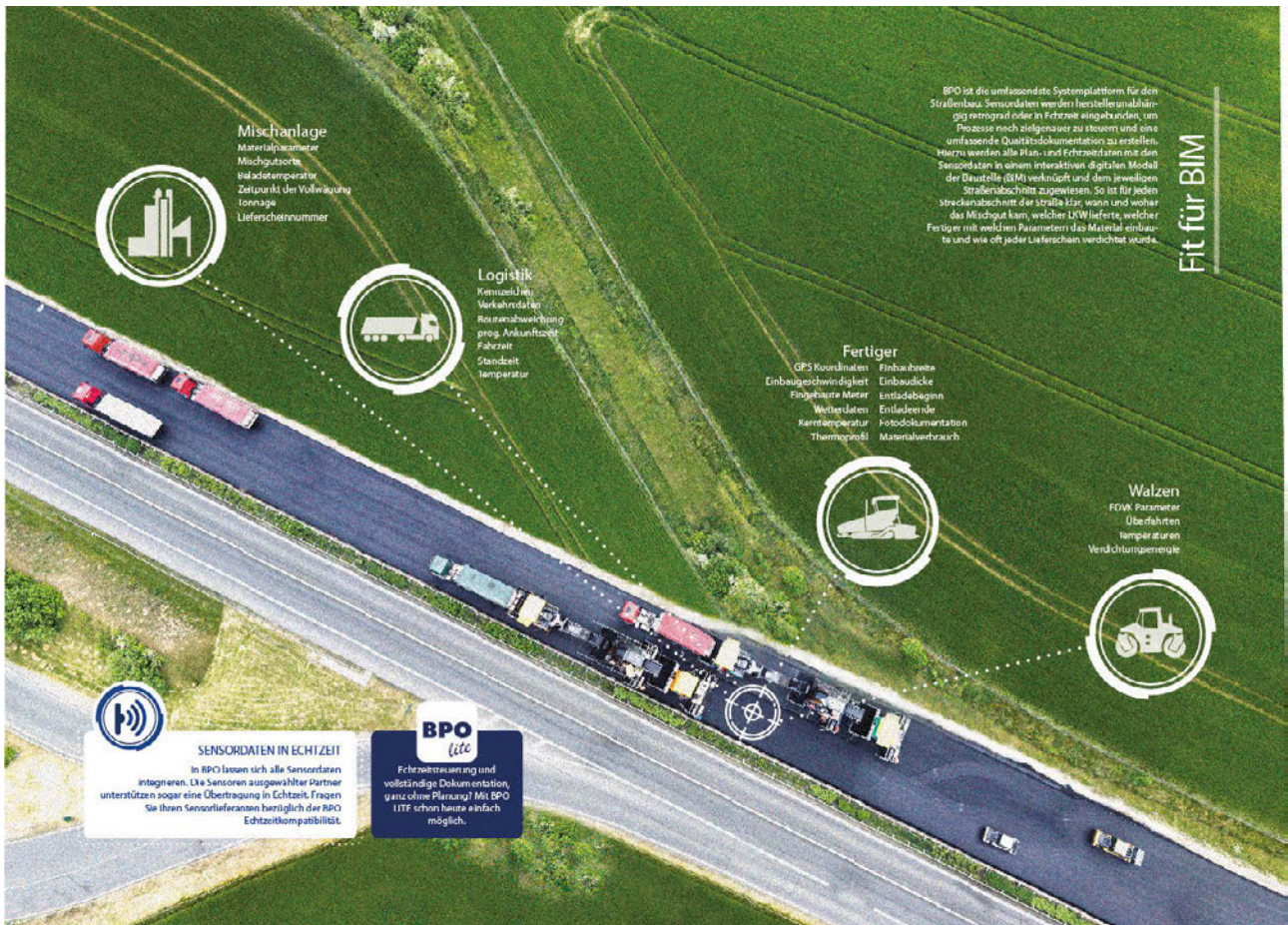
Der Planungsprozess im Straßenbau ist deutlich komplexer als in vielen anderen Branchen. Ständig wechselnde Rahmenbedingungen erfordern schnelles Reagieren und machen zahlreiche Planänderungen notwendig. Genau für diesen Zweck haben wir eine Synthese aus modernster Software- und Mobile-Technologie geschaffen.

BPO ASPHALT verkürzt den gesamten Planungsprozess auf wenige Minuten und steigert gleichzeitig die Planungsgüte, indem alle zur Verfügung stehenden Informationen genutzt werden. Mit BPO ASPHALT planen Sie effizienter, schneller, einfacher und wenn nötig auch von unterwegs. Die Projektplanung führt den Nutzer in wenigen Schritten zu einer vollständigen Bauzeiten- und Bauablaufplanung. Das Einbau- und Logistikkonzept wird erstellt und das deutlich detaillierter und schneller als es bisher üblich ist. Das Beste: BPO ist völlig flexibel. Änderungen während der Bauausführung sind kein Problem

und auch wenn der Bauablauf mitten am Tag geändert werden muss. BPO unterstützt Sie genau so, wie Sie es erwarten.

Nachdem in der Projektplanung alle benötigten Daten der Baumaßnahme definiert wurden, wird der Bauablauf in der Taktplanung detailliert geplant. Anhand aller Einbauparameter wird der gesamte Bauablauf getaktet und Vorgabewerte für Mischanlage, LKW-Logistik und Baustelle berechnet. Das Ergebnis ist ein minutengenaue Soll-Bauablauf nach dem Just-in-Time Prinzip. Die Ergebnisse werden in einem Taktogramm oder einer Simulation für alle Verantwortlichen übersichtlich dargestellt. Die Taktplanung ist die Basis für das umfassende Logistikkonzept, das alle wichtigen Baustellenparameter übersichtlich in einem Planungsreport bündelt.

Zur Analyse des Baufortschritts wird jeder Lieferschein wird mit dem jeweiligen Entladeort verknüpft. Nach Abschluss der Baumaßnahme kann nachvollzogen werden, wo welcher Lieferschein entladen und eingebaut wurde. Alle verfügbaren Daten sind über den kausalen Zusammenhang des Bauablaufs verknüpft und stehen auf Knopfdruck zur Analyse bereit. So werden unter anderem die Uhrzeit der Entladung, die eingebaute Tonnage, die Mischgutsorte, die Entladetemperatur, Lieferschein- und LKW-Kennzeichen, das Nummernschild, der Einbauort und viele weitere Daten wie Sensoren dokumentiert und können in interaktiven Diagrammen und der integrierten Business Intelligence Lösung (BI) ausgewertet werden. Durch die interaktiven Auswertemöglichkeiten, kann leicht erkannt werden, ob die Soll-Vorgaben erreicht wurden und ob für künftige Bauvorhaben der Kalkulationsansatz angepasst werden muss.



Die BPO Lizenznehmer umfassen:

- 10 Systemsprachen
- 12 Länder
- 80 Bauunternehmen
- Über 70 Millionen Tonnen Asphalt pro Jahr
- 800 Kolonnen
- 10.000 Bauleiter und Planer
- 13.000 Echtzeittage pro Jahr

Software so dynamisch und flexibel, wie der Bauprozess – Wie Netflix hilft, die Asphaltlogistik zu steuern

Dr. Marcus Müller

Smart Site Solutions GmbH, Nürtingen, Deutschland

Volker Natzschka

STRABAG GmbH, Stuttgart, Deutschland

Zusammenfassung

Die digitale Transformation im Bauwesen ist in vollem Gange. Dabei entstehen komplexe und heterogene Systemlandschaften, die längst nicht mehr an den Grenzen des eigenen Bauunternehmens halt machen. Diese Landschaften sind die Folge dynamischer und ausdifferenzierter Wertschöpfungspartnerschaften und die Fortsetzung der dem Bauwesen inhärenten Zersplitterung der Leistungserstellung in der digitalen Welt. Resultat davon sind hochindividuelle Prozesslandschaften, die innerhalb des Bauunternehmens zwar standardisiert sind, in verschiedenen Bauunternehmen aber hinsichtlich der eingesetzten vor- und nachgelagerten Systeme, Verfahren und Wertschöpfungsnetzwerken einen Unikatcharakter aufweisen. Eine One-Size-Fits-All Software-Lösung ist dem aktuellen Zeitgeist der Baudigitalisierung nicht mehr gewachsen. Moderne Systeme setzen auf technische und organisatorische Offenheit, gepaart mit performanten Schnittstellenstandards und hochflexiblen Ansätzen moderner Internetkonzerne. So können Lösungen geschaffen werden, die sich den Bauunternehmen und ihren Prozessen anpassen – und nicht umgekehrt. Dies hilft, Stillstände im Einbau zu minimieren und in Folge Abzüge durch Qualitätsmängel zu vermeiden. Unproduktive Tätigkeiten werden reduziert; Geräte und Personal optimal ausgelastet.

1. Einleitung

Effizientes Bauen verlangt heute mehr denn je ein perfektes Zusammenspiel komplexer Einzelsysteme auch über die Grenzen des eigenen Unternehmens hinaus. Von Bauprojekt zu Bauprojekt ändern sich die Strukturen des Wertschöpfungssystems und damit auch die zu vernetzenden Software-Tools. Dies ist eine grundlegende Charakteristik der Bauwirtschaft, mit der moderne Software-Systeme umgehen können müssen.

Spätestens seit dem Aufkommen von Cloud-Software ist die Wichtigkeit standardisierter Schnittstellen und offener Datenformate unbestritten. Heute dringt kaum noch eine neue Software auf den Markt, die nicht nach dem, in der Software-Welt bekannten Paradigma „API First“ (dt. „Schnittstellen zuerst“) entwickelt wurde. Die Internetkonzerne machen es vor. Sie schaffen offene und flexible Schnittstellen, über die sich beliebige Software leicht an die uns allen bekannten Plattformen aus dem Silicon Valley anschließen lassen und sich wechselseitig Funktionen bereitstellen. Manche Systeme sind so integriert, dass wir heute wie selbstverständlich ein mit dem Smartphone gemachtes Foto auf einen Cloud-Speicher laden und von dort in einem Sozialen Netzwerk teilen.

Dazu bedarf es jedoch einer modernen Software-Architektur. Seit etwa Mitte der 2000er Jahre lösen zunehmend modular aufgebaute, lose – und somit flexibel – miteinander gekoppelte Systeme starre Software-Monolithen ab. Zwar können auch diese Systeme Schnittstellen bereitstellen, jedoch verbleiben sie im Hinblick auf ihre Flexibilität, Skalierbarkeit und Stabilität meist weit hinter Systemen mit modernen Architekturen zurück. Genau aus diesem Grund haben solche Systeme meist einen One-Size-Fits-All-Ansatz; flexiblen Anforderungen werden sie nur schwer gerecht. Somit gesellen sich zu den One-Size-Fits-All-Systemen immer mehr innovative Lösungsanbieter. Mit entsprechend standardisierten Schnittstellen und einem modularen Aufbau adressieren sie die Anforderungen von dynamischen Wertschöpfungssystemen sehr effizient.

Beschleunigt wird diese Entwicklung durch die zunehmende Verfügbarkeit wichtiger Grundlagentechnologien. Diese wurden seit etwa Mitte der 2010er Jahre als Open Source von Unternehmen wie Google, Microsoft, Netflix oder Amazon zur Verfügung gestellt und beschleunigen die Software-Entwicklung wesentlich bzw. sorgen für die notwendige hohe Skalierbarkeit, Kombinierbarkeit und Ausfallsicherheit.

Beispielsweise können hoch belastbare Systeme zur parallelen Steuerung von einer Vielzahl an Baustellen auf Technologien aufgebaut werden, die von Netflix entwickelt wurden, um Millionen von Nutzern stabil mit Streaming-Diensten zu versorgen. Daten werden mit Software verwaltet, die von den Datenspezialisten Google, Amazon oder Microsoft stammt und heute als Open Source auf eigenen Servern betrieben und integriert werden kann.

2. Innovation in der Bauwirtschaft

In gleich mehreren Studien belegt die Bauindustrie eher die hinteren Plätze in Sachen Digitalisierung [1, 2]. Die Branche holt aber stark auf. Dies zeigen die Ergebnisse bereits abgeschlossener und aktuell laufender Forschungsprojekte sehr deutlich. Die in Wissenschafts-Praxis-Kooperationen entwickelten Zukunftstechnologien helfen dabei, dringend benötigte Produktivitätszuwächse zu erreichen und demographisch bedingten Kapazitätsengpässen entgegenzuwirken.

Während das verarbeitende Gewerbe 85% der insgesamten Forschungs- und Entwicklungsaufwände auf sich vereint, sind es im Baugewerbe gerade einmal 0,12%. Selbst die Land- und Forstwirtschaft hat mit 0,25% einen mehr als doppelt so hohen Anteil an den insgesamten FuE-Aufwänden, wie das Baugewerbe. In der Land- und Forstwirtschaft stiegen die FuE-Aufwände zwischen 2007 und 2017 um das 1,8fache an und im verarbeitenden Gewerbe immerhin um das 1,6fache. Die Bauindustrie spielt mit einem Anstieg um das 1,4fache hier nur im Mittelfeld [3].

Dennoch haben sich in den vergangenen Jahren einige Forschungsprojekte mit Leuchtturmcharakter innerhalb der Baubranche entwickelt. Die in öffentlich geförderten Innovationspartnerschaften umgesetzten Lösungen sind wegweisend für die Digitalisierung der Branche. Nicht zuletzt haben sich ganze Innovations-Ökosysteme gebildet. Diese verschaffen den beteiligten Unternehmen einen wesentlichen Vorsprung und gewährleisten den unmittelbaren Zugang zu einem effizienten Knowhow-Transfer.

Die Erforschung der Digitalisierung ganzer Wertschöpfungssysteme im Straßenbau stellt eine besondere Herausforderung dar, da Co-Innovationen auf gleich mehreren Ebenen bewerkstelligt werden. So hat bspw. das Forschungsprojekt SmartSite (BMW-Programm „Autonomik für Industrie 4.0“, 2013-16, www.smartsite-project.de) Lösungen für

- (1) die Rückmeldung von Daten in das BIM-Modell,
- (2) die modellbasierte Steuerung autonom fahrender und im Team agierender Baumaschinen sowie

- (3) die automatisierte Logistikprozesssteuerung auf Basis der verteilten künstlichen Intelligenz

simultan entwickelt und auf Baustellen erprobt [4, 5].

Im SmartSite-Folgeprojekt „Qualitätsstraßenbau Baden-Württemberg 4.0“ (QSBW4.0, Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg, 2017-18) wurden die Forschungsergebnisse strukturiert genutzt und finden sich heute in den verschiedenen Produkten und Dienstleistungen der beteiligten Unternehmen und entstandenen Startups wieder [6, 7].

Das Forschungsprojekt SmartSite zeigt, wie sich Innovationspartnerschaften zwischen Bauindustrie, baubetrieblicher Forschung und Informatikforschung über Jahre hinweg aufbauen, weiterhin stabil existieren und Innovationen von den ersten Forschungsideen über Prototypen bis hin zu neuen marktgängigen Produkten, innovativen Dienstleistungen und neuartigen Ausschreibungskonzepten (QSBW4.0) vorangetrieben werden können.

3. Digitale Wertschöpfungsnetzwerke

Papierberge, doppelte oder mehrfache Datenerfassung, zahllose Telefonate, fehlende und verstreute Daten mit hohen Suchaufwänden. Das gehört noch immer genauso zum Alltag vieler Bauleiter und Einbaumannschaften wie Stress, Hektik und das fortwährende „Feuerlöschen“. Sollen diese Probleme gelöst werden, ist ein perfektes Zusammenspiel komplexer Einzelsysteme über Unternehmensgrenzen hinweg nötig. Intelligente Algorithmen automatisieren datenbasiert die Planung und Ausführung und unterstützen so die Beteiligten effizient, ohne dabei durch die Digitalisierung auch noch Zusatzaufwand zu erzeugen.

Genau hier setzt das Software-Produkt Smart Site One (SSO) zur dynamischen Echtzeitsteuerung der Asphaltlogistik an. In langjähriger Forschungs- und Entwicklungsarbeit wurden moderne Technologien und innovative Ansätze aus der Informatikforschung mit etabliertem Bauwissen vereint und zur Produktreife gebracht.

Im Bauablauf sammelt SSO selbständig alle wichtigen Daten über Sensoren und Schnittstellen. In der Cloud wird der optimale Ablauf der Baustelle vorausberechnet (s. Abb. 1). SSO setzt dazu auf künstliche Intelligenz. Materialproduktion, Transport und Einbau werden so stets zueinander in Einklang gebracht und alle Beteiligten bleiben informiert. Voraussichtliche Ankunftszeiten und -temperaturen, Rundenzeiten, Restmengen sowie Soll-Ist-Vergleiche, Mehr-/ Mindereinbaumengen oder Beladetaktungen und Einbaugeschwindigkeiten (Soll/Ist) usw. sind immer aktuell und anwenderfreundlich aufbereitet. Dies vermindert Stillstände und Abzüge in Folge von Qualitätseinbußen.



Abb. 1: Smart Site One optimiert die Logistik entlang der gesamten Lieferkette und nutzt dabei IoT-, KI- und Cloud-Technologien.

Smart Site One passt sich automatisch den Geschehnissen auf der Baustelle an. Ausfälle von LKW, Veränderungen in der Einbaurichtung oder der Reihenfolge der Einbauabschnitte, veränderte Beladeleistungen, Staufahren und in der Folge die veränderten Umlaufzeiten und ähnliches erkennt SSO von allein. Ausfälle von Fertigern oder Mischanlagen werden in SSO eingespeist. SSO reagiert auf alle Änderungen dynamisch und in Echtzeit, z.B. mit der Anpassung der Beladetaktung und einer Empfehlung für die optimale Einbaugeschwindigkeit. Dafür sorgen u.a. Stau- und Routing-Services, Wetterdienste sowie Schnittstellen zu Mischanlagen und zur Maschinen-Hardware. Ziel ist es, die Effizienz und Produktivität auf Baustellen durch Automatisierung und Digitalisierung weiter zu steigern.

So wird bspw. die Kommunikation mit dem Mischwerk auf den digitalen Kanal verlegt. Dies spart Anrufe und zeitintensive Abstimmungen. Über SSO erfolgen Mischgutabrufe, Vorabinformationen oder die Verweigerung von Materialannahmen, da z.B. das Material zu kalt auf der Baustelle ankommt. Hierfür berechnet SSO die erwartete Ankunftstemperatur und gibt so dem Einbaupolier wichtige Informationen über das ankommende Material.

4. Stillstände werden reduziert

Ein Ziel, das mit dem Einsatz von SSO zur Steuerung der Asphaltlogistik verfolgt wird, ist der kontinuierliche, möglichst unterbrechungsfreie Einbau. Um den Effekt von SSO auf die Stillstandzeiten eines Fertigers zu untersuchen, wurden in der aktuell laufenden Asphaltseason 2020 Vergleichsstudien unternommen. Dazu wurden Baustellen aus fünf Kategorien, von Stadtstraßen bis Autobahnen, ausgewählt. Pro Kategorie wurde je eine konventionell – d.h. ohne SSO – ausgeführte Baustelle (N=5) und mehrere mit SSO ausgeführte Baustellen (N=18) untersucht. Für die SSO-Baustellen lieferte das System alle relevanten Daten. Für die konventionell ausgeführten Baustellen wurden Multimomentaufnahmen zu den Stillstandzeiten durchgeführt. Jede Baustelle lief über mehrere Tage (Summe: 85 Tage) und es wurden Trag-, Binder- und Deckschichten eingebaut.

Erhoben wurden die Einbau- und Stillstandzeiten der Kolonne im Asphalteinbau und die Einsatzzeiten als Summe von Einbauzeit und Stillstandzeit. Anschließend wurden die Stillstandzeiten in das prozentuale Verhältnis zu den jeweiligen Einsatzzeiten gesetzt. Pro Kategorie wurden dann die Verhältniszahlen für konventionelle und mit SSO ausgeführten Baustellen verglichen (siehe Tabelle 1).

Tab. 1: Stillstände als Relation von Stillstandzeit und Einsatzzeit.

Kategorie	Konventionell	Smart Site One	Reduktion
Stadtstraße	39,90 %	26,70 %	33,08 %
Kreisstraße	22,60 %	15,70 %	30,53 %
Landesstraße	18,80 %	14,20 %	24,47 %
Bundesstraße	21,40 %	15,50 %	27,57 %
Autobahn	18,80 %	11,10 %	40,96 %
Arith. Mittel	29,40 %	14,70 %	31,53 %

Die Vergleichszahlen zeigen eine im arithmetischen Mittel über alle Baustellen reduzierte Stillstandzeit von 31,53%. Mithin konnten durch den Einsatz von SSO die Stillstände um fast ein Drittel reduziert werden. Eine besonders hohe Reduktion zeigte sich auf Autobahnbaustellen. Hier konnten durch den Einsatz von SSO besonders geringe Stillstandzeiten (in einem Fall sogar nur 2,6%) erzielt werden. Aber auch auf städtischen Straßen zeigt sich eine Reduktion von knapp einem Drittel, während auf Landesstraßen die Reduktion der Stillstandzeiten durch SSO nur knapp ein Viertel umfasst.

Dies zeigt, dass insbesondere in verkehrsreichen Umgebungen (Stadt- & Kreisstraßen, Autobahn) die dynamische Logistiksteuerung durch SSO einen großen Vorteil gegenüber dem konventionellen Einbau bringt.

5. Limitationen

Multimomentaufnahmen von konventionellen Asphaltbaustellen sind sehr aufwendig. Die damit begründete geringe Zahl an Datensätzen für konventionell ausgeführte Baustellen erhöht den Einfluss von Ausreißern. Mit SSO können alle Datensätze automatisch erhoben werden. Mit der höheren Anzahl an untersuchten SSO-Baustellen glätten sich mögliche Ausreißer besser.

Die Multimomentaufnahmen auf konventionellen Baustellen beschränken sich auf die Situation am Fertiger. Mit manuellen Verfahren können nicht alle der zahlreichen Einflussparameter auf die Fertigerstillstände (Beladequoten, LKW-Umläufe, Verkehrssituationen etc.) erhoben werden. Obwohl diese Daten alle in SSO verfügbar sind, wurde aus Gründen der Vergleichbarkeit auch für die SSO-Baustellen nur auf den Faktor Stillstandzeit abgestellt.

6. Zusammenfassung

Trotz der Limitationen konnte mit dem vorliegenden Artikel ein erster Vergleich zwischen konventionellem und Softwareunterstütztem Asphalteinbau vollzogen werden. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass eine dynamische Logistiksteuerung Stillstände reduzieren kann und somit in Folge den Einbau verstetigt. Dies reduziert nicht nur den Zeitanteil unproduktiver Tätigkeiten, sondern trägt auch wesentlich zu einem qualitätsgesicherten Einbau bei und verminderte in Folge Abzüge durch Qualitätsmängel.

Quellenverzeichnis

- [1] Barbosa, F., Woetzel, J., Mischke, J., Ribeirinho, M. J., Sridhar, M., Parsons, M. & Brown, S. (2017). Reinventing construction: A route to higher productivity. McKinsey Global Institute.
- [2] Schober, K.-S., Hoff, P. & Nölling, K. (2016). Digitalisierung der Bauwirtschaft. Roland Berger Competence Center Civil Economics, Energy & Infrastructure.
- [3] BMBF Bundesbericht Forschung und Innovation (2019). <https://www.datenportal.bmbf.de/portal/de/Tabelle-1.5.1.html>.
- [4] Kuenzel, R., Teizer, J., Mueller, M., Blickle, A. (2016). SmartSite: Intelligent and autonomous environments, machinery, and processes to realize smart road construction projects. *Journal of Automation in Construction*, Bd. 71, S. 21-33.
- [5] Müller, M., Hubl, M., Merkert, J., Kuenzel, R., Meyl, S., Nill, V. (2016). Intelligent Road Pavement Logistics. *Proceeding of the Multikonferenz Wirtschaftsinformatik (MKWI 2016)*, S. 365-376.
- [6] Ministerium für Inneres, Digitalisierung und Migration Baden-Württemberg (2018). Erster Digitalisierungsbericht der Landesregierung Baden-Württemberg. [digital-bw.de/digitalisierungsbericht01](https://www.digital-bw.de/digitalisierungsbericht01).
- [7] Schmidt, V., Zimmermann, R. (2019). Qualitäts-Strassenbau Baden-Württemberg 4.0. *VSVI Aktuell*, Nr. 1, April 2019.



**Baustoffrecycling/
Betonsanierung**

Wirtschaftliche Erneuerungsbauweisen – Neue Möglichkeiten der Verwertung von Straßenaufbruch und Boden an Ort und Stelle

Dipl.-Ing. Ottmar Rienhoff-Gembus

RG Solutions
56593 Horhausen
Deutschland

Zusammenfassung

Die Infrastruktur ist in die Jahre gekommen und große finanzielle und organisatorische Anstrengungen sind zu unternehmen, um den aktuell schnell voranschreitenden Verfall der Substanz durch die Erhaltung zu verlangsamen. Zudem werden die Klimaveränderungen spürbar, und der dringend gebotene Klimaschutz wird endlich auch im Straßenbau diskutiert. Ein maßvoller, nachhaltiger Umgang mit Ressourcen erfordert ein Umdenken, um die Chancen neuer Verfahren und Methoden zu nutzen zum Wohle aller.

Einige gehen diesen unbequemen Weg seit einiger Zeit mit großem Erfolg. Denn sie verwerten die vorhandenen Materialien in höchstem Maße konsequent vor Ort. Verschiedene Lösungen sind verfügbar – wenige haben sich bereits bewährt. Damit sind zwar nicht alle Probleme gelöst, aber wir sind auf dem Weg, klimaneutral Straßen zu bauen, einen guten Schritt weiter.



Bild 1: In Stuttgart entschieden sich die Verantwortlichen für eine Straßensanierung mit Verfestigung des bestehenden Materials und anschließendem Überbauen mit Asphalt. Hier die Situation nach dem Asphaltausbau.

1. Überbau statt Aufriss

Der Straßenunterhalt belastet viele kommunale Haushalte. In Stuttgart und Rottweil (Baden-Württemberg) setzten die Verantwortlichen bei der Sanierung auf ein zeitsparendes und zugleich klimaschonendes Verfahren. Der Verkehr auf Deutschlands Straßen ist so dicht wie nie zu-vor. Noch nie rollten so viele Pkw und Lkw über den Asphalt wie heute. Anfang 2019 waren laut Kraftfahrt-Bundesamt 64,8 Mio. Kraftfahrzeuge in Deutschland zu-

gelassen. Hinzu kommen Millionen von ausländischen Autos und Lastwagen, die Deutschland als Transitland durchqueren. Je mehr die europäische Wirtschaft floriert, desto mehr Lkw sind unterwegs. Die deutschen Straßen sind dabei der Knotenpunkt, über den die Fahrtrouten sowohl von Nord nach Süd als auch von West nach Ost verlaufen.

Diese Vielzahl an Fahrzeugen hinterlässt Spuren: Straßenschäden wie Risse im Asphalt, Schlaglöcher und Unebenheiten. Für Bund, Landkreise, Städte und Gemeinden bedeutet dies immense Kosten, die notwendig sind, um die Schäden zu beseitigen.

Die maroden Straßen bereiten den Verantwortlichen in den Bauämtern zunehmend Kopfschmerzen, sollen sie doch die Kosten im Rahmen halten, die Umbaumaßnahmen schnell abschließen und gleichzeitig auf die Umweltverträglichkeit achten. So wird beispielsweise der dringend gebotene Klimaschutz auch im Straßenbau diskutiert. Ein maßvoller, nachhaltiger Umgang mit Ressourcen ist auch bei Straßen-Sanierungsarbeiten unumgänglich. Die bisherige Vorgehensweise, die Baustoffe von weit her zu transportieren, einzubauen und dabei gebrauchte Baustoffe nur zum Teil zu verwerten, ist deshalb nicht mehr zeitgemäß. Denn die Methode führt dazu, dass die nicht verwendeten Baustoffe teuer entsorgt werden müssen. Zudem werden die Straßen durch die anfallenden Transporte noch mehr belastet. Für die

Sanierung zerstörter Straßen müssen daher andere Verfahren zum Einsatz kommen.

Stabilisieren und überbauen in Rottweil

Vor diesem Problem stand auch Joachim Hilser vom Straßenbauamt Rottweil in Baden-Württemberg. Die Sanierung der Kreisstraße 5508 zwischen Glatt und Hopfau stellte ihn zusätzlich vor die Herausforderung, dass das Straßenmaterial teilweise mit Teer und anderen Schadstoffen belastet war. Zudem sollte das vorhandene Material recycelt werden. Auch sollte auf Umleitungen, die stets einen erhöhten Zeitaufwand mit sich bringen, verzichtet werden. Mit der konventionellen Technologie wäre die Komplettsanierung der Straße im vorgegebenen Zeitfenster und mit den vorgegebenen Auflagen nicht zu realisieren gewesen. Daher entschieden sich die Verantwortlichen für eine Kombination der Stabilisierung der bestehenden Straße mit dem Spezialbindemittel Novo-Crete® ST 98 und dem Überbauen mit Asphalt.

Im Gegensatz zur konventionellen Methode, bei der die Asphaltdecke abgetragen und die Straße von der untersten Schicht an neu aufgebaut wird, wird dabei die Straße durch das Auffräsen und Einmischen von Spezialbindemittel unter der Zugabe von Wasser stabilisiert. Die vorhandenen Materialien werden somit zu einem neuen Straßenunterbau zusammengefügt. Bereits 24 Stunden später kann der neue Asphaltbelag aufgebracht werden. Dieser kann deutlich dünner gebaut werden als herkömmlich, da die Tragfähigkeit dieser Schicht höher als der herkömmliche Straßenunterbau ist. Diese Methode kann daher innerorts genauso wie außerorts, bei Wirtschaftswegen genauso wie zur Befestigung von Banketten, eingesetzt werden.

1.1 Zeit und Lastwagen-Transporte gespart

Für Joachim Hilser die perfekte Lösung für sein Problem: „Durch den Einsatz des Spezialbindemittels konnten wir Ressourcen sparen. Wir mussten den vorhandenen Unterbau nicht erst ausgraben und beseitigen und anschließend neuen Schotter aus dem Steinbruch anfahren. Dadurch haben wir enorm an Zeit und Lastwagen-Transporten gespart.“ Da der Unterbau geblieben sei und somit kein Material abtransportiert werden müssen, seien auch erheblich weniger Lastwagenfahrten notwendig gewesen und damit die Umwelt und die Anlieger geschont worden.

Neben eingesparten Kosten und Umweltschutz habe die Methode für den Landkreis einen weiteren konkreten Nutzen gehabt: „Das Herstellen des Unterbaus konnte auf zwei Wochen reduziert werden. Im klassischen Verfahren hätten dafür vermutlich sechs bis acht Wochen verwendet werden müssen“, so Joachim Hilser weiter. Es sei geplant, bei vergleichbaren Baumaßnahmen auch künftig Verfestigungen dieser Art einzusetzen.

Mit steigender Bekanntheit der Wirkungsweise und der Einsatzmöglichkeiten dieser Bindemittel nimmt die

Nachfrage stetig zu. Auch da sie bei Bankett über Wirtschaftswege bis hin zu Gemeinde-, Kreis- und Bundesstraßen eingesetzt werden können.

1.2 Ökoeffiziente Methode zur Sanierung von Straße

Für Max Kunz, Bauingenieur und zuständig für die Sanierung der Kreisstraße 5508, ist es entscheidend, dass durch dieses Verfahren mögliche Schadstoffe im Unterbau der Straße gebunden werden können. Gerade dadurch würden hohe Kosten gespart, die anderenfalls für die Entsorgung der Schadstoffe anfallen würden. Dies wird u. a. bestätigt durch die Ökoeffizienz-Analyse zu Entsorgungsoptionen von pech-/teerhaltigem Straßenaufbruch der SAM, der TU Kaiserslautern und der BASF AG aus dem Jahre 2007, in der die Verwertung vor Ort die öko-effizienteste Methode zur Sanierung von Straßen darstellt.

1.3 Sanierung im Rahmen der verfügbaren Finanzmittel

Kunz appelliert an die Verwaltungsspitzen, in den Unterhalt von Straßen zu investieren: „Eine rechtzeitige, gute Sanierung einer Straße verlängert die Lebenszeit, sodass ein teurer Neubau lange Zeit nicht notwendig wird.“

Damit spricht Max Kunz ein Thema an, das nahezu alle Landkreise und Kommunen betrifft. Denn das zu betreuende Netz der Kommunen in Deutschland umfasst etwa 460.000 km asphaltgebundene inner- und außerörtliche Straßen und etwa 420.000 km Wirtschaftswege (in der Summe ca. 22 Erdumrundungen!). Bisher wurde oft versucht, mit kleinflächigen Sanierungen oder dem Ersatz der Deckschichten den Zeitraum zu überbrücken, bis ausreichend Geld für eine gründhafte Sanierung vorhanden sein könnte. Diese Gelder sind allerdings weder jetzt noch in absehbarer Zeit verfügbar. Somit können Kommunen und Landkreise dem Verfall der Infrastruktur mit den derzeitigen Methoden nur noch hinterhereilen, ohne ihn wirklich aufzuhalten. Denn der Verfall der Straßen und die Belastung durch den Verkehr nehmen schneller zu als die möglichen Erhaltungsmaßnahmen.

Die angespannte Finanzlage der Kommunen zwingt die Verantwortlichen daher zunehmend, neue Erhaltungstechnologien in das Erhaltungsmanagement des Straßennetzes aufzunehmen. Technologien, die einen schnellen, kostengünstigen und ressourcenschonenden Vollausbau ermöglichen.

Zeitkritische Baumaßnahme in Stuttgart

Mit dem Spezialbindemittel kam diese Technologie auch bei einer Straßensanierung in Stuttgart zum Einsatz. Die Ausfallstraße „Am Kräherwald“ ist eine der wichtigsten Ausfallstraßen aus der Stuttgarter Innenstadt in Richtung Leonberg, Böblingen und zur Autobahn. Da für die Baumaßnahme jeweils eine Straßenseite gesperrt werden musste, kamen als Zeitpunkt nur die Schulferien infrage.

Die Fotos zeigen den Ablauf der Bauarbeiten.



Bild 2: Homogenisierter und gebrochener Straßenaufbau in Stuttgart.



Bild 3: Mischen des Spezialbindmittels.



Bild 4: Die verfestigte Schicht vor dem Asphalteinbau.

Auch in diesem Fall wäre eine Komplettsanierung mit der konventionellen Technologie in dieser Zeit nicht umsetzbar gewesen, weswegen sich die Verantwortlichen für eine Sanierung mit der Verfestigung entschieden. Dadurch wurden ein Bodenaustausch und der An- und Abtransport von Material vermieden. Um eine langlebige, frostsichere Tragschicht mit hoher Tragfähigkeit zu schaffen, wurde u. a. das Ausgangsmaterial verwendet. Zunächst wurde ca. 14 cm des bestehenden

Straßen-aufbaus abgetragen, dann der bestehende Straßenaufbau 35 cm tief verfestigt und mit 14 cm Asphalt wieder überbaut.

Damit konnte bei dieser Maßnahme der vorgegebene Zeitrahmen eingehalten und der Kostenrahmen unterschritten werden. Für das Tiefbauamt stellt diese Methode aufgrund der Erfahrungen der letzten Jahre eine Alternative zur konventionellen Bauweise dar, so dass sie bei den anstehenden Projekten schon in Planungsstadium vergleichend berücksichtigt wird.

Ebenso verhält es sich im landwirtschaftlichen Wegebau. Herr Steiert von der Stadt Bondorf setzt die Methode seit vier Jahren regelmäßig ein, um die Probleme mit den „zunehmenden Breiten und den irren Gewichten, mit denen heutzutage gefahren wird“ zu lösen.

1.4 Zusammenfassung

Die Infrastruktur ist in die Jahre gekommen und große finanzielle und organisatorische Anstrengungen sind zu unternehmen, um den aktuell schnell voranschreitenden Verfall der Substanz durch die Erhaltung zu verlangsamen. Zudem werden die Klimaveränderungen spürbar, und der dringend gebotene Klimaschutz wird endlich auch im Straßenbau diskutiert. Ein maßvoller, nachhaltiger Umgang mit Ressourcen erfordert ein Umdenken, um die Chancen neuer Verfahren und Methoden zu nutzen zum Wohle aller.

Einige gehen diesen unbequemen Weg seit einiger Zeit mit großem Erfolg. Denn sie verwerten die vorhandenen Materialien in höchstem Maße konsequent vor Ort. Verschiedene Lösungen sind verfügbar – die oben beschriebene hat sich aus Sicht des Autors bereits bewährt. Damit sind zwar nicht alle Probleme gelöst, aber wir sind auf dem Weg, klimaneutral Straßen zu bauen, einen guten Schritt weiter.

1.5 Arbeitsschritte für die Verfestigungen

Bei nicht höhengebundenem Straßenprofil:

1. Probenahme von Materialien vor Ort
2. Laboruntersuchungen (Frost- und Festigkeitsprüfung, wasserwirtschaftliche Merkmale) zur Festlegung der nötigen Bindemittelmenge und der Schichtdicken
3. Granulieren (ggf. Nachbrechen) und Homogenisieren des Fahrbahnaufbaus in der gewählten Dicke der Verfestigung
4. Ausstreuen des Spezialbindmittels (wenn staubarm nötig: Stabilisierer mit integriertem Streuer einsetzen)
5. Mischen des Bindemittel-Gemisches mit Wasser im Stabilisierer
6. höhengerecht Einbauen und Verdichten
7. Einbauen des Asphalts ca. 1–2 Tage später

Bei höhengebundenem Straßenprofil:

Vor dem o. g. 3. Arbeitsschritt: Abtragen von Asphalt vom bestehenden Aufbau in der Dicke der später einzubauenden Asphaltsschicht

Dipl.-Ing. Ottmar Rienhoff-Gembus,
freiberuflich beratender Ingenieur mit ca. 25 Jahren Erfahrung in der Straßenerhaltung

Artikel des Verfassers erschienen im Februar 2020 in „der bauhofLeiter“
Freigegeben zur Veröffentlichung im Rahmen des 2. Kolloquium „Straßenbau in der Praxis“ von der

Forum Verlag Herkert GmbH
Mandichostraße 18,
86504 Merching
Tel.: 08233 381-0,
Fax: 08233 381-222
E-Mail: service@forum-verlag.com
www.bauhof-leiter.de
www.forum-verlag.com

Recyclingbaustoffe – ein Bericht aus der Straßenbaupraxis

Dipl.-Ing. M.Eng. Burghardt Schramm

Max Wild GmbH, Leutkircher Straße 22, 88450 Berkheim, Deutschland

Zusammenfassung

Aktueller Ausgangspunkt für Recycling ist das Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (KRWG) [01]. Recycling hat einen hohen Rang, das für uns beim selektiven Rückbau beginnt. Neben fähigem Personal ist das Zusammenspiel aller beteiligten Geschäftsbereiche entscheidend für die optimale Verwertung von Recyclingbaustoffen. Basis für die Verwertung von Recyclingbaustoffen im Straßenbau sind die Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (RStO 12) [02]. Bodenhandlung mit hydraulischen Bindemitteln im Unterbau/Untergrund ermöglicht das Designen der bautechnischen Eigenschaften von Böden. Im Oberbau kommen hydraulisch gebundene Tragschicht (HGT) und Verfestigung sowie ungebunden: Frostschuttschicht und Tragschicht zum Einsatz. Wo es sinnvoll ist, nutzen wir die Möglichkeiten der Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht (RDO Asphalt 09) [03]. Recyclingbaustoffe sind nicht gut oder schlecht, es kommt darauf an, das passende Projekt zu finden.

1. Kreislaufwirtschaftsgesetz

Die vollständige Bezeichnung lautet Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (KRWG) [01]. Im Gesetz ist in §6 folgende Abfallhierarchie enthalten:

1. Vermeidung
2. Vorbereitung zur Wiederverwendung
3. Recycling
4. Sonstige Verwertung, insbesondere Verwertung und Verfüllung
5. Beseitigung.

Laut Absatz (2) soll sinngemäß der höherwertigen Maßnahme der Vorrang gegeben werden. Das bedeutet Recycling hat laut Gesetz einen hohen Rang. Voraussetzung für mineralisches Recycling ist die passende Qualität. Für uns beginnt die Herstellung qualitätsgerechter Recyclingbaustoffe deshalb bereits beim selektiven Rückbau von Industrie, Gebäuden und Brücken. Fachleute im Flächenrecycling und Stoffstrommanagement steuern die vorschriftenkonforme Verwertung der zertifizierten RC-Baustoffe und umwelttechnisch geeigneter Böden. Unsere Logistik transportiert täglich etwa 5.000 Tonnen an Recyclingbaustoffen, Boden und Humus sowie anderer Mineralik mit rund 60 LKW. Diese Baustoffe werden im Tiefbau eingesetzt für Ver- und Entsorgungsleitungen, Horizontalbohrungen und Erschließungen. Unser Erdbau verwertet Recyclingbaustoffe im Straßenbau, im Hochwasserschutz und bei der Renaturierung. Neben fähigem Personal ist das Zusammenspiel der genannten Ge-

schäftsfelder entscheidend für die optimale Verwertung von Recyclingbaustoffen.

2. Untergrund/Unterbau

Basis für die Verwertung von Recyclingbaustoffen im Untergrund/Unterbau des Straßenbaus sind die Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (RStO 12). Hier möchte ich zitieren [02]: „Erfolgt anstelle einer Bodenverfestigung eine qualifizierte Bodenverbesserung nach den ZTV E-StB in einer Dicke von ≥ 25 cm wird dies durch die Einstufung des frostempfindlichen Untergrundes bzw. Unterbaues in der Frostempfindlichkeitsklasse F2 berücksichtigt“. Der Nutzen liegt auf der Hand bautechnisch wenig geeignete oder ungeeignete Böden mit vorschriftenkonformen umwelttechnischen Eigenschaften können zur Herstellung des Planums verwertet werden und zusätzlich kann an der Oberbaudicke eingespart werden. Wir betreiben die Bodenbehandlung mit hydraulischen Bindemitteln seit vielen Jahren. Bodenhandlung mit hydraulischen Bindemitteln ermöglicht das Designen der bautechnischen Eigenschaften von Böden, wie z.B.:

- Verdichtbarkeit
- Selbstverdichtende Eigenschaft
- Tragfähigkeit der Schicht
- Frostempfindlichkeit
- Dauerhaftigkeit
- Durchlässigkeit/Dichtigkeit
- Schadstoffimmobilisierung
- Kohäsion

Damit ist unter Einhaltung der umwelttechnischen Forderungen eine höhere Masse an Böden in technischen Schichten verwertbar.

2.1 Bodenbehandlung mit hydraulischen Bindemitteln, Max Wild GmbH als Mitglied der Gütegemeinschaft Bodenverbesserung und Bodenverfestigung (RAL – GZ 503)

Die Transparenz der Qualität unserer Bodenbehandlung ist uns wichtig. Wir sind deshalb Mitglied in der Gütegemeinschaft Bodenverbesserung und Bodenverfestigung (RAL – GZ 503). Auf der Internetseite <https://www.gbb-web.de/funktion.html> heißt es dazu: „Durch die Verleihung des Gütezeichens RAL-GZ 503 durch die GBB, entsprechend der vom Verein festgelegten Güte- und Prüfbestimmungen, den hohen Qualitätsanforderungen an die Bauausführung gerecht zu werden.“



Abbildung 1

3. Oberbau

Die Möglichkeiten für den Einsatz von hydraulisch gebundenen und ungebundenen RC-Baustoffen im Oberbau des Straßenbaues sind in der bereits unter Punkt 2. genannte RStO 12 geregelt. Recyclingbaustoffen im Oberbau hydraulisch gebunden (gemäß Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton (ZTV Beton-StB 07) [04]:

- hydraulisch gebundene Tragschicht (HGT) mit Feinanteil kleiner $0,063 \text{ mm} \leq 15 \text{ M.-%}$ und
- Verfestigung

Recyclingbaustoffen im Oberbau ungebunden:

- Frostschuttschicht und
- Tragschicht.

3.1 Frostschutz-/Tragschichten als Recyclingschotter

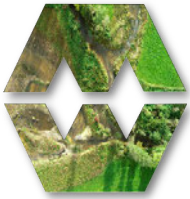
Eine Prüfstelle nach Rap Stra prüft nach den „Technischen Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau“ (TL Gestein-StB 04) [05] und „Technischen Lieferbedingungen für Baustoffgemische und Böden zur Herstellung von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau“ (TL SoB-StB 04) [06]. Bei Erfüllung der Forderungen für beispielsweise RC-Beton 0/45 darf das Recyclingmaterial gleichwertig zu natürlichen Körnungen als Frostschuttschicht (FSS) oder Schottertragschicht (STS) eingesetzt werden. Gleichwertig bedeutet, es werden die gleichen Forderungen für Frosttauglichkeit, Frostschutz, Tragfähigkeit und Dauerhaftigkeit erfüllt. Der Einsatz ist jedoch nur möglich, wenn Frostschutz-/Tragschichtmaterial „oder gleichwertig“ zu natürlichen Körnungen ausgeschrieben wird wie es im das Kreislaufwirtschaftsgesetz vorsieht oder Nebenangebote zugelassen werden. Neben den bautechnischen Eigenschaften müssen die umwelttechnischen Eigenschaften passen. Das wird durch Zertifikate von Qualitätssicherungssystemen dokumentiert. Im Baden-Württemberg durch den QRB e.V. Basis ist die Verwaltungsvorschrift „Vorläufige Hinweise zum Einsatz von Baustoffrecyclingmaterial“. Auch bekannt als „Dihlmannerlass“. Die Ausgangsmaterialien der RC-Baustoffe sind fast vollständig bis auf (Alt-) Gleisschotter aufgeführt. (Alt-)Gleisschotter, Abfallschlüssel 17 05 08 kann in Baden-Württemberg lediglich gemäß Gleisschotterrichtlinie verwertet werden. Unser RC-Hartgestein 0/45 FSS/STS wird zum heutigen Stand nicht als Recyclingbaustoff zertifiziert.

Da Max Wild GmbH auch bei Affing in Bayern einen Recyclingplatz betreibt, lassen wir unsere Recyclingbaustoffe nach den bayerischen Richtlinien zertifizieren. Seit 01.10.2020 neu gemäß „QUBA – Qualitätsrichtlinie“. Wesentlicher Unterschied: die bayerischen Zertifikate beinhalten die umwelttechnischen und die bautechnische Eignung der Recyclingbaustoffe als Produkt.

3.2 Verwertung Asphaltgranulat

Das Anwachsen der Haufwerke an Asphaltgranulat ist allgemein bekannt. Die Forschungsgesellschaft für Straßenbau e.V. (FGSV) forciert die Verwertung von Asphaltgranulat im Kaltrecycling. Wo es sinnvoll ist, nutzen wir die Möglichkeiten der Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht (RDO Asphalt 09) [03].

4. Ausblick



Max Wild GmbH betreibt eine Umweltorientierte Unternehmenspolitik. Recyclingbaustoffe bieten neben der Ressourcenschonung neue Möglichkeiten. Bauherren, Planer und Unternehmen wenden Recyclingbaustoffe oft nicht an, weil zu wenig Informationen oder anwendbares Wissen vorhanden ist. Max Wild GmbH führt deshalb seit mehreren Jahren einen Recyclingtag durch. Wir laden Sie ein, Recyclingbaustoffe als Gesamtpaket zu etablieren: Herstellung, Qualitätssicherung und Verwertung. Recyclingbaustoffe sind nicht gut oder schlecht, es kommt darauf an, das passende Projekt zu finden.

Literaturangaben

- [1] BGBl. I. 2705. (2012). *Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen.*
- [2] FGSV e.V. (2012). *Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen.* Köln: FGSV Verlag GmbH.
- [3] FGSV e.V. (2009). *Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht.* Köln: FGSV Verlag GmbH.
- [4] FGSV e.V. (2007). *Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton.* Köln: FGSV Verlag GmbH.
- [5] FGSV e.V. (2004). *Technische Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau.* Köln: FGSV Verlag GmbH.
- [6] FGSV e.V. (2004). *Technische Lieferbedingungen für Baustoffgemische und Böden zur Herstellung von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau.* Köln: FGSV Verlag GmbH.

Instandhaltung von Verkehrswegefächern

Der Einsatz von schnell erhärtenden Injektionsharzen im Verkehrswegebau zum Anheben und Festlegen loser oder abgesackter Betonfahrbahnplatten

Karl-Heinz Lindenbauer

TPH Bausysteme GmbH, Norderstedt

Götz Tintelnot

TPH Bausysteme GmbH, Norderstedt

Zusammenfassung

Bundesfernstraßen müssen aufgrund der steigenden Verkehrsbelastung, die insbesondere durch Zunahme des Schwerlastverkehrs sowie durch höhere Achslasten verursacht werden, steigenden Belastungen standhalten. Sich bewegende, vertikal versetzte, gerissene oder hohlliegende Fahrbahnplatten sind häufig, vor allem beim Eindringen von Oberflächenwasser, die Folge. Die Entfernung geschädigter und die Herstellung neuer Betonfahrbahnplatten ist aufwendig und kostenintensiv. Länger andauernde Verkehrsbehinderungen, sind die Folge. Für das Erreichen der geplanten Nutzungsdauer gewinnt daher die Instandhaltung der Betonfahrbahn mit Hilfe spezieller Instandsetzungsbaustoffe und wirtschaftlicher Instandsetzungsmethoden zunehmend an Bedeutung. Bei dem vorgestellten Instandhaltungsverfahren werden nach Feststellung von Hohllagen, Rissbildung oder vertikalen Plattenversatz, Flüssigkunststoffe mit speziellen Injektionsmaschinen unter die Fahrbahnplatten injiziert. Je nach Instandsetzungsziel, Platten Heben oder Festlegen, kommen dabei spezielle und geprüfte Polyurethan- bzw. Silikatharze zum Einsatz. Aufgrund der sehr schnellen Festigkeitsentwicklung dieser Flüssigkunststoffe kann eine Verkehrsfreigabe, bereits nach etwa einer Stunde erfolgen. Die durchgeführten Instandhaltungsmaßnahmen stellen die ursprünglichen Gebrauchseigenschaften effektiv und wirtschaftlich wieder her und tragen entscheidend zur Verlängerung der Lebensdauer der Bundesfernstraße bei.

1. Einführung

Der Einsatz von Injektionsharzen im Bauwesen ist allgemein bekannt. Kunstharze finden Verwendung

- beim Einkleben von Ankern
- zur Abdichtung gegen Wasser oder Gas
- zum Verfüllen von Hohlräumen
- oder zum Verfestigen von Boden und Gestein.

Ein anderes interessantes Einsatzgebiet ist die Verwendung von Flüssigkunststoffen bei der Instandsetzung von Verkehrswegefächern. Verkehrswegefächern sind Flächen auf denen Fahrzeuge aller Art z.B. Personen- und Lastkraftwagen, Busse, militärische Fahrzeuge wie Panzer, Gabelstapler, Schienenfahrzeuge oder auch Flugzeuge bewegt werden. Das im Folgenden beschriebene Verfahren geht ausschließlich auf befestigte Flächen, welche

in Betonbauweise erstellt wurden ein. Wir finden solche Verkehrswegefächern bei Sonderbauwerken wie Kraftfahrzeugteststrecken, in Kreisverkehren, auf Tankstellen, in Lagerhallen und Lagerfreiflächen, vor allem aber im Luft-, Bahn- und Straßenverkehr. Im Folgenden wird ausschließlich auf die Instandsetzung von Verkehrswegefächern auf Autobahnen eingegangen. Dabei ist unter dem Begriff Instandsetzung oder Instandhaltung von Verkehrswegefächern, das Heben und/oder Festlegen von losen Betonfahrbahnplatten zu verstehen. Deutschland hat eines der dichtesten Autobahnnetze der Welt. Mit etwa 13.100 Autobahnkilometern hat Deutschland hinter China (150 TSD), den USA (78 TSD) und Spanien (17 TSD) das viertlängste Autobahnnetz der Welt [1]. Aufgrund des stetig steigenden Verkehrsaufkommens sowie steigender Achslasten, müssen Verkehrswege immer höheren Belastungen standhalten.

2. Schadensbilder

Die Folgen dieser Belastungen sind häufig einhergehend mit einer Vernachlässigung der Fugenpflege, klappernde, abgesackte oder gerissene Fahrbahnplatten. Dabei gelangt zunächst Oberflächenwasser über die offene Fuge unter die Platte. Bei bereits losen Platten führt das Klappern oder Wippen unter Belastung zu Pumpbewegungen der Fahrbahnplatte und infolge dessen, zu Kornumlagerungen, Auflockerungen bis hin zum Ausspülen von Feinanteilen des Unterbaus. Die Folge ist, die Pumpbewegungen nehmen mit der Zeit zu, die Platte sackt immer weiter ab, es kommt zu einer Stufenbildung oder zu einem vertikalen Plattenversatz. Ein solcher Versatz stellt eine Gefahr im Straßenverkehr dar und muss rechtzeitig Instandgesetzt werden.



Bild 1: vertikaler Plattenversatz

Im Bereich der Bundesautobahnen gilt für die bauliche Erhaltung das Regelwerk der ZTV-BEB-StB. Das Regelwerk schreibt eine Instandsetzung vor, sobald wahrnehmbare Vertikalbewegungen beim Überrollen festgestellt werden. Spätestens ab einer Stufe von mehr als 10 mm ist gemäß ZTV-BEB-StB zu handeln und die Platte anzuheben [2]. Je nach Verkehrsbelastung, Fahrbahnaufbau und erfolgter Fugenpflege können solche Schäden bereits nach 10-20 Jahren Nutzungsdauer auftreten. Um eine erwartete Nutzungsdauer von Betonfahrbahnen von mehr als 25-30 Jahre erreichen zu können, bekommt die Fahrbahninstandhaltung mit Hilfe effizienter und wirtschaftlicher Instandsetzungsmethoden eine immer größere Bedeutung.

3. Instandsetzungsverfahren

Nach Festlegung der Instandsetzungsbereiche, des Instandsetzungskonzeptes und Einrichtung der Baustellensicherung werden zunächst die Hammerbohrungen erstellt, um das Injektionsgut unter die Betonplatten zu bringen. Hierfür kommen hand- oder auch lafettengeführte Bohrhämmer auf mobilen Trägergeräten zum Einsatz.

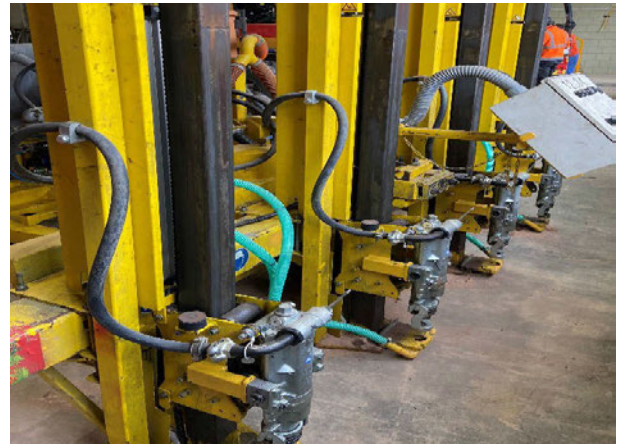


Bild 2: mobiles, lafettengeführtes Bohrgerät

Das Bohrschema ist abhängig vom gewählten Instandsetzungsverfahren und dem gewählten Injektionsmaterial. Je nach Material sind min. 0,3 - min. 0,7 Bohrlöcher je m² Betonfahrbahnplatte erforderlich. Der Bohrdurchmesser variiert je nach Injektionsmaterial bis 22 mm bei Kunstharzen und bis 40 mm bei mineralischen Produkten. Die Bohrung wird bis 5 cm unter die geplante Injektionstiefe geführt. Die Abstände zu den Längs- und Querfugen der Platten betragen 0,5-1,0 m [3].

Injektionsmaterial	Bohrlöcher je m ²	Bohrlochdurchmesser
Hydraulische Bindemittel	min.0,3 6-9 Loch in 2/3 Längsreihen	bis 40 mm
Expandierende Polyurethanharze	min.0,7 16-20 Loch in 4 Längsreihen	bis 22 mm
Silikatharze	min.0,4 9-12 Loch in 3 Längsreihen	bis 22 mm

Bild 3. Bohrlochanzahl je m² in Abhängigkeit vom Injektionsgut

In die erstellten Bohrkanäle werden nun entsprechende Bohrlochverschlüsse, bei der Verarbeitung von Kunstharzen, sogenannte Lamellenschlagpacker, mittels Einschlaghilfe eingeschlagen. Die Packer stellen dabei die Verbindung zwischen Bohrkanal und Injektionsmaschine her.



Bild 4: Bohrschema und Lamellenschlagpacker

Zur späteren einfacheren Reinigung des überschüssigen Injektionsmaterials wird im Bereich des Packers ein Trennmittel auf die Fahrbahn aufgebracht.



Bild 5: Bohrraster für die Injektion mit Silikatharz und sichtbares Trennmittel am Bohrloch

Anschließend wird das Injektionsgut, ein niedrig-viskoser, zweikomponentiger Flüssigkunststoff auf Polyurethan- oder Silikatbasis mittels spezieller, druckluftbetriebener Injektionsmaschinen zur Injektionsstelle gefördert. Dabei gelangen die einzelnen Komponenten aus den 1000 l IBC Liefergebinden über die Injektionsmaschine zum Mischkopf.



Bild 6: Mobile Injektionseinheit mit Kunstharzliefergebinden

Dort werden die beiden Komponenten im Volumenverhältnis 1:1 mittels Statikmischer vermischt und über die Lamellenschlagpacker unter die Fahrbahnplatte gepumpt. Durch die Injektion werden die Hohlräume unter der Platte gefüllt und eine gleichmäßige und flächendeckende Auflage der Platte erreicht und/oder die Betonplatte angehoben. Dabei wird die vertikale Verformung der gesamten Platte bei Belastung reduziert und der Fugenversatz ausgeglichen.



Bild 7: Injektion des Flüssigkunststoffes unter die Betonfahrbahn

Expandierende Polyurethanharze werden vor allem bei Betonautobahnen auf ungebundenen Tragschichten eingesetzt. Aufgrund der Volumenvergrößerung und der kurzen Reaktionszeit des Injektionsmaterials werden Hohlräume schnell gefüllt und ein unkontrolliertes Abfließen des Materials in den Untergrund verhindert. Diese Methode ist deutlich kostengünstiger als der Einsatz von nicht expandierenden Silikatharzen. Das speziell für die Sanierung von Verkehrswegeflächen hergestellte Produkt, erreicht einen Schaumfaktor von 2 ohne Wasserzugabe bis max. 3 bei Wasserkontakt. Die erreichten Druckspannungen liegen bei etwa 8 N/mm² bei 10 % Stauchung nach etwa 1 Stunde [4]. Das System ist ein sehr reaktives System, Schäumbeginn und Schäumende liegen unter 80 sec. bei 23° C. Das Endprodukt ist ein feinzelliger Hartschaum mit überwiegend geschlossenen Zellen.



Bild 8: aus dem Bohrloch ausgetretenes Polyurethanharz

Silikatharze werden vorrangig dort eingesetzt, wo Fahrbahnplatten nicht gehoben, sondern festgelegt werden müssen. Der Einsatz bietet sich aus wirtschaftlichen Gründen besonders im Bereich von Betonfahrbahnen auf gebundenen Tragschichten an. Das Produkt ist eine Emulsion die kein Wasser aufnimmt und auch nicht mit Wasser durch Aufschäumen reagiert. Silikatharze zeichnen sich durch eine besonders schnelle Festigkeitsentwicklung aus. Die Druckfestigkeiten liegen bei über 40 N/mm² nach etwa 2 h [5]. Bei rechtzeitiger Sanierung und intakten Untergrundverhältnissen kann aufgrund der guten Materialeigenschaften, die Nutzungsdauer der Fahrbahn erheblich verlängert werden.



Bild 9: aus dem Bohrloch ausgetretenes Silikatharz

Eine wirtschaftliche Fahrbahninstandsetzung erfordert jedoch den Einsatz verschiedener Injektionstechniken und verschiedener Injektionsprodukte je nach Plattenzustand, Fahrbahnaufbau und Restnutzungsdauer. Die folgende Tabelle bewertet die Injektionsgüter hinsichtlich Ihrer Einsatzmöglichkeiten, Platten Festlegen oder Platten Heben und Festlegen nach Bauart der Tragschicht (gebunden/ ungebunden) einer hohen Nutzungsdauer einer kurzen Verkehrssperrzeit

Injektionsmaterial	Silikatharz	Polyurethanharze	Mörtel mit hydraulischem Bindemittel
gebundene Tragschicht	++	+	++
ungebundene Tragschicht	+	++	++
Festlegen	++	+	O
Festlegen mit Heben	+	++	++
kurze Sperrzeit	++	++	O
hohe Nutzungsdauer	++	+	+

++ gut geeignet, + geeignet, O bedingt geeignet
 Bild 10. Kriterien zur Auswahl des Baustoffes für die Unterpressung [6]

Ein entscheidender Vorteil bei den Kunstharzsystemen liegt in der sehr kurzen Aushärtezeit und der damit verbundenen schnellen Verkehrsfreigabe. Auch die lange Nutzungsdauer nach einer Instandsetzung spricht für die Verwendung von Kunstharzen vor allem auf Silikatharzbasis. Zusammenfassend lässt sich sagen, Silikatharze werden bevorzugt zum Festlegen auf gebundenen Tragschichten, Polyurethanharze zum Anheben und Festle-

gen von Betonfahrbahnplatten auf ungebundenen Tragschichten verwendet.

4. Qualitätssicherung

Die Instandhaltungsmaßnahmen im Bereich der Bundesfernstraßen stellen an Ausführende und Hersteller besondere Anforderungen. Dazu gehört auch eine umfassende Qualitätssicherung. Ausführende Unternehmen wie auch Produkthersteller unterliegen einer Eigen- u.U. auch einer Fremdüberwachung. Die verwendeten Injektionsbaustoffe müssen die in den Technischen Lieferbedingungen für Baustoffe der ZTV BEB-StB formulierten Anforderungen erfüllen. Regelmäßige Überprüfungen der Injektionsmaschinen und Kontrolle der erzeugten Produktmischungen durch den Ausführenden sind selbstverständlich. Der Erfolg einer durchgeführten Erhaltungsmaßnahme wird beispielsweise anhand von Deflexionsmessungen (FWD) beurteilt. Bei der Durchführung der Messung fällt ein Gewicht auf die Fahrbahnplatte und versetzt die Platte in Schwingung. Je stärker die Platte schwingt, desto größer sind die Hohllagen und desto größer ist der Sanierungsbedarf. Die zu sanierenden Strecken werden vor und nach erfolgter Injektion abgefahren, dokumentiert und bewertet. Während des gesamten Unterpressvorganges werden die Plattenbewegungen mittels Rotationslaser, Präzisionsempfänger und Bewegungssensoren kontinuierlich überwacht um maximal einen Niveaueausgleich zu den benachbarten Platten zu erzielen. Weitere Aussagen über die Qualität der durchgeführten Maßnahmen und des Baustoffes ergeben regelmäßige Bohrkernentnahmen.



Bild 11: Bohrkernentnahme zur Qualitätssicherung

5. Zusammenfassung und Ausblick

Spezielle, schnell an Festigkeit gewinnende Kunstharzsysteme auf Basis hartelastischer Polyurethan- oder Silikatharze haben in den vergangenen Jahren ihre besondere Eignung bei den baulichen Erhaltungsmaßnahmen von Verkehrswegefächern in Betonbauweise bewiesen. Besondere Vorteile ergeben sich vor allem durch

- kürzere Sperrzeiten der Autobahnabschnitte
- eine schnellere Verkehrsfreigabe
- eine Verringerung der Unfallgefahr
- die Einrichtung von Wanderbaustellen
- die Langlebigkeit der Instandhaltung infolge beständiger und widerstandsfähiger Baustoffe.

Da auch in Zukunft mit einer deutlichen Zunahme vor allem des Güterverkehrs zu rechnen ist und ein sicherer, möglichst staufreier Verkehrsfluss das Ziel ist, kommt dieser Instandsetzungsmethode eine immer größer werdende Bedeutung zu.

Literaturangaben

- [1] www.bmvi.de, Entwicklung der Autobahnen in Deutschland seit der Wiedervereinigung 1990
Wikipedia, Autobahn, Stand 2020
www.statista.com, Netzlänge der Autobahnen in Europa
- [2] ZTV BEB-StB, Ausgabe 2015, Abschnitt 2.4.3.4.1 Seite 55
- [3] ZTV BEB-StB, Ausgabe 2015, Abschnitt 2.4.3.4.3 Seite 57, Tabelle 18
- [4] Technisches Merkblatt PUR-O-STOP SL, TPH-Bausysteme GmbH, Stand 01.02.2019
- [5] Technisches Merkblatt SOLID-SEAL SL, TPH-Bausysteme GmbH, Stand 04.12.2019
- [6] ZTV BEB-StB, Ausgabe 2015, Abschnitt 2.4.3.4.2 Seite 56, Tabelle 16

Betonsanierung in der Praxis

Innovativ oder Standard nach Regelwerk

Dipl.-Ing. Tim Alte-Teigeler

Otto Alte-Teigeler GmbH

Aich 19, 85667 Oberpframmern

Tel.: +49 8106 24290

E-Mail: tim.alte-teigeler@oat.de

Zusammenfassung

Ein großer Vorteil von Betondecken im Vergleich zu Asphaltdecken im Verkehrsflächenbau ist die lange Nutzungsdauer bei geringem Erhaltungsbedarf. Dennoch kommt es im Laufe des Lebenszyklus einer Betondecke zu Defekten, die saniert werden müssen, um die geplante Dauerhaftigkeit sicherzustellen.

Für die Instandhaltung und -setzung gibt es zahlreiche Methoden, die im Regelwerk „ZTV BEB-StB“ aufgeführt sind. Es gibt allerdings auch darüber hinausgehende Innovationen, die es wegen fehlender langjähriger Erfahrungen noch nicht in das Regelwerk geschafft haben. Der Beitrag gibt anhand von Beispielen aus der Praxis einen Einblick in die genormten Verfahren, zeigt aber auch Weiterentwicklungen sowie Innovationen zur Sanierung von Betonfahrbahndecken. Es gibt für die verschiedensten Schadensfälle geeignete Verfahren, um die Nutzungsdauer und Wirtschaftlichkeit der Betondecke zu erhöhen. Es kommt jedoch darauf an, mit gesundem Ingenieursverstand das richtige Verfahren auszuwählen.

1. Einführung

Straßen sind einer der wichtigsten Bestandteile der Infrastruktur eines jeden Landes. Sowohl Warentransporte als auch die Mobilität der einzelnen Individualnutzer erfordern eine sichere und zuverlässige Verbindung zwischen Ausgangs- und Zielort. Die Verkehrswege sollten möglichst uneingeschränkt mit hoher Qualität zur Verfügung stehen. Sämtliche Ausfälle und Störungen beeinträchtigen den Verkehr und somit jeden Nutzer, was zu enormen volkswirtschaftlichen Schäden führt. Im Jahr 2018 gab es allein in Deutschland rund 745.000 Staus mit einer Gesamtlänge von etwa 1,5 Mio. Kilometern. Die Verkehrsteilnehmer verloren ca. 459.000 Stunden durch Stillstand. Die Anzahl der Staus ist um 3 % im Vergleich zum Vorjahr gestiegen, was unter anderem auf die 3 % mehr Baustellen zurückzuführen ist [1]. Diese Zahlen zeigen wie wichtig es ist, dauerhafte Verkehrsflächen herzustellen, um Verkehrsbehinderungen zu vermeiden bzw. zu reduzieren. Hier ist die Betonfahrbahndecke durch ihre lange Nutzungsdauer und ihren geringen Erhaltungsbedarf im Vorteil gegenüber Asphaltdecken. Dennoch kommt es auch bei dieser Oberbauvariante gelegentlich zu Schäden infolge von Ausführungsimperfectionen, Unterdimensionierung, gewöhnlicher Alterung usw., die behoben werden müssen.

Grundlage für die Sanierungsarbeiten an Betondecken in Deutschland sind die „Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für die bauliche Erhaltung von Verkehrsflächenbefestigungen – Betonbauweisen“ (ZTV BEB-StB). Die neueste Version wurde im Jahre 2015 [2] veröffentlicht und wird somit seit fünf Jahren angewandt. In ihr wurden sämtliche Verfahren, die im Rahmen der Betondeckenerhaltung regelmäßig zum Einsatz kommen, sowie Neuerungen und Erfahrungen, die seit Erstellung der Vorgängerversion (Ausgabe 2002) entwickelt wurden, aufgenommen. Dieser Beitrag wird auf die Anwendung der ZTV in der Praxis eingehen und aufzeigen, welche Hilfe das Regelwerk darstellt, um eine qualitativ hochwertige Ausführung der Instandhaltung und -setzung und dadurch eine hohe Dauerhaftigkeit der Verkehrsfläche zu gewährleisten. Darüber hinaus werden aber auch Verfahren angesprochen, die aufgrund der Aktualität noch nicht über langjährige Erfahrungen verfügen und somit noch nicht in das Regelwerk für Standardverfahren aufgenommen wurden.

2. Inhalt und Neuerungen der ZTV BEB-StB 15

Die ZTV BEB-StB 15 gliedern sich in die fünf Hauptpunkte „Allgemeines“, „Ausführung“, „Prüfungen“, „Mängelansprüche“ und „Aufmaße und Abrechnung“.

Im Vergleich zur Vorgängerversion sind die letzten drei genannten Gliederungspunkte somit zu separaten Kapiteln aus dem „Allgemeinen“ herausgelöst worden. In den Hauptpunkt „Ausführung“ ist der Unterpunkt „Vorbereitende Maßnahmen“ aufgenommen worden, der bisher nicht existierte. Hier werden die Vorgehensweisen beschrieben, die beim Ausbau im Rahmen des Ersatzes von Betonplatten bzw. Plattenteilen, einem streifenweisen Ersatz oder einer Erneuerung auf ganzer Fahrbahnbreite zur Anwendung kommen. Ebenso ist hier die Vorbereitung von Betondecken zur späteren Überbauung (Hoch- einbau) erläutert. Zusätzlich werden in diesem Kapitel die Unterpunkte „Instandhaltung“, „Instandsetzung“ und „Erneuerung“ aufgeführt, die bisher eigenständige Kapitel darstellten. In diesen Abschnitten werden sämtliche Maßnahmen einzeln aufgeführt und nach einheitlicher Gliederung genauer beschrieben. Unter anderem wird in den Unterkapiteln auch auf die verfahrensspezifischen Aspekte der Prüfungen, Anforderungen an die fertige Leistung und der Abrechnung eingegangen.

Neben der Beschreibung der einzelnen Sanierungsmethoden gehen die ZTV ebenso auf erforderliche Prüfungen, Mängelansprüche inkl. der entsprechenden Verjährungsfristen sowie auf spezifische Abrechnungsmodalitäten ein.

Weitere grundlegende Änderungen im Vergleich zur ZTV BEB-StB 02 sind die Aufnahme der zusätzlichen Baustoffe Silikatharz und Polyurethanschaum beim Instandsetzungsverfahren „Festlegen und Heben von Betonplatten“ sowie eine tiefere Beschreibung der verschiedenen Systeme zum Plattenersatz mit schnell aushärtenden Betonen.

Einige bauliche Maßnahmen, die in der Vergangenheit Anwendung fanden, heutzutage aber nicht mehr genutzt werden, sind nicht aus der Ausgabe von 2002 in die Neufassung übernommen worden.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die ZTV ein hervorragendes Nachschlagewerk darstellen, das sowohl Planern, Ausschreibenden, Bauüberwachenden als auch ausführenden Firmen einen umfassenden Überblick über die verschiedensten Verfahren zur Erhaltung von Verkehrsflächen aus Beton bietet. Hierdurch wird die Kommunikation für sämtliche Beteiligte vereinfacht und Missverständnisse können verhindert werden. Die aktuelle Ausgabe, die ZTV BEB-StB 15, kann daher als gelungenes Hilfsmittel angesehen werden, das sich in der Praxis erfolgreich einsetzen lässt. Sie können jedoch nicht das Fachwissen von Personen mit entsprechenden Qualifikationen bei allen beteiligten Gruppen ersetzen.

Im Folgenden wird auf einige Kapitel der neuen ZTV BEB-StB 15 exemplarisch genauer eingegangen.

3. Allgemeines

Zur Erhaltung zählen solche Maßnahmen, die dem Fortbestand von Gebrauchseigenschaften und Substanz dienen. Die Erhaltung setzt sich zusammen aus „Betrieblicher Erhaltung“, die Kontrollen und kleine Maßnahmen der betrieblichen Instandhaltung umfasst, und der „Baulichen Erhaltung“. Die ZTV BEB-StB behandeln nur den Teil der „Baulichen Erhaltung“ von Betonfahrbahndecken. Hierzu gehören Instandhaltung, Instandsetzung und Erneuerung (Tabelle 1).

Als Instandhaltung werden bauliche Maßnahmen kleineren Umfangs zur Substanzerhaltung genannt, die mit geringem Aufwand meist umgehend ausgeführt werden, um einen lokalen Schaden zu beseitigen. Dies sind beispielsweise das Ausbessern von Fugenfüllungen, die Sanierung von Rissen, die nachträgliche Verdübelung und Verankerung, Kantensanierungen und das Abtragen von Beton.

Die Instandsetzung umfasst bauliche Maßnahmen zur Substanzerhaltung oder zur Wiederherstellung ausreichender Oberflächeneigenschaften der Betonfahrbahndecke, die auf größeren zusammenhängenden Flächen ausgeführt werden. Hierzu gehören beispielsweise die Verfahren der Fugensanierung, das Festlegen und Heben von Platten, der Ersatz von Platten und Plattenteilen oder der streifenweise Ersatz.

Sollten die Instandhaltung oder Instandsetzung nicht mehr ausreichen kommt es zur Erneuerung. Hierunter sind bauliche Maßnahmen zur vollständigen Wiederherstellung der Oberflächeneigenschaften und der Substanz zu verstehen. Dies erfolgt beispielsweise im Hoch- oder Tiefbau bzw. durch Kombinationen hiervon.

Die ZTV BEB-StB 15 sind in Verbindung mit den „Technischen Lieferbedingungen für Baustoffe und Baustoffgemische für die Bauliche Erhaltung von Verkehrsflächenbefestigungen – Betonbauweisen“, Ausgabe 2015 (TL BEB-StB) [3] anzuwenden.

In den ZTV BEB-StB 15 sind tatsächliche Vertragsbedingungen (dicker Randbalken) enthalten, die verpflichtend einzuhalten sind, wenn die Anwendung der ZTV BEB-StB vereinbart wurde. Weiterhin sind aber auch Richtlinien (kursiv) aufgeführt, die vom Auftraggeber bei der Erarbeitung der Ausschreibung, der Bauüberwachung, der Abnahme usw. zu beachten sind.

Tabelle 1: Begriff Erhaltung, Quelle: ZTV BEB-StB 15

Erhaltung	Betriebliche Erhaltung	Kontrolle
		Betriebliche Instandhaltung
	Bauliche Erhaltung	Instandhaltung
		Instandsetzung
		Erneuerung

Zustandsmerkmale/Schadensmerkmale		Erscheinungsbild Ursache	bauliche Erhaltung - Instandhaltung - Instandsetzung - Erneuerung
Ebenheit	Ebenheit im Längsprofil	Plattenversatz veränderte Auflagerungsbedingungen	
	Ebenheit im Querprofil	Plattenversatz veränderte Auflagerungsbedingungen	
Rauheit	Griffigkeit	polierte Oberfläche Verschleiß	
Substanzmerkmale	Längs- und Querrisse		
Schadensmerkmale	Kantenschäden, Eckausbrüche und Eckabbrüche		
	schadhafte Fugenfüllung		
	sonstige Oberflächenschäden		

Bild 1: Merkmale für Betonbauweisen, Quelle: ZTV BEB-StB 15

Um festzulegen, welche Maßnahmen zielführend sind, um einen vorhandenen Schaden zu beheben, ist es wichtig, die Zusammenhänge zwischen Schadensbild und -ursache zu kennen. Hierzu geben die ZTV BEB-StB 15 den Verantwortlichen eine Übersicht (Bild 1) zur Hand. Nach Ermittlung der Schadensursache kann ein passendes Bauverfahren festgelegt werden. Bei der Auswahl sind sowohl technische als auch wirtschaftliche Rahmenbedingungen zu beachten. Dies bedeutet, dass insbesondere auch die Restnutzungsdauer im Verhältnis zu den durch die Maßnahme entstehenden Kosten stehen muss. In den nächsten Abschnitten dieses Artikels werden einzelne Verfahren aus den verschiedenen Maßnahmengruppen auszugsweise aufgegriffen, um die Vorgehensweise in den ZTV BEB-StB 15 und die Anwendung in der Praxis zu veranschaulichen.

4. Ausführung

4.1 Vorbereitende Arbeiten

In diesem neu aufgenommenen Kapitel sind die verschiedenen Ausbauvarianten für die geschädigte Betonfahrbahndecke bei Ersatz von Platten bzw. Plattenteilen und dem streifenweisen Ersatz sowie die Vorbereitung der Betonfahrbahndecke für einen Hocheinbau beschrieben. Der Ausbau für den Ersatz von Platten bzw. Plattenteilen und für den streifenweisen Ersatz soll hier kurz aufgegriffen werden. Die Vorarbeiten ähneln sich in beiden Fällen sehr. Der geschädigte Bereich soll jeweils durch Trennschnitte in voller Stärke von der ungeschädigten, verbleibenden Betonfahrbahndecke getrennt werden. Hierbei müssen auch eventuell vorhandene Dübel und Anker durchtrennt werden. Im Abstand von 10 bis 30 cm

parallel dazu verlaufend sind, ebenfalls in voller Tiefe, Ausbauhilfsschnitte herzustellen. Diese sollen das Risiko reduzieren, benachbarte Platten beim Ausbau zu beschädigen. Ein eventuell vorhandener Vliesstoff sowie ggf. auszubauende gebundene Tragschicht müssen ebenfalls durchtrennt werden. Überschnitte in die zu erhaltenden angrenzenden Platten sind nicht erlaubt und dürfen somit nur in den Fugen erfolgen. Die kürzeste Seitenlänge einer Teilplatte muss mindestens 1,50 m betragen. In die andere Richtung ist dann die gesamte Plattenbreite bzw. -länge auszubauen. Diese Trennschnittleistungen sind gesondert auszuschreiben. Das betrifft nicht eventuell erforderliche weitere Zerkleinerungsschnitte, die der Auftragnehmer zur Erleichterung des Ausbaus ausführt und die im Leistungsumfang des Ausbaus enthalten sind.

Im Nachgang muss die Betonfahrbahndecke so schonend ausgebaut werden, dass eine Schädigung der angrenzenden Flächen und des Untergrundes weitestgehend vermieden wird. Dies bedeutet, dass das Zerkleinern mit Meißelbagger oder Fallschwert nicht (Plattenersatz) bzw. nur bei ungebundener Tragschicht (streifenweiser Ersatz) zulässig ist. Zum Einsatz kommen somit vorzugsweise Schneiden und Herausheben bzw. Fräsen.

Gesondert ausgeschrieben werden müssen verbessernde Maßnahmen am Untergrund wie z.B. Reprofilieren und Nachverdichten von ungebundenen Tragschichten bzw.

Reinigen und Ausbessern von Schadstellen in gebundenen Tragschichten.

4.2 Instandhaltung

Im Abschnitt zur Instandhaltung werden unter dem Punkt „Anwendung“ zuerst sämtliche Bauverfahren diesbezüglich aufgeführt. Als Hilfestellung zur Auswahl des geeigneten Verfahrens stellen die ZTV BEB-StB 15 eine Tabelle zur Verfügung, in der die Eignung ermittelt werden kann (Tabelle 2). Dies erleichtert Planung und Ausschreibung, da den auf der Strecke vorgefundenen Schadensbildern direkt die möglichen Sanierungsverfahren zugeordnet werden können.

- **Bearbeiten der Betonoberfläche**

Als Beispiel für die Instandhaltung wird hier das Verfahren „Bearbeiten der Betonoberfläche“ aufgegriffen. Im Unterpunkt „Allgemeines“ werden zuerst die Anwendungsgebiete aufgeführt. Wenn die Oberfläche Griffigkeitsmängel, Oberflächenschäden, zu geringes Drainagevermögen, Unebenheiten, Stufenbildung oder erhöhte Schallemissionen aufweist, gibt es zwei Möglichkeiten der Bearbeitung: das Grinding und das Grooving.

Tabelle 2: Instandhaltungsverfahren, Quelle: ZTV BEB-StB 15

Erscheinungsbild	Instandhaltungsverfahren nach Abschnitt				
	2.3.3.1 Ausbessern von Fugenfüllungen	2.3.3.2 Aufweiten und Verfüllen von Rissen	2.3.3.3 Verdübeln und Verankern	2.3.3.4 Ausbessern von Kantenschäden und Eckausbrüchen	2.3.3.5 Bearbeiten der Beton- oberfläche
polierte Oberfläche	–	–	–	–	+
schadhafte Fugenfüllung	+	–	–	–	–
vertikale Platten- bewegungen	–	–	+ ¹⁾	–	–
Längs- und Querrisse	–	+	+	–	–
Kantenschäden und Eckausbrüche	–	–	–	+	–
Oberflächen- schäden	–	–	–	–	+
unzureichende Oberflä- chenentwässerung	–	–	–	–	+
Stufenbildung an Fugen und Rissen	–	–	–	–	+ ²⁾
laute Oberfläche	–	–	–	O	+ ³⁾

+ geeignet O bedingt geeignet – nicht geeignet

In den ZTV BEB-StB 15 wird das Grinding noch als „Schleifen“ bezeichnet. Derzeit wird von der BAST und dem „FGSV Arbeitsausschuss 8.4 Betonbauweisen – Oberflächen“ jedoch eine Änderung in der Begrifflichkeit angestrebt. Ähnlich wie beim Fugenschnitt werden bei diesem Verfahren Rillen mit Diamantscheiben in engem Abstand in die Oberfläche geschnitten (Bild 2). Es soll hier daher zukünftig vom „Schneiden“ gesprochen werden. Das Verfahren kann eingesetzt werden, um Griffmängel, Unebenheiten, Stufenbildung, Oberflächenschäden und hohe Lärmemissionen zu beseitigen. Das Grooving dient der Verbesserung der Drainagefähigkeit und unterscheidet sich vom Grinding lediglich in der Rillentiefe und dem Abstand zwischen den einzelnen Rillen.

Auch in den einzelnen Bauverfahren gibt es jeweils den Unterpunkt „Ausführung“. Hier werden in diesem Fall

die beiden Verfahren näher beschrieben. Für das Grinding werden einige Anforderungen an die Oberflächentextur gestellt, wie beispielsweise die maximalen Höhenversätze zwischen zwei benachbarten Bahnen und die unmittelbare Absaugung des Schneidschlammes. Weiterhin werden Richtwerte zu Segmentbreite und -abstand an die Hand gegeben. Für das Grooving werden ebenfalls Richtwerte für den Wellenbesatz gemacht. In den folgenden Unterpunkten werden Informationen zu „Art und Umfang der Prüfungen“, „Anforderungen an die fertige Leistung“ bzgl. Griffigkeit und Ebenheit, zur erforderlichen Reinigung vor der „Verkehrsfreigabe“ und der „Abrechnung“ nach bearbeiteter Fläche gegeben. Sämtliche Kapitel bezüglich der Ausführung von Maßnahmen sind analog aufgebaut.



Bild 2: Oberflächenstruktur mit feinen Rillen durch Grinding

4.3 Instandsetzung

Auch für die Instandsetzung gibt es unter „Anwendung“ eine Übersichtstabelle, die sämtliche Schadensbilder den anwendbaren Bauverfahren zuordnet (Tabelle 3) und somit bei der Auswahl geeigneter Verfahren unterstützt. Es handelt sich um Baumaßnahmen größeren Umfangs auf zusammenhängenden Flächen, die vorwiegend maschinell erfolgen und der Verbesserung der Oberflächeneigenschaften dienen.

In den „Baugrundsätzen“ wird erklärt, dass man die regelmäßigen Zustandserfassungen zur Auswahl der Instandsetzung heranziehen kann und dass zu prüfen ist, ob verschiedene erforderliche Instandsetzungsmaßnahmen parallel innerhalb von gesperrten Streckenabschnitten durchgeführt werden können. Dies dient letztendlich dazu, Art und Umfang der Maßnahmen festzulegen und entsprechend ausschreiben zu können.

Als Beispiele für die Beschreibung der „Ausführung“ sollen die Verfahren „Festlegen und Heben von Platten“ sowie der „Ersatz von Platten und Plattenteilen“ dienen.

• **Festlegen und Heben von Platten**

Unter „Allgemeines“ sind die Schadensbilder noch einmal genauer definiert, bei denen das Festlegen und/

oder Heben von Platten erfolgen soll. Für das Festlegen sind dies wahrnehmbare Vertikalbewegungen bei Überrollung, die ggf. zusätzlich durch Tragfähigkeitsmessungen (z.B. Falling-Weight-Deflectometer) genauer ermittelt werden können. Bei Plattenversätzen bzw. Stufenbildung sollten die Platten zusätzlich zum Festlegen auch gehoben werden.

Tabelle 3: Instandsetzungsverfahren, Quelle: ZTV BEB-StB 15

Erscheinungsbild	Instandsetzungsverfahren nach Abschnitt					
	2.4.3.1 Ersatz von Fugenfüllungen	2.4.3.2 Oberflächenbehandlung mit Reaktionsharz	2.4.3.3 Oberflächenbeschichtung mit Reaktionsharzmörtel	2.4.3.4 Festlegen und Heben von Platten	2.4.3.5 Ersatz von Platten und Plattenteilen	2.4.3.6 Streifenweiser Ersatz
schadhafte Fugenfüllungen	+	-	-	-	-	-
vertikale Plattenbewegungen/Plattenversatz	-	-	-	+	+	+
Längs- und Querrisse	-	-	-	-	+	+
Eckabbrüche	-	-	-	-	+	-
örtlich begrenzte Oberflächenschäden (z.B. Brandschäden)	-	-	+	-	-	-
Überlastungsrisse (unterdimensionierte Betondecke)	-	-	-	-	-	+
polierte Oberfläche oder Kornausbrüche	-	+	+	-	-	-
Oberflächentextur mit hoher Lärmemission	-	+	+	-	-	-

+ geeignet - nicht geeignet

Im Vergleich zur Ausführungsbeschreibung der „Bearbeitung der Betonoberfläche“ kommt aufgrund des Materialeinsatzes bei diesem Verfahren der Unterpunkt „Baustoffe“ hinzu. Als mögliche Baustoffe sind Silikatharz, Polyurethan-Hartschaum und hydraulisch gebundener Unterpressmörtel mit den zugehörigen Anwendungsfällen tabellarisch aufgelistet. Bei der Auswahl des Materials soll neben der Eignung und den Anforderungen bezüglich Sperrfristen ebenfalls darauf geachtet werden, dass die Dauerhaftigkeit der verbleibenden Restnutzungsdauer entspricht. Bezüglich Materialanforderungen und Eignungsnachweisen wird auf die TL BEB-StB 15 verwiesen. Es ist darauf hinzuweisen, dass hydraulisch gebundene Unterpressmörtel so gut wie nicht mehr zum

Einsatz kommen. Es werden fast ausschließlich die qualitativ wesentlich besseren Materialien Silikatharz und Polyurethanschaum genutzt.

Im Weiteren wird die Ausführung der Verfahren beschrieben, wobei insbesondere auf die verschiedenen Aspekte bei unterschiedlicher Materialwahl eingegangen wird. Hier sind unter anderem das Bohrmuster, die Überwachung der Lage der bearbeiteten und benachbarten Platten (Bild 3), das ggf. erforderliche Ablösen der Platten und die mögliche Behandlung von Fugen beschrieben. Die wichtigen Grundlagen der Verfahren, die bei der Umsetzung zu beachten sind, werden somit vermittelt. Des Weiteren werden die erforderlichen Prüfungen, Anforderungen an das Endergebnis, die Sperrzeiten bis

zur ausreichenden Erhärtung der Materialien sowie die Abrechnung nach bearbeiteter Fläche und Materialverbrauch erläutert.

- **Ersatz von Platten und Plattenteilen**

Sehr stark überarbeitet bzw. ergänzt wurde im Vergleich zur Version von 2002 das Kapitel zum Ersatz von Platten und Plattenteilen. Allein der Umfang hat sich von etwas mehr als einer Seite auf knapp acht Seiten erhöht.

Im allgemeinen Teil wird zuerst auf die Geltung der ZTV Beton-StB und ZTV Fug-StB verwiesen, bevor auf die Notwendigkeit von Referenzen bzw. Zertifikaten (z.B. B-StB-Schein) zur Sicherstellung der Eignung von ausführenden Unternehmen hingewiesen wird. Hierdurch soll den erhöhten Anforderungen an Personal und Maschinen infolge der komplexen Materialeigenschaften Rechnung getragen und eine qualitativ hochwertige Ausführung sichergestellt werden. Anschließend folgen die Ausführungen zu den Anwendungsfällen, wie sie auch schon in der Vorgängerversion vorhanden waren. Ergänzt werden diese durch Hinweise, dass das Verfahren auch bei Hitzeschäden anzuwenden ist und dass auf die Fugenanordnung nach der Sanierung ein besonderes Augenmerk zu legen ist. Insbesondere sind die Längspressfugen außerhalb von Rollspuren anzulegen und bei den

Querfugen die entstehenden Längsdruckspannungen zu berücksichtigen. Ggf. sind zum Abbau letzterer, um Hitzeschäden zu verhindern, Raumsfugen auf gesamter Fahrbahnbreite anzuordnen. Zur Orientierung sind, abhängig von den Betontemperaturen zum Zeitpunkt des Ausbaus, verschiedene Fugenraster vorgeschlagen. Hier wird aber auf die Annahme hingewiesen, dass die Nullspannungstemperatur im Beton ca. 20 °C beträgt. Diese Nullspannungstemperatur variiert jedoch je nach Randbedingungen bei der Herstellung der ursprünglichen Betondecke. Um das Risiko gerade von älteren und dünneren Betondecken zu reduzieren, sollte, wenn bekannt, die tatsächliche Nullspannungstemperatur zugrunde gelegt werden. Aufgrund der Gefahr von Hitzeschäden durch mangelhafte Druckspannungsübertragung wird auch erläutert, dass die Sanierung von Platten oder Plattenteilen mit Asphalt keine dauerhafte Lösung ist. Insbesondere wenn durch fehlende Raumsfugen keine Entspannungsmöglichkeit auf ganzer Fahrbahnbreite gegeben ist, ist dringend geboten, die Asphaltstelle vor der nächsten Hitzeperiode durch Beton zu ersetzen, um eine gleichmäßige und ausreichende Druckverteilung in Längsrichtung zu gewährleisten. Hieran ist zu sehen, dass in den überarbeiteten ZTV akuten Themen, wie den in den letzten Jahren vermehrt öffentlich gewordenen Hitzeschäden, ebenfalls Rechnung getragen wird.



Bild 3: Lageüberwachung mit Lasermesstechnik und Stufenmessgerät

Aufgelistet werden weiterhin die zum Einsatz kommenden Materialien Straßenbeton, frühfester Straßenbeton oder Schnellbeton, je nach Anforderungen durch die möglichen Sperrzeiten. Die ersten beiden Betone sind in den TL Beton-StB geregelt. Letzterer wird in den TL BEB-StB geregelt und ist nochmals unterteilt in die drei Typen A (Transportbeton), B (vorgemischtes Trockenmörtelcompound, dem in situ die grobe Gesteinskörnung zugegeben wird) und C (komplett vorgemischter Trockenbeton, dem nur noch Wasser zugegeben wird).

Im Kapitel „Baustoffe“ werden alle erforderlichen Eignungsnachweise für sämtliche im Zusammenhang mit diesem Sanierungsverfahren zum Einsatz kommenden Materialien aufgeführt, vom Beton bis zum Unterfüllstoff für die Fugen.

Die „Ausführung“ wird sehr umfassend beschrieben. Beginnend wird der Ausbau durch Verweis auf das oben bereits erwähnte separate Kapitel „vorbereitende Arbeiten“ behandelt. Durch Skizzen in der Anlage A werden die verschiedensten möglichen Fugen-, Anker- und Dübelanordnungen je nach Randbedingungen hilfreich dargestellt. Im Folgenden wird auf die Herstellung der in situ gemischten Betone (Typ B und C), die Behandlung der Unterlage und ggf. erforderlichen Trennlagen, die Ein-

baustärken und die Anarbeitung an angrenzende Platten (Vorarbeiten an diesen, zulässiger Plattenversatz und Verschluss der Fugen gegen eindringenden Beton) sowie die zulässigen Unebenheiten eingegangen. Den Abschluss dieses Unterpunktes bildet die Oberflächenbehandlung bzw. -texturierung, womit der gesamte Ablauf erfasst ist. Abgeschlossen wird auch dieses Kapitel mit den Hinweisen zu „Art und Umfang der Prüfungen“, „Anforderungen an die fertige Leistung“, Angaben zur „Verkehrsfreigabe“ sowie zur „Abrechnung“.

5. Innovative Erhaltungsmethoden

Neben den bewährten Sanierungsverfahren, die im Regelwerk aufgeführt sind, gibt es aber auch immer wieder neue Methoden, die aufgrund fehlender Langzeiterfahrungen nicht den Weg in die ZTV gefunden haben. Das bedeutet jedoch nicht, dass diese Methoden nicht optimal geeignet sein können. Durch die langen Zeiträume zwischen den Aktualisierungen solcher Regelwerke, bei den ZTV BEB-StB betrug der Abstand zwischen den beiden letzten Versionen immerhin 13 Jahre, lohnt es sich daher, die Augen auf dem Markt aufzuhalten, um neue Möglichkeiten nicht zu übersehen.

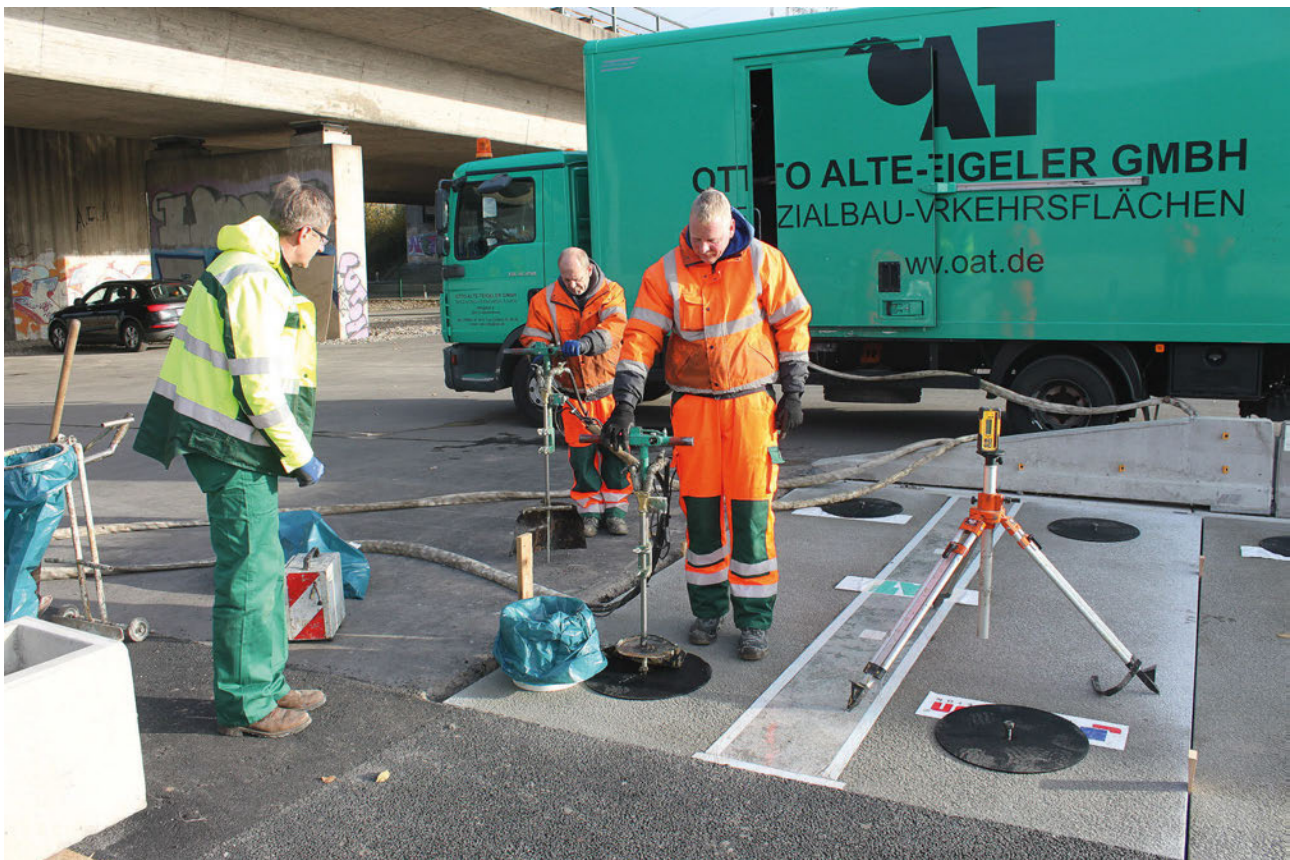


Bild 4: Unterpressen eines unabhängig vom Bestand aufgelagerten Betonfertigteils

Als ein Beispiel für eine innovative Sanierungsmethode, die den Weg in die Ausgabe 2015 nicht geschafft hat, soll hier der Austausch von beschädigten Betonplatten und Plattenteilen mittels Betonfertigteilen genannt werden. Diese kommt beim selben Schadensbild zum Einsatz, wie auch das zuvor beschriebene Verfahren zum Ersatz von Platten mittels Ortbeton. Da dieses Verfahren jedoch grundsätzlich mit gewissen Risiken wie Mischfehlern, Witterungsabhängigkeiten, Verzögerungen bei der Erhärtung usw. verbunden ist, war man auf der Suche nach einer Alternative. Hier bot es sich an, auf Fertigteile zurückzugreifen. Diese werden nach den erforderlichen Vorarbeiten wie Ermittlung der Randbedingungen auf der Baustelle (Plattenabmessungen, Belastung), Dimensionierung oder Erstellung der Pläne unter geschützten Umgebungsbedingungen im Werk gefertigt. Hierdurch wird eine gleichbleibend hohe Qualität gewährleistet und die Betonplatten sind bereits vor dem Einbau komplett ausgehärtet.

Auf der Baustelle sind die Vorarbeiten zum Entfernen der beschädigten Platten und zum Anschluss der Fertigteile an den Bestand durch Dübel und Anker identisch wie beim Ersatz durch Ortbeton. Anschließend werden die Betonfertigteile je nach Größe mittels Bagger oder Mobilkran in die Sanierungsstelle hineingehoben. Dies kann auch bei tiefen Temperaturen oder Niederschlag erfolgen, was eine der größten Vorteile gegenüber Ortbeton darstellt. Die Fertigteile müssen sodann in ihrer Lage höhenmäßig ausgerichtet werden, damit die gewünschte Ebenheit der Fahrbahn erhalten bleibt. Hierzu kann man auf verschiedene Systeme zurückgreifen, die entweder den umliegenden Bestand oder davon unabhängig den Untergrund als Auflager nutzen. Nach der Höhenjustierung werden die Fertigteile mit Unterpressmaterial, wie zuvor bei der Methode „Festlegen und Heben von Platten“ beschrieben, dauerhaft fixiert (Bild 4). Die Aushärtung des Unterpressmaterials erfolgt innerhalb kürzester Zeit, sodass einer Verkehrsfreigabe unmittelbar nach den Aufräumarbeiten in der Regel nichts entgegensteht. Der einzige tatsächlich witterungsabhängige Arbeitsschritt ist eventuell der Fugenverschluss, der ggf. in einer gesonderten Verkehrssicherung nachträglich erfolgen kann.

Die hier beschriebene Methode ist seit mehr als 8 Jahren in der Entwicklung und wurde inzwischen mehrfach zur Sanierung auf Autobahnen angewandt. Insbesondere wenn Schäden eher am Anfang der Nutzungszeit einer Betonfahrbahndecke beispielsweise durch Unfallereignisse entstehen und die Sanierung daher sehr dauerhaft sein sollte, bietet es sich an, die anfänglichen Mehrkosten in Kauf zu nehmen. Hierdurch kann ein erneutes Eingreifen vor der Gesamterneuerung verhindert und somit Folgekosten vermieden werden. Aufgrund der positiven Erfahrungen ist die Aufnahme in die künftige Fassung der ZTV BEB-StB vorgesehen.

6. Zusammenfassung

Die neue Auflage der ZTV BEB-StB aus dem Jahr 2015 ist ein hervorragendes und praxisorientiertes Hilfsmittel,

das die für die Betoninstandhaltung und -instandsetzung zur Verfügung stehenden Bauverfahren ausführlich beschreibt. Im Vergleich zur vorherigen Version wird weiter ins Detail gegangen, was sich in der deutlichen Erhöhung der Seitenanzahl von 65 auf über 100 Seiten zeigt. Es wurden neue Erkenntnisse und aktuelle Themen aufgegriffen sowie neue Produkte und Entwicklungen mit aufgenommen. Allerdings ist anzumerken, dass aus heutiger Sicht bereits wieder Überarbeitungsbedarf besteht. Dies betrifft beispielsweise die Begrifflichkeiten wie beim Grinding/Schleifen als auch die Einsatzmöglichkeiten und Präferenzen der Materialien. Exemplarisch seien hier die erwähnten Unterpressmaterialien genannt, bei denen hydraulische Bindemittel in der Praxis nicht mehr regelmäßig verwendet werden sowie die anderen Materialien verbessert und dadurch die Eignungseinschränkungen reduziert wurden. Auch gibt es immer wieder neue Verfahren, die zusätzliche Möglichkeiten eröffnen aber im Regelwerk noch nicht berücksichtigt werden können. Dies zeigt, dass ein solches Regelwerk stets als Momentaufnahme zu sehen ist, aber weitere Entwicklungen nicht behindern sollte. Als Hilfsmittel für alle am Bau Beteiligten sind die ZTV BEB-StB 15 sehr gut geeignet. Sie verschaffen einen guten Überblick und vermitteln gute Orientierungspunkte, wie eine qualitativ hochwertige, dauerhafte Instandhaltung bzw. Instandsetzung von der Planung über die Bauausführung und -überwachung erreicht werden kann.

Dennoch können die ZTV einen gesunden Ingenieursverstand nicht ersetzen. Es bleibt unabdingbar, dass man sämtliche Maßnahmen mit Weitsicht und Logik betrachtet, damit man das wirtschaftlich sinnvollste und für die Erhaltung der Substanz- und Gebrauchseigenschaften beste Verfahren wählt. Auch kann das Nutzen des Regelwerkes allein nicht gewährleisten, dass die Ausführung optimal erfolgt. Es ist stets auf die notwendige Fachkunde, Erfahrung und somit Eignung der Leistungserbringer zu achten, damit die Maßnahmen zum gewünschten Erfolg führen.

Literaturverzeichnis

- [1] NN (2019): Noch mehr Staus im letzten Jahr. In: Asphalt & Bitumen, Ausgabe 02/2019, Giesel Verlag GmbH, Hannover
- [2] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2015): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für die bauliche Erhaltung von Verkehrsflächenbefestigungen – Betonbauweisen (ZTV BEB-StB 15). FGSV Verlag, Köln.
- [3] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2015): Technische Lieferbedingungen für Baustoffe und Baustoffgemische für die Bauliche Erhaltung von Verkehrsflächenbefestigungen – Betonbauweisen (TL BEB-StB 15). FGSV Verlag, Köln.



Vermessung 4.0

Erfassung von Straßenumgebung und -oberfläche mit einem neuartigen multimodalen Messsystem

Prof. Dr. Alexander Reiterer

Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM, Freiburg, Deutschland
Institut für Nachhaltige Technische Systeme INATECH, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Deutschland

Dr. Philipp von Olshausen

Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM, Freiburg, Deutschland

Moritz Roetner

Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM, Freiburg, Deutschland

Christian Koch

Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM, Freiburg, Deutschland

Carsten Frey

Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM, Freiburg, Deutschland

Björn Hemsath

Oßwald GmbH, Nürnberg, Deutschland

Zusammenfassung

Die Dokumentation von Verkehrsinfrastruktur und die Erfassung ihres aktuellen Zustandes gewinnen zunehmend an Bedeutung. Der zunehmende Verkehr macht ein regelmäßiges Prüfen des Zustandes der Straßen und entsprechender Ingenieurbauwerke unabdingbar. Zusätzlich werden durch die Komplexität moderner Bauvorhaben digitale Planungs- und Bauprozesse notwendig – die Planungsgrundlagen dafür müssen möglichst schnell und effizient erzeugt werden. Manuelle Zustandserfassung oder die manuelle Dokumentation der 3D-Geometrie der Straßenumgebung sind keine praxistauglichen Ansätze. Daher werden bereits seit einigen Jahren spezielle Messfahrzeuge für die Erfassung der entsprechenden Messgrößen eingesetzt. Der vorliegende Beitrag stellt ein neuartiges Messfahrzeug vor, welches auf der modularen Systemplattform MUM des Fraunhofer-Instituts für Physikalische Messtechnik basiert.

1. Einleitung

Die Digitalisierung unserer Umwelt gewinnt zunehmend an Bedeutung: Digitale Abbilder der Realität sind die Basis für Planungsprozesse oder (prädictive) Instandhaltung zum Beispiel von Infrastruktur. Die Digitalisierung beginnt dabei immer mit der Erfassung relevanter Daten und der Ableitung entsprechender Parameter, um Objekte digital rekonstruieren (z. B. für den digitalen Zwilling) oder ihren Zustand möglichst schnell und effizient beurteilen zu können.

3D-Daten von Gleisen, Straßen, Brücken oder Gebäuden sind eine wertvolle Grundlage für die Instandhaltung. Aber nicht nur einzelne Objekte, sondern auch große Landstriche lassen sich mithilfe mobiler Laserscanner und Kameras effizient erfassen.

Mit dem Grad der Digitalisierung steigen die Datenmengen rapide an: Bei der Erfassung von nur einem Kilometer Straße entstehen mehrere Gigabyte an Daten. Diese zu verwalten, stellt viele Unternehmen vor große Herausforderungen. Dabei sind zumeist nicht die Rohdaten interessant, sondern vielmehr deren Interpretation – im Fall der Straße also Parameter wie die Querebenheit oder die Rissdichte.

Fraunhofer IPM hat für die Oßwald GmbH ein maßgeschneidertes Messfahrzeug mit entsprechender Auswertesoftware entwickelt, um flexibel einen Großteil der notwendigen Straßeninfrastrukturdaten erfassen und bewerten zu können. Dabei werden der Straßenzustand und die Umgebung gleichermaßen berücksichtigt.

2. Messfahrzeug im Detail

2.1 Allgemeines

Die Basis für das Messfahrzeug bildet das modulare Systemkonzept „Mobile Urban Mapper MUM“ [1] des Fraunhofer IPM. Dieses Baukastensystem erlaubt es, Sensoren beliebig zu kombinieren und über eine entsprechende zeitliche und räumliche Synchronisierung einheitliche Datenströme zu erzeugen. In den nachfolgenden Abschnitten werden die einzelnen Systemaufgaben beschrieben.



Abbildung 1: Messfahrzeug von hinten mit dem Sensoraufbau im oberen Bereich und den LEDs für die Ausleuchtung der Straße im unteren Bereich.



Abbildung 2: Messfahrzeug von vorne mit Sensoraufbau im oberen Bereich. Nicht sichtbar ist das System für die Erfassung der Längsebenheit unterhalb des Fahrzeuges.

2.2 Erfassung der Straßenoberfläche

Die Zustandserfassung der Bundesfernstraßen und nahezu aller Landesstraßen erfolgt regelmäßig alle vier Jahre. Es müssen dabei folgende Merkmale erhoben werden:

- Ebenheit in Längs- und Querrichtung,
- die vorhandene Griffbarkeit und
- die Substanzmerkmale der Oberfläche (Risse, Flickstellen etc.).

Die Erfassung erfolgt berührungslos durch mobile Messsysteme (Ausnahme Griffbarkeit). Die Erfassung der Querebenheit erfolgt gemäß der aktuellen Technischen Prüfvorschrift (TP) Ebenheit, Teil berührungslose Messungen aus dem Jahr 2009 [2].

Anforderungen an das Messsystem umfassen: Messbreite auf Bundesautobahnen von 3,20 m (Bundesstraßen 3,00 m), Punktabstand im Querprofil von 10 cm und eine Punktgenauigkeit der Einzelmessung von 0,2 mm.

Diese Anforderungen haben zur Folge, dass bislang für die **Erfassung der Querebenheit** immer ein Querbalken (Breite mindestens 3,30 m) mit Einzellasern eingesetzt werden muss. Damit behindert das Fahrzeug den fließenden Verkehr (Überbreite) und macht eine Erfassung in Kommunen und im nachgeordneten Netz nahezu unmöglich. Des Weiteren kann mit den existierenden Systemen nie die gesamte Fahrstreifenbreite (3,20 bis 3,50 m) erfasst werden. Auf noch breitere Messbalken wurde aber aus Gründen der Verkehrssicherheit und der Wirtschaftlichkeit (Anzahl der Einzellaser) verzichtet.

Alternative Erfassungssysteme sind seit 2009 zulässig.

Das hier präsentierte Messfahrzeug setzt auf den Pavement Profile Scanner PPS des Fraunhofer IPM für die Erfassung der Querebenheit. Der PPS misst die Entfernung zur Straßenoberfläche zwei Millionen Mal pro Sekunde. Dabei bewegt ein schnell drehender Spiegel den Laserstrahl 800 Mal pro Sekunde über die Straße, um dabei jeweils ein Querprofil mit 1.800 Messpunkten aufzunehmen. Der Scanwinkel beträgt 70°; die Montagehöhe des Scanners bestimmt daher die maximale Breite der gescannten Fläche (Fahrbahn).

Aus optischer Sicht ist die Straßenoberfläche leider kein besonders „kooperatives“ Ziel. Teilweise ist der Straßenbelag sehr dunkel (schwarz) und damit wenig reflektierend; Seiten- oder Mittelstreifen hingegen sind sehr helle und stark reflektierende Objekte. Alle Sensoren (insbesondere aber auch das System für die Querebenheit) müssen daher mit einem relativ großen Dynamikbereich zurechtkommen.

Die Anforderungen an die Genauigkeit sind zudem sehr hoch: Die Querebenheitsmessung muss mit einer Messunsicherheit deutlich unter einem Millimeter durchgeführt werden. Für die Sensorik bedeutet dies, dass die Messungen im Zehntel-Millimeter-Bereich erfolgen müssen.

Für die **Erfassung der Längsebenheit** sind an einem Längsmessbalken, der auf der Unterseite des Fahrzeuges in der rechten Rollspur montiert ist, vier Triangulationsensoren angebracht. Diese sind an den Positionen 0 cm, 10 cm, 100 cm und 200 cm (von vorne nach hinten) auf einer geraden Linie entlang der Fahrtrichtung positioniert. Jeder Sensor misst die Distanz zur Straßenoberfläche.

che mit einer Frequenz von 4 kHz und einer Auflösung von mindestens 0,05 mm.

Da die Sensoren auf der Fahrzeugunterseite montiert sind, können hier Laser der Laserklasse 3 verwendet werden, ohne die Augensicherheit umgebender Passanten zu gefährden. Dies ermöglicht die hohe Abtastrate, selbst bei starker, seitlicher Sonneneinstrahlung. Die so erfassten Messdaten ermöglichen eine Analyse der Längsebenheit nach dem Prinzip der Mehrfachabtastung (HRM – High Speed Road Monitoring) [3].

Neben den hohen Anforderungen an die Messgenauigkeit spielt die Geschwindigkeit, mit der sich das Messfahrzeug bewegen darf, eine herausragende Rolle. Für die Erfassung der Straßenoberfläche im fließenden Verkehr sind Geschwindigkeiten von mindestens 80 km/h gefordert, damit auch der linke Fahrstreifen auf der Autobahn ohne zu große Verkehrsbehinderung gemessen werden kann.

Neben den technischen Prüfvorschriften für Ebenheitsmessungen auf Fahrbahnoberflächen sind beim Einsatz von Lasern in öffentlich zugänglichen Bereichen besondere Sicherheitsvorschriften zu beachten. Auch wenn der Fall sehr unwahrscheinlich ist, so könnte der Laserstrahl das Auge eines zufälligen Beobachters treffen. Das Messfahrzeug verwendet daher Laserscanner der Laserklasse 1, was eine uneingeschränkte Nutzung im öffentlichen Raum ermöglicht.

Die Lasertriangulationssensoren für die Bestimmung der Längsebenheit sind mit einer speziellen Schutzeinrichtung versehen, sodass trotz Laserklasse 3 keine Personen gefährdet werden können.

Für die **Erfassung der Substanzmerkmale** verfügt das Fahrzeug über zwei Flächenkameras, welche an der Rückseite des Fahrzeugs verbaut sind (auf Dachhöhe). Die Kameras sind von oben, mit leichtem Winkel nach außen geneigt, auf die Straßenoberfläche ausgerichtet (Abbildung 1), sodass sich die Bildbereiche in der Mitte überlappen. Insgesamt wird eine Fahrbahnbreite von 4,5 m von den Kameras erfasst.

Um bei Geschwindigkeiten von bis zu 80 km/h ein scharfes Abbild der Straßenoberfläche zu erhalten, muss die Belichtungszeit extrem gering gehalten werden. Dies wird dadurch ermöglicht, dass sieben LED-Beleuchtungspaneel an der unteren Fahrzeugrückseite (Abbildung 1) für eine helle, homogene Ausleuchtung der abzubildenden Oberfläche sorgen. Dies erlaubt eine Belichtungszeit von 50 µs. Bildaufnahme und Beleuchtung werden alle 3 cm getriggert. Die Kameras nehmen Bilder über die volle Breite, jedoch nur 3,6 cm Länge (entlang der Fahrtrichtung) auf. So kann die hohe Bildfrequenz realisiert und die Ausleuchtung muss nur für einen schmalen Streifen optimiert sein. Die Blende der Objektivs ist so eingestellt, dass sowohl die Fahrbahnmitte als auch der Außenbereich scharf abgebildet werden.

In einem nachgelagerten Verarbeitungsschritt werden die aufgenommenen Bildausschnitte zu Oberflächenbildern von 10 m Länge und 4,5 m Breite verrechnet (s. Abschnitt 3).

2.3 Erfassung der Straßenumgebung

Für die Erfassung des Straßenumfelds wird eine Kombination aus Laserscanner und Kameras verwendet. Das System umfasst den High-End-Laserscanner CPS (Clearance Profile Scanner) des Fraunhofer IPM, welcher den Objektstand im Winkelbereich von 0° - 355° nahezu senkrecht zur Fahrtrichtung misst. Der CPS zeichnet sich durch eine Messfrequenz von 2 Millionen Messpunkten pro Sekunde und eine Scanfrequenz von 200 Hz bei einer Einzelpunktgenauigkeit von ca. 3 mm (Präzision abhängig von der Reflektivität der Objektoberfläche) aus. Um eine bildliche Darstellung der Umgebung zu generieren und zur Texturierung der Punktwolke mit Farbinformationen, werden vier hochauflösende Kameras eingesetzt. Zusätzlich sind zwei Panoramakameras integriert, welche im Postprocessing einen schnellen Überblick über die Gegebenheiten vor Ort ermöglichen. Die vier Kameras erzeugen Bilder mit einer Auflösung von 5 Megapixel, die Panoramabilder haben 30 Megapixel. Alle Kameras können zeit- oder weggesteuert ausgelöst werden – typischerweise werden alle 5 m Bilder erzeugt.

2.4 Weitere Systeme

Da die 3D-Messsysteme (Laserscanner) auf einem fahrenden Fahrzeug montiert sind, enthalten diese 3D-Daten zunächst alle Fahrzeugbewegungen wie zum Beispiel Einfederung oder Schwingungen. Diese Bewegungen sind um ein Vielfaches größer als die geforderte Genauigkeit der Ebenheits- oder Umgebungsmessung und müssen daher mit mindestens der gleichen Präzision erfasst und rechnerisch kompensiert werden. Durch Einsatz eines **inertialen Messsystems** kann eine entsprechende Korrektur (Fahrzeugbewegungen werden von den Messdaten rechnerisch getrennt) der Daten vorgenommen werden. Durch die zusätzliche Verwendung eines **GNSS-Systems** können die Daten in der Welt referenziert werden. Am Ende liegen präzise Informationen über Fahrbahnniveaus in Längs- und Querrichtung vor. Zudem lassen sich 3D-Daten der Umgebung georeferenziert errechnen.

Um dem Fahrer die Möglichkeit zu geben, sich auf den Verkehr konzentrieren zu können, wurde eine **Spurhaltekamera** in das System integriert. Über eine entsprechende Visualisierung wird der Fahrer in einem konstanten Abstand zum Seitenstreifen der Straße geführt.

2.5 Datenmengen

Die aufgezeichneten Datenmengen pro Kilometer sind enorm groß, was es bei der Auslegung der Computer-Infrastruktur des Fahrzeugs zu berücksichtigen gilt. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die erzeugten Datenmengen der Systemeinheiten.

Systemeinheit	GB/km
4 Längsebenheitslaser	0.02
PPS*	3.3
2 Oberflächenkameras	14.5
CPS*	5.4
4 Umgebungskameras	3.5
2 Panoramakameras	12.1

Tabelle 1: Datenmengen der Systemeinheiten des Messfahrzeugs in Gigabyte pro Kilometer. (* Durchschnittswerte in der Stadt, da die Systeme kontinuierlich und nicht weggetriggert aufzeichnen).

3. Datenauswertung

Das Fahrzeug zeichnet Rohdaten auf, welche nach einer Messfahrt mit einer Software nachprozessiert werden müssen. Grundlage für die Verrechnung der Messdaten ist die präzise Trajektorie des Fahrzeugs, welche aus den Daten des GNSS-Systems und der inertialen Messeinheit berechnet wird.

3.1 Bewertung von Straßenoberflächen

Für die Analyse der Längsebenheit werden die Messwerte der vier Triangulationssensoren mit den zeitgestempelten Positionsdaten des Fahrzeugs nach dem etablierten HRM-Verfahren, welches auf dem Prinzip der Mehrfachabtastung beruht, verrechnet [3]. Das Ergebnis wird gemäß Teilprojekt 1a (TP1a) der Technischen Prüfvorschrift Ebenheit im Georohdatenformat als XML-Datei exportiert. Dies bildet die Grundlage für die Berechnung relevanter Parameter wie z. B. Allgemeine Unebenheit (AUN), welche den Zustand der Straße bezüglich der Längsebenheit quantifizieren.

Die Analyse der Querebenheit geschieht mittels der Daten des PPS und richtet sich nach den Vorgaben des Teilprojekts 1b (TP1b). Hierfür werden auf einer Linie senkrecht zur Fahrtrichtung Höhenwerte im Abstand von 10 cm berechnet. Jeder dieser Höhenwerte stellt den Mittelwert aus allen Messwerten eines 10 cm x 10 cm großen Bereichs dar (ca. 200 Messwerte bei typischen Geschwindigkeiten). Querprofile werden in einem regelmäßigen Abstand von 1 m entlang der Fahrtrichtung berechnet. Das Ergebnis wird gemäß TP1b im Georohdatenformat als XML-Datei exportiert. Dies bildet wiederum die Grundlage für die Berechnung relevanter Parameter wie mittlere Spurrinntiefe und fiktive Wassertiefe, welche den Zustand der Straße bezüglich der Querebenheit quantifizieren.

Für die Bewertung der Straßensubstanz werden Bilder der Oberfläche in Abschnitten von 10 m und mit einer Breite von 4,5 m berechnet. Dies geschieht durch Zusammensetzen der streifenweise aufgenommenen Bilder der Oberflächenkameras. Um alle Einzelbilder fehlerfrei in

das finale Bild zu projizieren, fließen zwei Korrekturen ein. Zum einen wird der Winkel der Kameras zur Straße durch die Winkelpositionen der Trajektorie kompensiert. Zudem wird aus den PPS-Daten ein exaktes Bodenmodell erstellt, was zusätzlich die genaue Höhe der Kameras über der Straße zu jedem Zeitpunkt enthält. Abbildung 3 (links) zeigt beispielhaft einen repräsentativen Ausschnitt eines Oberflächenbildes und eine stark vergrößerte Detailsicht eines kleinen Bereichs (rechts), in dem die hohe Auflösung und der hohe Kontrast gut zu erkennen sind.

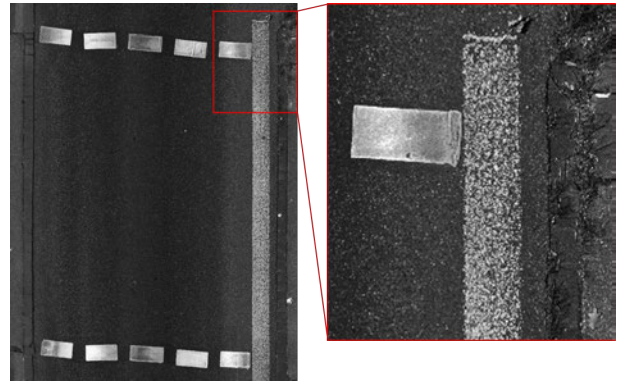


Abbildung 3: 6 m Abschnitt eines Oberflächenbildes einer Straße mit Fahrbahnmarkierungen (links) und stark vergrößerter Ausschnitt zur Darstellung der Details (rechts).

3.2 Analyse von Straßenumgebungen

Durch die Verrechnung der Abstandswerte, welche mit dem CPS aufgenommen werden, mit der Trajektorie, lässt sich eine 3D-Punktwolke berechnen. Diese stellt ein realitätsnahes Abbild der Umgebung dar, welches absolut in der Welt referenziert ist und z. B. die Messung von Abständen erlaubt. Der Helligkeitswert jedes einzelnen Punktes (Intensität des Signals) ist ein Maß für die Reflektivität der Oberfläche an diesem Ort. Abbildung 4 zeigt die 3D-Intensitäts-Punktwolke einer Straßenszene.



Abbildung 4: 3D-Punktwolke einer Straßenszene erzeugt aus Messdaten des CPS und der Trajektorie.

Aus den Bildern der Umgebungskameras ist die Farbinformation der Umgebung bekannt. Diese kann in die Punktwolke übertragen werden, da sowohl die Kameras als auch der CPS kalibriert sind. Abbildung 5 zeigt die gleiche Szene wie Abbildung 4, jedoch eingefärbt mit den Farben der Umgebungskameras. Schattenwurf der Bäume und Farben der Häuser sind eindeutig zu erkennen.



Abbildung 5: 3D-Punktwolke der gleichen Szene wie in Abbildung 4, wobei die Punkte eingefärbt sind anhand der Bilder der Umgebungskameras.

4. Schlussbemerkung und Ausblick

Abschließend kann gesagt werden, dass mit dem von Fraunhofer IPM entwickelten Konzept und darauf aufbauenden Gesamtsystem der Firma Oßwald GmbH im Zusammenspiel mit der entsprechenden Auswertesoftware ein einmaliges Messsystem zur Verfügung steht. Dieses Messfahrzeug ermöglicht eine präzise Abtastung der Straßenoberfläche und -umgebung (die Kombination von zwei Oberflächenkameras, Oberflächenscanner, Umgebungskameras, Umgebungsscanner und zwei Panoramakameras ist weltweit einzigartig) bei hohen Geschwindigkeiten und kann gleichzeitig die von der Bundesanstalt für Straßenwesen BAST geforderten Genauigkeiten erreichen (der erforderliche Zulassungsprozess ist zum Zeitpunkt des Verfassens dieses Beitrages noch nicht abgeschlossen).

Neben den klassischen Auswertemethoden für Längs- und Querebenheit und Straßensubstanz stehen mit dem neuen Messsystem eine Reihe von anderen Möglichkeiten zur Verfügung, die in Zukunft geprüft werden sollen und gegebenenfalls zum Einsatz kommen werden:

- **Betrachtung der Ebenheit in 3D:** Derzeit erfolgt die Betrachtung der Ebenheit getrennt in Längs- und Querrichtung. Die Anregung der Fahrzeuge erfolgt jedoch aus einer Überlagerung beider Ebenen. Für spezifische Aufgabenstellungen (z. B. Aquaplaningstudien) kann die Betrachtung des tatsächlichen 3D-Oberflächenmodells Sinn machen.
- **Nutzung der Intensitätswerte für die Bildauswertung:** Neben der Entfernungsmessung steht auch ein

Intensitätswert bei jeder Messung zur Verfügung. Dieser lässt sich wie ein Grauwert eines Bildes interpretieren. Bisherige Untersuchungen des Fraunhofer IPM zeigten, dass es mit einem hochauflösenden Laserscanner zwar möglich ist, ein hochauflösendes Oberflächenbild zu erzeugen (eine räumliche Auflösung von 1 x 1 mm konnte nachgewiesen werden), Risse jedoch auf Grund des physikalischen Grundprinzips (Beleuchtung und Aufnahme in/aus der gleichen Richtung) schwer oder gar nicht sichtbar werden. Durch eine Umsetzung einer hochauflösenden 3D-Messung könnte eine Datenqualität ermöglicht werden, die auch die Risserkennung aus einem Laserscanner zulässt.

- **Automatisierte Datenauswertung:** Die Fusion von Bild- und Scandaten lässt eine weitgehend vollautomatisierte Auswertung der erfassten Daten zu. Ein solcher Prozess wurde vom Fraunhofer IPM für eine spezifische Aufgabenstellung (für die Deutsche Telekom) bereits realisiert. Dieser Prozess kann auch auf andere Anwendungsfälle übertragen werden, u. a. die automatisierte Schadstellenerkennung auf der Straßenoberfläche – ein entsprechendes Forschungsprojekt läuft aktuell am Fraunhofer IPM und kommt 2022 zum Abschluss.

Literatur:

- [1] Fraunhofer IPM: Datenblatt des Mobile Urban Mappers MUM: <https://www.ipm.fraunhofer.de/content/dam/ipm/en/PDFs/product-information/OF/MTS/mobile-urban-mapping-system-MUM.pdf>, letzter Zugriff, 10/2020.
- [2] Forschungsgesellschaft für das Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Technische Prüfvorschrift zur Messung der Ebenheit, Teil berührungslose Messungen, Bonn, 2009.
- [3] J. Neubeck und A. Wiesebrock, Längsebenheitsmesssysteme, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Straßenbau, Heft S 92, November 2015.

Mobile Mapping im Verkehrswegebau

Philipp Mielke

STRABAG 3D Mapping Services, Regensburg, Deutschland

Zusammenfassung

Mobile Mapping ermöglicht die schnelle Aufnahme umfangreicher und hochdetaillierter Vermessungs- und Bestandsdaten von Verkehrswegen mittels Laserscanner und Messkameras. Die realitätsgetreue Datenaufnahme erfolgt vom fahrenden Fahrzeug und im fließenden Verkehr, wodurch eine sehr effiziente, sichere und kostengünstige Erfassung des gesamten Verkehrswegs ermöglicht wird. Diese Daten bilden die Grundlage für eine Vielzahl von Anwendungen in der Planung, Kalkulation, Bauausführung und Bewirtschaftung von Verkehrswegen. Das breite Nutzungsspektrum reicht von der Vermessung über die Modellierung und BIM bis hin zur Inspektion und Dokumentation. Der Einsatz modernster Software und Künstlicher Intelligenz ermöglicht hierbei eine immer schnellere Verarbeitung, Bereitstellung und Nutzung der Daten.

1. Einführung

Innovative Technologie für effiziente Datenerfassung – mit Mobile Mapping setzt STRABAG seit 2018 modernste Vermessungsmethoden für die Digitalisierung im Verkehrswegebau (VWB) ein. Fortschreitende Digitalisierung und die konsequente Einführung von Building Information Modelling (BIM) erfordern umfassende Informationen für Planung, Bauausführung und Betrieb von Verkehrswegen. Die neuen digitalen Arbeitsweisen benötigen jedoch immer mehr und de-

tailliertere Bestands- und Vermessungsdaten, sei es für das initiale Planungsmodell, die Steuerung von automatisch arbeitenden Fräsen, Baggern und anderen Baumaschinen oder als Grundlage für modellbasierte Abrechnungen. Dieser hohe und häufig zeitnahe Bedarf an Daten steht dabei zunehmend in Konflikt mit bestehenden Normen und Regelwerken, aber auch mit entsprechenden Prozessen für die Datenerfassung und -verarbeitung. Konventionelle, zum Teil über Jahrzehnte entwickelte Technologien und Methoden stoßen zunehmend an ihre Grenzen.

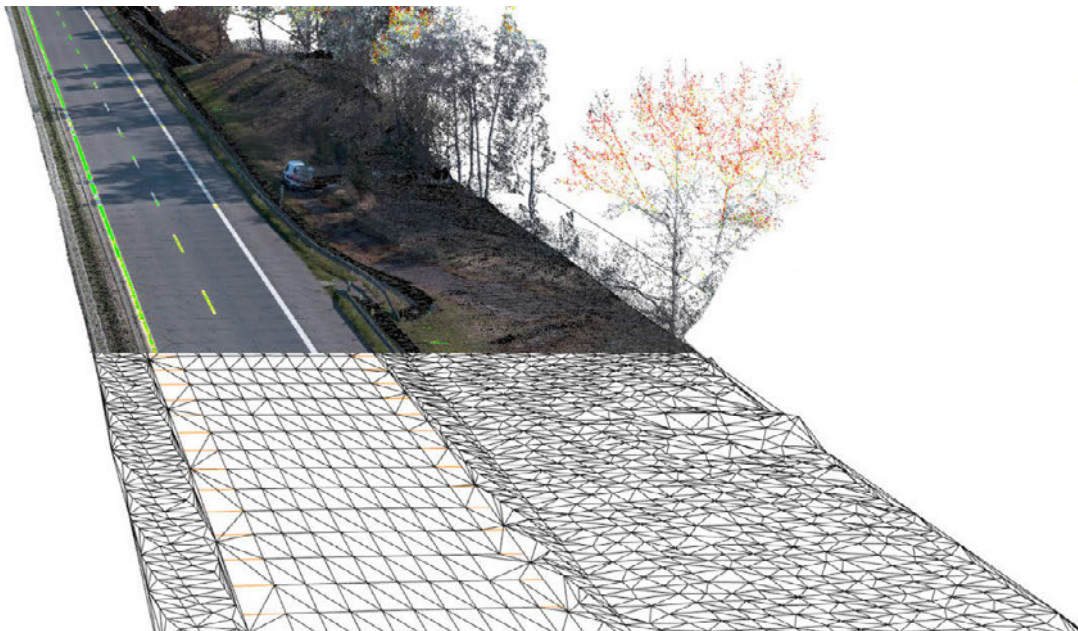


Abbildung 1: Die realitätsgetreuen Punktwolken einer STRABAG Mobile Mapping Befahrung (im Hintergrund) und das daraus abgeleitete hochdetaillierte DGM (im Vordergrund).

Etablierte Vermessungsverfahren im VWB sind hochgenau, aber methodisch aufwendig und zeitintensiv. Messverfahren, wie beispielsweise das Tachymeter oder Nivelliergerät, erfordern ein ständiges Umsetzen und Neustationieren des Messgeräts, was vor allem bei größeren Strecken mit einem erheblichen Zeitaufwand verbunden ist. Die Datenaufnahme wird daher für gewöhnlich auf die Vermessung von Querprofilen alle 10–20 m entlang des Straßenkörpers reduziert, die dazwischenliegenden Bereiche werden anschließend aus den Querprofilen interpoliert. Der Detailgrad der aus diesen Daten abgeleiteten digitalen Geländemodelle (DGM) und Bestandspläne ist entsprechend reduziert. Für die Arbeiten muss der Verkehrsweg betreten und somit gesperrt werden, was wiederum mit hohen Kosten verbunden ist und die Unfallgefahr für Verkehrsteilnehmende erhöht. Die so erzeugten Plandaten entsprechen zwar den aktuell gültigen Regelwerken für Vermessung [1], der Zeit- und Kostenaufwand ist jedoch enorm und der Detailgrad für BIM und andere digitale Methoden häufig nicht ausreichend. Weiterentwicklungen, wie das stationäre Laserscanning, ermöglichen eine deutlich detailliertere Vermessung durch die Aufnahme von Punktwolken aus Millionen von Messpunkten. Aber auch diese Geräte müssen häufiger umgestellt werden und erfordern eine zumindest teilweise für den Verkehr gesperrte Arbeitsbereiche [2]. Mit Mobile Mapping lassen sich viele der genannten Herausforderungen bewältigen. Laserscanner für die Vermessung und Kameras für die Dokumentation werden hierfür auf ein Fahrzeug montiert; die Datenaufnahme findet anschließend während der Fahrt statt. Aus den realitätsgetreuen Vermessungsdaten werden unter anderem DGMs und Bestandspläne für den VWB extrahiert (Abbildung 1). Die hieraus resultierenden Vorteile sind:

- **Schnelle und effiziente Datenaufnahme**
Selbst kilometerlange Strecken lassen sich innerhalb kurzer Zeit vollständig vermessen und dokumentieren. Das mühsame Aufnehmen von Einzelpunkten entfällt, vielmehr wird das gesamte Areal entlang des Fahrweges erfasst.
- **Aufnahme von hochdetaillierten und realitätsgetreuen 3D-Vermessungsdaten**
Mit (mobilem) Laserscanning aufgenommene Vermessungsdaten sind hochdetailliert (bei gleichzeitig hoher Genauigkeit). Anstelle von Einzelpunkten wird das gesamte Umfeld erfasst und in Punktwolken überführt, die als Grundlage für Modellierung, Planung und Visualisierung dienen.
- **Aufnahme von Fotos für virtuelle Inspektion und Dokumentation**
Integrierte Kameras erfassen jedes Detail entlang der Messstrecke. Die aufgenommenen Fotos können automatisch analysiert und für Inspektion, Dokumentation und Planung bereitgestellt werden. Der Verkehrsweg kann aus dem Büro betrachtet und Maßnahmen virtuell geplant werden.

- **Erhöhung der Sicherheit für Personal und Verkehrsteilnehmende**
Die Datenaufnahme erfolgt aus dem Fahrzeug heraus. Die Fahrbahn muss nicht betreten werden; Personal und Verkehrsteilnehmende werden durch die Arbeiten nicht gefährdet.
- **Keine Verkehrssperrung notwendig**
Die Datenaufnahme erfolgt im fließenden Verkehr. Verkehrssperrungen wie bei den konventionellen Messmethoden sind nicht erforderlich.

2. Grundlagen Mobile Mapping

Der Sammelbegriff „Mobile Mapping“ vereint Methoden zur Erfassung raumbezogener Daten mit Hilfe von mobilen Trägerplattformen. Die Datenaufnahme findet aus der Bewegung statt (kinematische Vermessung). Der Umfang der verwendeten Messausstattung variiert dabei je nach System und Anwendung. In der Regel verfügen Mobile Mapping Systeme (MMS) über eine oder mehrere Kameras für die Fotodokumentation sowie Laserscanner oder Stereokameras für die 3D-Vermessung. Spezialisierte Systeme können mit weiteren Sensoren, wie Wärmebild- und Multispektralkameras oder Gas-Detektoren, ausgestattet werden. Für die Untersuchung des Untergrunds kommen Geomagnet- oder Radarsensoren zum Einsatz. Als Trägerplattform dienen Straßen-, Schienen-, Wasser- und Luftfahrzeuge, aber auch handgeführte oder auf dem Rücken tragbare Geräte. Die Grenzen zwischen stationären und kinematischen Messsystemen verwischen jedoch zunehmend. So unterstützen vormals rein statische Systeme wie das Tachymeter inzwischen auch zunehmend kinematische Vermessungen.

Im VWB werden MMS meist auf Straßen- oder Schienenfahrzeuge montiert und für die Vermessung und Fotodokumentation verwendet. Im einfachsten Fall besteht ein MMS aus einer Kamera und einem Sensor zur Positionsbestimmung, welches auf einem Fahrzeug montiert und entlang der aufzunehmenden Strecke bewegt wird. Mobile Mapping ist in dieser Form keine neue Erfindung: Erste mit Kameras ausgestattete Fahrzeuge wurden bereits in den 1970er Jahren für die Fotodokumentation von Autobahnen eingesetzt [3]. Einer breiteren Öffentlichkeit wurde Mobile Mapping 2007 mit dem Start von Google Streetview bekannt, das sich nach wie vor großer Beliebtheit erfreut. Mit zunehmender technologischer Entwicklung wurden die Systeme komplexer und umfangreicher. Erste (wenn auch noch ungenaue) Vermessungen wurde zunächst durch die Integration von Stereokameras ermöglicht, später folgten Laserscanner mit Genauigkeiten im Millimeterbereich. In den vergangenen Jahren sorgte die fortschreitende Miniaturisierung für immer kompaktere Bauweisen, die den unkomplizierten Einsatz auf einer Vielzahl von Trägerplattformen ermöglichen. Neben Anwendungen im VWB wird Mobile Mapping bereits seit einigen Jahren zur Erfassung von

Panoramafotos für Städte und Kommunen sowie für die genormte Straßenzustandserfassung [4] genutzt.

Größte Herausforderung beim Mobile Mapping ist die Georeferenzierung der Vermessungsdaten. Je höher die Anforderungen an die Genauigkeit, desto exakter müssen Position und Lage des Messsystems zu jedem Zeitpunkt bekannt sein. Zu diesem Zweck muss das MMS über ein System zur Positions- und Lagebestimmung verfügen. Im einfachsten Fall, beispielsweise für die Fotodokumentation einer Fahrstrecke ohne höhere Anforderungen an die Genauigkeit, wäre die Nutzung einer GNSS-Antenne ausreichend. Werden dagegen präzise Messdaten per Laserscanner benötigt, ist eine Kombination verschiedenster Positions-, Lage- und Beschleunigungssensoren notwendig. Eine für diesen Zweck typische Ausstattung umfasst GNSS-Empfänger für die Positionserfassung, ein Inertiales Navigationssystem (INS) mit Beschleunigungs- und Lagesensoren sowie ein Hodometer für die Streckenmessung (engl. Distance Measuring Instrument, DMI). Kurzzeitige Ausfälle des GNSS (beispielsweise unter Brücken) können durch INS und DMI überbrückt werden. Zunehmend finden auch Sensoren für die simultane Positionsbestimmung und Kartenerstellung (engl. Simultaneous Localization and Mapping, SLAM) Einzug in die Positionsbestimmung. Je nach Anwendungsfall wird die Positionsgenauigkeit zusätzlich durch den Einsatz von Passpunkten erhöht. Aus den Informationen von GNSS, INS, DMI und Passpunkten wird nach Abschluss der Datenaufnahme ein möglichst präziser Verlauf der abgefahrenen Messstrecke (Trajektorie) berechnet. Die Trajektorie wird anschließend mit den Messdaten der Kameras und Laserscanner synchronisiert und ermöglicht so die zeitliche und räumliche Verortung der Messdaten.

2.1 Mobile Mapping bei STRABAG

STRABAG nutzt im VWB ein MMS vom Typ MX9 der Firma Trimble Navigation Ltd [5]. Das System umfasst zwei Impuls-Laserscanner vom Typ Riegl VUX 1HA [6], eine 360-Grad-Panoramakamera, eine Fahrwegkamera sowie zwei Frontalkameras. Mit einem Gesamtgewicht von 37 kg ist es eines der leichtesten Komplettsysteme auf dem Markt und kann auf beliebigen Trägerfahrzeugen montiert werden – von Kraftfahrzeugen über Schienenfahrzeuge bis hin zu Klein- und Spezialfahrzeugen. Das System ist bis zu einer Fahrgeschwindigkeit von 110 km/h einsetzbar (Abbildung 2).

Hauptvorteil des Systems ist die Integration von zwei Laserscannern zur Aufnahme von Punktwolken für die Vermessung. Beide Scanner arbeiten mit einer effektiven Messrate von jeweils 1 GHz und 250 Scanprofilen pro Sekunde. Die Genauigkeit liegt bei 5 mm, die maximale seitliche Reichweite beträgt 235 m. Die Vermessung erfolgt durch schnelle Rotation der Scanner und der daraus entstehenden Scanprofile. Durch die Vorwärtsbewegung des Fahrzeuges während des Scanvorgangs entwickelt sich aus den Profilen eine flächige Aufnahme. Der Abstand zwischen den einzelnen Profilen steigt mit der Fahrgeschwindigkeit, wodurch der Detailgrad der Messdaten sinkt. MMS mit nur einem Laserscanner haben somit das Problem, dass die Profilarstände bei höheren Geschwindigkeiten zu groß für eine detaillierte Vermessung werden. So ergibt sich bei einer typischen Scanrate von 250 Profilen pro Sekunde und einer Geschwindigkeit von 80 km/h ein Profilarstand von rund 8,9 cm. Durch die Verwendung von zwei horizontal und vertikal verstellbaren Laserscannern beim MX9 kann diesem Problem entgegengewirkt werden. Beide Scanner werden angewinkelt zueinander montiert, wodurch sich die Scanprofile kreuzen und ein engmaschiges Messraster erzeugt wird, welches auch bei höheren Geschwindigkeiten ein detailliertes Abbild der Realität liefert (Abbildung 3).

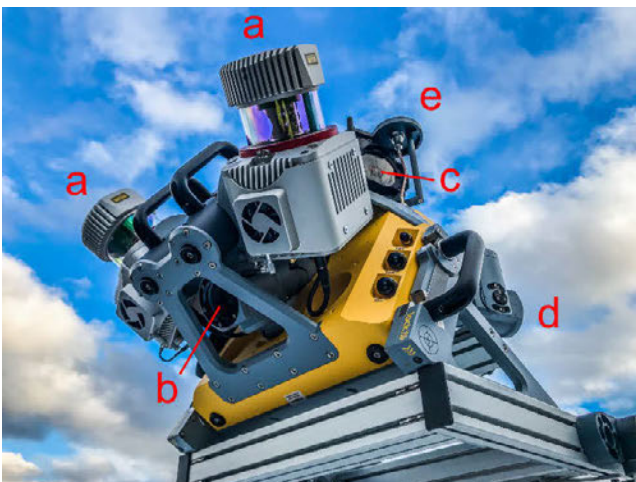


Abbildung 2, links: Das Trimble MX9 Mobile Mapping System mit zwei Laserscannern (a), Fahrwegkamera (b), 360 Grad Panoramakamera (c), Frontalkameras (d) und GNSS-Empfänger (e).

Rechts: Mobile Mapping Befahrung auf einer Autobahn bei 80 km/h.

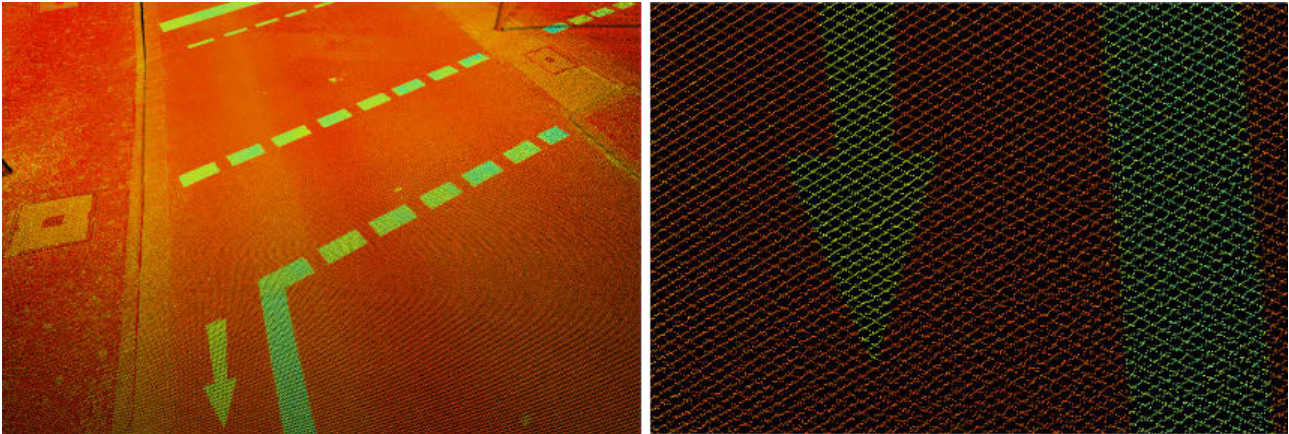


Abbildung 3, links: Punktwolke des Trimble MX9 bei ca. 50 km/h.
Rechts: Darstellung der sich kreuzenden Scanprofile und des daraus gebildeten, engmaschigen Punktrasters.

Die Verwendung von zwei Scannern reduziert zudem die Problematik von Abschattungen durch andere Fahrzeuge. Wird beispielsweise das Scanprofil eines Scanners durch ein überholendes Auto gestört, kann der zweite Scanner dies häufig ausgleichen und die Datenaufnahme vervollständigen. Ferner können vertikale Objekte und Fassaden unterschiedlichster Ausrichtung zuverlässiger erfasst werden (Abbildung 4). Die Scanner arbeiten unabhängig von externen Lichtquellen und können somit auch nachts betrieben werden. Zur Sicherstellung qualitativ hochwertiger Messdaten findet die Datenaufnahme bei trockenen Bedingungen statt, da die Reflexionen der nassen Oberflächen die Messergebnisse verfälschen können. Für die visuelle Datenerfassung verfügt der MX9 über ein Kamerasystem bestehend aus einer 30 MP Panoramakamera, zwei 5 MP Frontalkameras und einer 5 MP Fahrwegkamera. Die Abstände der Fotoaufnahmen entlang der Messstrecke sind ab einem Minimalabstand von

1 m frei wählbar. Die Fotos der Panoramakamera können zur Kolorierung der Laserscan-Punktwolken genutzt werden. Die 5 MP Fahrwegkamera an der Rückseite des MX9 dient der Erfassung und Inspektion des Fahrwegs; die beiden nach vorne gerichteten Kameras werden für planare Fotos der Umgebung aus der Frontperspektive des Fahrzeuges genutzt.

Die Positions- und Lageerfassung des MX9 erfolgt über ein eingebettetes INS mit GNSS vom Typ Trimble Applanix AP60 sowie optische und mechanische Hodometer. Die unter guten GNSS-Bedingungen (d.h. freier Himmel und Verwendung von mindestens einer GNSS-Referenzstation im Umkreis von 20 km) im praktischen Einsatz erreichbare absolute Positionsgenauigkeit liegt bei unter 10 cm. Unter Einbeziehung von Passpunkten kann die absolute Genauigkeit auf unter 1 cm verbessert werden. Ausschlaggebend ist hier die Lage- und Höhen-genauigkeit der Passpunkte.

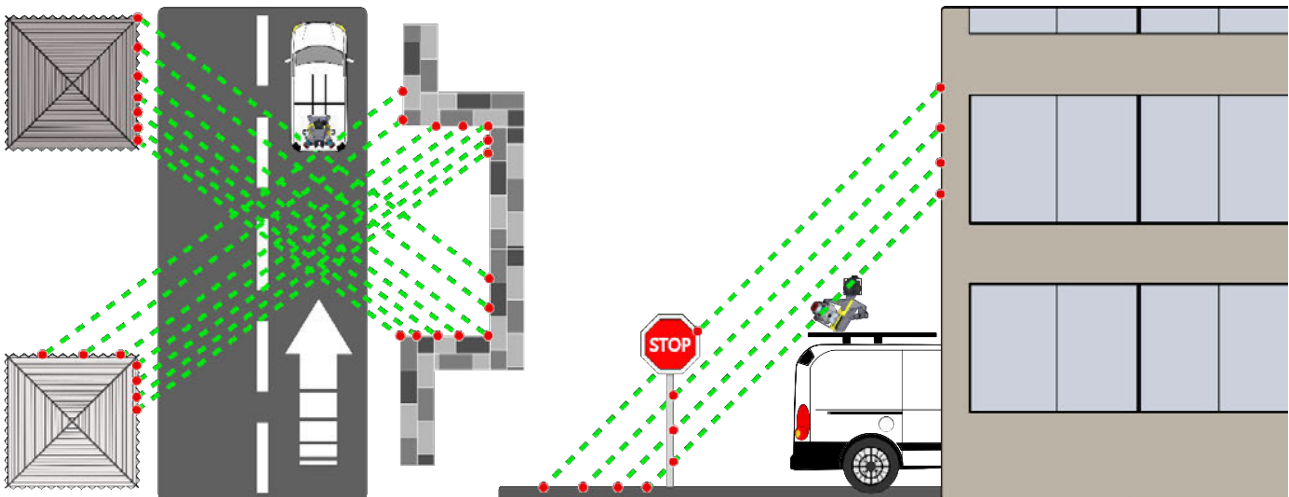


Abbildung 4, links: Funktionsprinzip der dualen Laserscanner des Trimble MX9. Die Scanprofile der beiden Laserscanner (in grün) überschneiden sich und erzeugen auch bei höheren Geschwindigkeiten ein engmaschiges Netz an Messpunkten. Die Abstände zwischen den einzelnen Scanprofilen variieren mit der Fahrgeschwindigkeit.
Rechts: Durch die geeignete Montage der Scanner können vertikale Objekte zuverlässig erfasst und in der Punktwolke abgebildet werden.

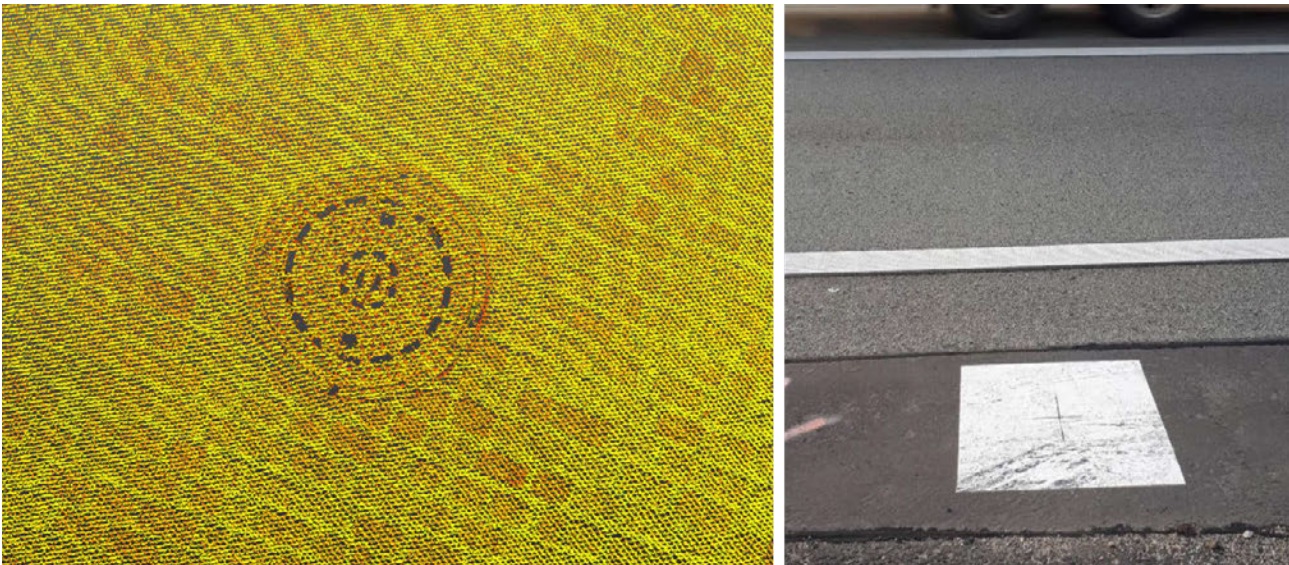


Abbildung 5, links: Ein Schachtdeckels in der Punktwolke.
Rechts: Ein mit Markierfarbe auf die Fahrbahn aufgemalter Passpunkt.

2.2 Passpunkte und Genauigkeit

Passpunkte sind Objekte mit bekannten Koordinaten entlang der Messstrecke, welche für die Georeferenzierung der Trajektorie und der Vermessungsdaten dienen. Je präziser Lage und Höhe der Passpunkte bekannt sind, desto höher liegt die absolute Genauigkeit der Vermessungsdaten des MMS. Bei Verwendung von per GNSS eingemessenen Passpunkten liegt die absolute Genauigkeit des MMS üblicherweise im Bereich von 2-3 cm in Lage und Höhe, bei Verwendung von tachymetrisch eingemessenen und nivellierten Passpunkten sind Werte <1 cm erreichbar. Im praktischen Einsatz hat sich aber die Verwendung von per GNSS eingemessenen Passpunkten für den Großteil der Projekte als ausreichend erwiesen. Als Passpunkte können vorhandene Objekte mit klar definierbaren Mittel- oder Eckpunkten, wie beispielsweise Schachtdeckel (Abbildung 5, links), Gebäudekanten oder Fahrbahnmarkierungen verwendet werden. Dies ist insbesondere im innerstädtischen Bereich von Vorteil, da hier häufig eine ausreichende Anzahl an ortsfesten Objekten vorhanden ist und eigene Passpunkte wegen der beengten Verhältnisse und hohen Verkehrsauslastung nur mit hohem Aufwand gesetzt werden können. Existieren keine geeigneten Objekte, können Passpunktnetze durch Farb- oder Sprühmarkierungen oder spezielle Passpunktplatten angelegt und vermessen werden (Abbildung 5, rechts).

Die Anzahl und Verteilung der Passpunkte ist abhängig von der Genauigkeitsanforderung, den GNSS-Empfangsbedingungen und dem Streckenverlauf (Abbildung 6). Je höher die benötigte Genauigkeit und je schlechter der GNSS-Empfang, desto engmaschiger muss das Passpunktnetz aufgebaut sein. An Kreuzungspunkten zweier oder mehrerer Messstrecken werden zusätzliche Passpunkte benötigt. Sofern möglich, werden die Passpunkte

beidseitig der Messstrecke platziert, im praktischen Einsatz ist dies aber ohne umfangreiche Straßensperrungen häufig nicht möglich und daher unerwünscht. In diesen Fällen kann mit einseitig gesetzten Passpunkten gearbeitet werden. Aufgrund der vielfältigen Einflüsse variieren die Passpunktabstände von über 500 m (z.B. auf Autobahnen mit sehr gutem GNSS-Empfang und mittleren Genauigkeitsanforderung <5 cm) bis hin zu 30 m (z.B. in längeren Tunneln).



Abbildung 6: Die Verteilung der Passpunkte (grüne Punkte) entlang der Messstrecken (farbige Linien) richtet sich nach dem Streckenverlauf und GNSS-Qualität.

Zusammengefasst wird die erzielbare Messgenauigkeit des MMS durch eine Kombination folgender Faktoren kontrolliert:

- die Empfangsqualität des GNSS
- die Anzahl und Entfernung der GNSS-Referenzstationen
- die Anzahl und Verteilung der Passpunkte
- die Positionsgenauigkeit der Passpunkte

Die Genauigkeit jeder Messfahrt wird durch unabhängige Kontrollpunkte entlang der Messtrecke überprüft.

2.3 Datenaufnahme

Die Datenaufnahme erfolgt üblicherweise bei Tag und günstigen Lichtbedingungen, um neben der Vermessung per Laserscanner auch die Aufnahme von scharfen und gut belichteten Fotos zu ermöglichen. Werden ausschließlich Punktwolken benötigt, kann die Befahrung auch nachts erfolgen. Die örtlichen Geschwindigkeitseinschränkungen bestimmen das Tagesmaximum an aufnehmbarer Strecke. Zur Erzeugung von detaillierter Vermessungsdaten wird eine Geschwindigkeit von 80 km/h möglichst nicht überschritten. Die benötigte Anzahl der Befahrungen pro Fahrtrichtung richtet sich nach der Breite der Fahrbahn. Bei zweispurigen Straßen, wie Gemeinde-, Kreis- und Landstraßen, erfolgt die Datenaufnahme meistens in nur einer Fahrtrichtung; die Gegenfahrbahn wird ausreichend durch die seitliche Abstrahlung von Kamera und Laserscanner abgedeckt. Bei vierspurigen Straßen findet die Datenaufnahme auf der jeweils ersten (rechten) Richtungsfahrbahn statt. Bei sechsspurigen oder achtspurigen Straßen wird in beide Richtungen jeweils die erste und dritte Fahrbahn befahren. Die Scanprofile der Laserscanner verlaufen je nach Montage der Scanner etwa 1-2 m hinter dem Messfahrzeug; sie sind für andere Verkehrsteilnehmer ungefährlich und unsichtbar.

Nach Abschluss der Datenaufnahme werden die Trajektorie berechnet sowie die georeferenzierten Messdaten und Fotos generiert. Personenbezogene Daten, wie Kennzeichen und Gesichter, werden gemäß Datenschutzgrundverordnung (DSGVO) automatisch auf allen Fotos identifiziert und unwiderruflich durch Verpixelung unkenntlich gemacht. Bei Bedarf werden die Punktwolken zusätzlich durch die Farbinformationen der Fotos mit RGB-Farben eingefärbt und für die Datenverarbeitung bereitgestellt.

2.4 Datenverarbeitung

Art und Umfang der Datenverarbeitung variieren stark in Abhängigkeit von Streckentyp und -länge sowie den benötigten Vermessungsdaten. Punktwolken aus Laserscannern enthalten sämtliche während der Vermessung sichtbaren Objekte, darunter auch Störpunkte, wie Vegetation, Fahrzeuge und andere Objekte (Abbildung 7, oben). Die tatsächlich benötigten Vermessungsdaten der Bodenpunkte, Bruchkanten und Objekte, wie Schächte und Gebäudekanten, müssen aus diesem Gesamtdatensatz

zunächst extrahiert werden (Abbildung 7, unten), bevor sie anschließend in DGM, Bestandspläne und Modelle überführt oder weitere Analysen durchgeführt werden können. Diese Datenextraktion findet durch intern entwickelte Prozesse zunehmend automatisiert statt. Bruchkanten, Bodenpunkte und andere Objekte werden automatisch erkannt und Störpunkte entfernt. Die extrahierten Daten werden anschließend durch CAD-Experten geprüft und falls nötig nachkorrigiert. Basierend auf diesen gefilterten, von Störobjekten befreiten Daten können anschließend DGM und Bestandspläne erzeugt oder unterschiedliche Analysen des Verkehrswegs durchgeführt werden. Die Bandbreite möglicher automatisierter Analysen reicht von Ebenheits- und Neigungsanalysen über Lichtraumprofile und Schleppkurven bis hin zu Abgleichen von verschiedenen Befahrungen zur Deformationsmessung. Ferner können die Daten für die automatische Extraktion unterschiedlicher Elemente, wie Oberleitungen, Verkehrszeichen und Bäume, oder zur Modellierung von Gebäuden, Tunneln und Brücken genutzt werden. Der Aufwand von der Datenaufnahme bis zum fertigen DGM beispielsweise einer 10 km langen Autobahn liegt bei unter sieben Arbeitstagen. Viele der Arbeitsschritte sind zudem nahezu frei skalierbar.

Die Auswertung der Fotoaufnahmen erfolgt ebenfalls zunehmend automatisiert. Hier wird künstliche Intelligenz in Form neuronaler Netze (Convolutional Neural Networks, CNN) für die Erkennung von Rissen und Schäden auf der Fahrbahn oder zur Erkennung und Katalogisierung von Verkehrsschildern eingesetzt. Die Zuverlässigkeit der CNN verbessert sich dabei kontinuierlich durch die wachsende Menge an Trainingsdaten.

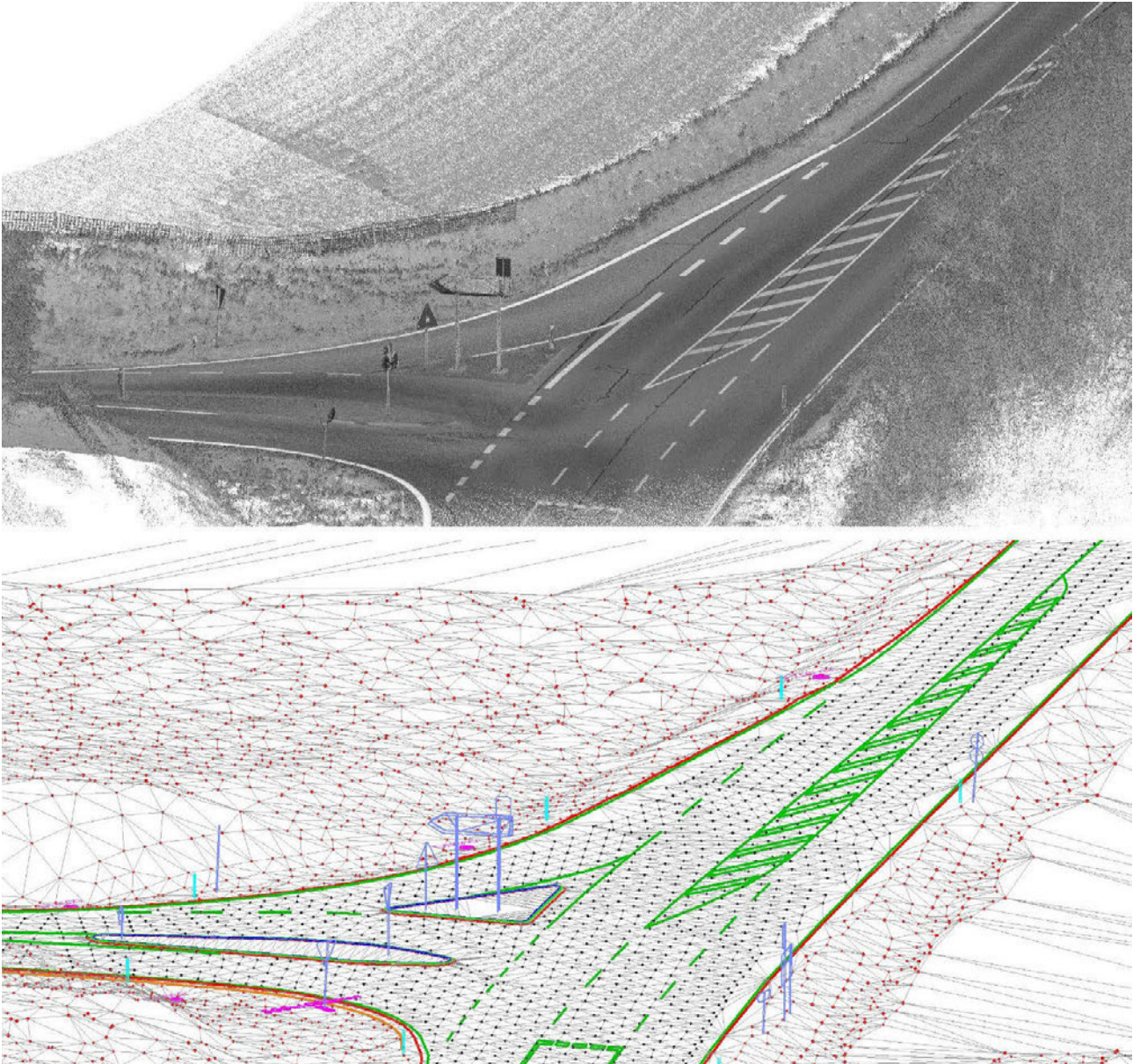


Abbildung 7, oben: Die Punktwolke aus einer Mobile Mapping Befahrung.
 Unten: Die aus der Punktwolke abgeleiteten Vermessungsdaten bestehend aus Bruchkanten, Straßen- und Bodenpunkten, Schachtdeckeln, Fahrbahnmarkierung und Verkehrsschildern.

2.5 Praktische Anwendungen im STRABAG Verkehrswegebau

STRABAG nutzt Mobile Mapping in verschiedensten Phasen im VWB. Das Einsatzspektrum umfasst Anwendungen für die Vermessung, Bestandserfassung und Inspektion. Mobile Mapping wird für alle fünf BIM-Lebenszyklen (Entwurf, Planung, Ausführung, Bewirtschaftung, Umbau) von Infrastrukturbauwerken genutzt. In der Entwurfs- und Planungsphase fokussieren sich die Anwendungen auf die Bestandserfassung vorhandener Infrastruktur für die detaillierte Planung und Kalkulation der Projekte. Zur Kalkulation von öffentlich ausgeschriebenen Projekten müssen Bestandsdaten häufig innerhalb

weniger Wochen aufgenommen und bereitgestellt werden. Je genauer und detaillierter diese Bestandsdaten sind, desto besser kann das Projekt kalkuliert werden. Aufgrund zunehmend wachsender Anforderungen an die Digitalisierung, aber auch bedingt durch den Fachkräftemangel und immer komplexere Sicherheitsbestimmungen ist eine detaillierte Datenaufnahme auf konventionelle Weise bei größeren Projekten jedoch kaum durchführbar. Mit Mobile Mapping können Vermessungs- und Bestandsdaten dagegen schnell aufgenommen und bei Bedarf mit anderen Vermessungsdaten kombiniert werden. Gängige Praxis ist inzwischen die kombinierte Bestandsvermessung aus MMS, Drohne, terrestrischem Laserscan und konventionellen Methoden. Innerhalb weniger Tage

können so umfangreiche Plandaten (Abbildung 8) für die Kalkulation bereitgestellt und dank komfortabler Webviewer einem weiten Nutzerkreis zugänglich gemacht werden (Abbildung 9).

In der Ausführungsphase können die vorhandenen Befahrungsdaten weiter genutzt werden. Im Straßenbau ist es gängige Praxis, die hochdetaillierten DGM der Fahrbahnoberfläche zu verwenden für die präzise Steuerung automatischer Fräsen per digitalem Deckenbuch. Im Gegensatz zu den stark oftmals über mehrere Meter

interpolierten DGM aus der konventionellen Vermessung spiegeln die Geländemodelle aus dem Mobile Mapping die Unebenheiten der abzufräsenden Fahrbahnoberfläche detailliert wider. Die Fräse kann so bereits beim ersten Abfräsen auf die erfassten Unebenheiten reagieren und diese durch Anpassung der Frästiefe ausgleichen. Das Ergebnis ist eine ebene Fräsoberfläche, die in der Folge durch optimierten Materialverbrauch kostengünstig neu asphaltiert werden kann. Zusätzliche Materialkosten für den Ausgleich von Unebenheiten entfallen.

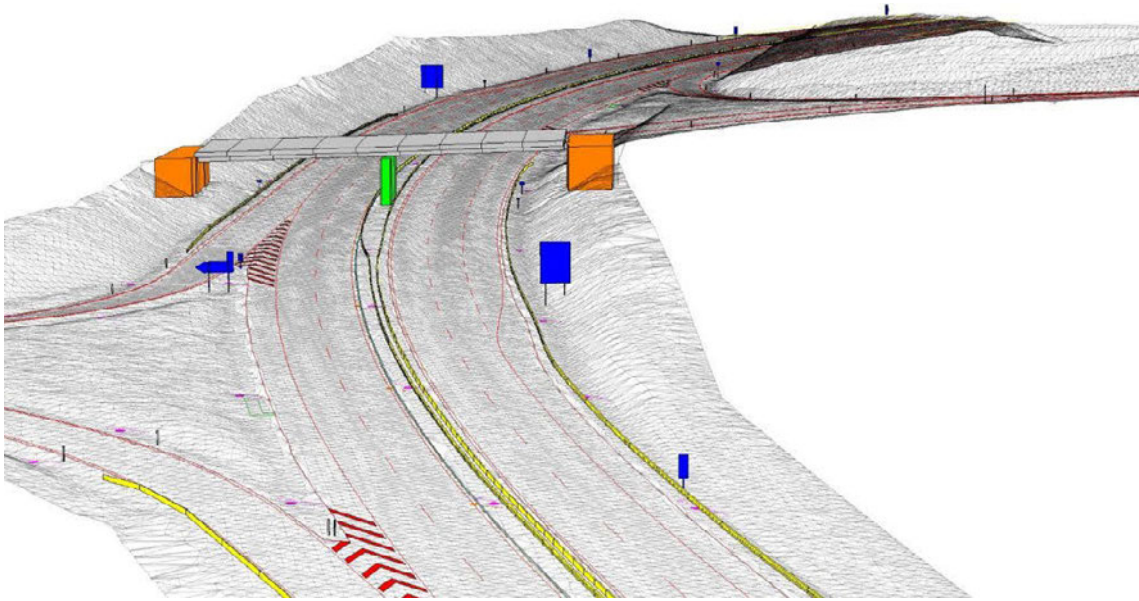


Abbildung 8: Ein durch Mobile Mapping entstandenes, hochdetailliertes DGM mit Zusatzinformationen wie Fahrbahnmarkierungen, Beschilderung und Fahrzeugrückhaltesystemen.



Abbildung 9: Webviewer mit Vermessungs- und Kommentarfunktion für den komfortablen Zugriff auf die Befahrungsdaten. Die Ansicht ist frei konfigurierbar, in diesem Beispiel sind oben zwei Panoramafotos abgebildet, unten links eine Aufnahme der Bodenkamera und unten rechts die Punktwolke der Laserscanner.

Zwischen dem Abfräsen und Neueinbau der Deckschicht kann eine weitere Befahrung zur Dokumentation vorhandener Risse und Schäden in der freigelegten Tragschicht erfolgen. Nach dem Ende der Asphaltierungsarbeiten können die Bestandsdaten aus der ersten Befahrung zudem genutzt werden, um die abgebauten Verkehrszeichen, Schutzeinrichtungen und andere Objekte am ursprünglichen Standort wiederaufzubauen. Die abschließende letzte Befahrung dient der Überprüfung und Analyse der Deckschicht sowie der Dokumentation des Endzustands. Bei Neubau- oder Erweiterungsprojekten können die Befahrungsdaten in Absprache mit dem Auftraggeber zusätzlich als Grundlage für die Erstellung eines Bestandsplans herangezogen werden.

In der Betriebsphase wird Mobile Mapping hauptsächlich für die wiederkehrende Inspektion der Verkehrswege eingesetzt. Die Vielzahl der aufgenommenen Daten macht dabei eine (teil-)automatisierte Analyse mit Hilfe Künstlicher Intelligenz unumgänglich. Anhand der Befahrungsdaten können Problemstellen erkannt und Maßnahmen effizient geplant werden. Weitere Anwendungen sind die Katalogisierung unterschiedlicher Elemente entlang der Strecke und die Erstellung von Bestandsplänen für eine Vielzahl möglicher Nutzungen. Typische Anwendungsbeispiele für Mobile Mapping in der Betriebsphase sind:

- **Bestandspläne** (Abbildung 7 und 8)
Erstellung detaillierter Bestandspläne von älteren Verkehrswegen zur Planung zukünftiger Bauvorhaben und anderer Maßnahmen.
- **Detektion von Rissen und anderen Schäden** (Abbildung 10, oben)
Risse und andere Schäden auf der Fahrbahn oder an Bauwerken entlang des Verkehrswegs werden erfasst und automatisch analysiert, klassifiziert und katalogisiert. Durch frühzeitiges Erkennen der Schäden können präventive Maßnahmen eingeleitet und Kosten reduziert werden.
- **Katalogisierung und Inspektion von Schachtdeckeln, Verkehrszeichen und Fahrbahnmarkierungen** (Abbildung 10, Mitte links)
Schachtdeckel, Verkehrszeichen und Fahrbahnmarkierungen können katalogisiert und der Zustand klassifiziert werden. Ortsbegehungen können gezielt geplant werden.
- **Grundlagendaten für autonome Fahrzeuge** (Abbildung 10, Mitte rechts)
Autonome Fahrzeuge benötigen für sicheres und effizientes Fahren hochdetaillierte Bestandspläne der Straßennetze. Neben geometrischen Informationen, wie Fahrbahnbreite und Straßenverlauf, enthalten diese auch semantische Informationen, wie Flächennutzung (z.B. Fahrbahn, Parkfläche, Gehweg, Grünfläche), Spurenmodelle, Ampeln, Verkehrszeichen, Vorfahrtsregeln und Geschwindigkeitsvorschriften.
- **Vegetationskontrolle von Bäumen und Büschen** (Abbildung 10, unten links)
Erfassung des Zustands und des Lichtraumprofils von Bäumen und anderer Vegetation entlang der Verkehrswege für ein effizientes Vegetationsmanagement. Weitere Analysen umfassen die automatische Ermittlung von Stamm- und Kronendurchmessern sowie die Berechnung der CO₂-Speicherung und Feinstaubfilterung.
- **Katalogisierung und Inspektion von Masten, Oberleitungen und Signalanlagen** (Abbildung 10, unten rechts)
An Schienenverkehrswegen kann der Zustand verschiedener Objekte entlang der Trasse geprüft und Lichträume berechnet werden. Künstliche Intelligenz ermöglicht die automatische Erkennung und Verortung von Defekten.
- **Tunnelinspektion**
Die Inspektion von Tunneln auf Risse und andere Schäden ist aufgrund der beschränkten Platz- und Lichtverhältnisse umständlich und kostspielig. Durch die Integration von Wärmebildkameras am MMS können wasserführende Risse in den Wänden und Decken detektiert und sichtbar gemacht werden. Sperrungen für die Inspektion können reduziert werden.
- **Deformationsmessungen**
Deformationen an Bauwerken, wie Lärmschutzwänden und Stützmauern, können durch regelmäßige Befahrungen erfasst und überwacht werden. Sperrungen am Bauwerk können reduziert werden oder entfallen vollständig.

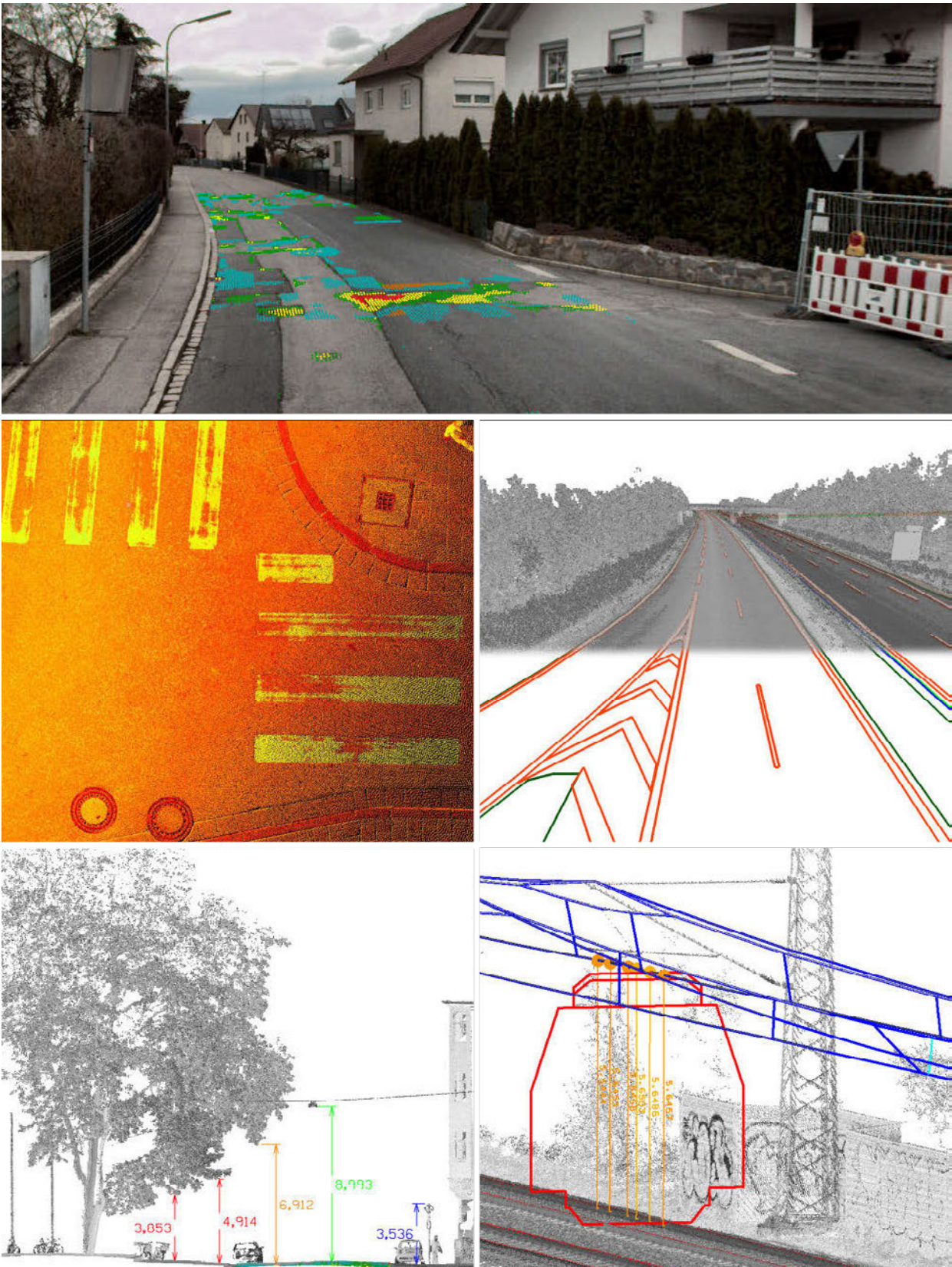


Abbildung 10, oben: Ebenheitsanalyse der Fahrbahnoberfläche zur Detektion von Schäden.

Mitte, links: Analyse von Straßenmarkierungen.

Mitte, rechts: Extraktion von Fahrbahnmarkierungen als Navigationsgrundlage für autonom fahrende Fahrzeuge.

Unten, links: Vegetationsmanagement und automatische Ermittlung von Lichtraumprofilen.

Unten, rechts: Extraktion von Oberleitung und Schieneninnenkanten zur Ermittlung von Lichtraumprofilen.

3. Zusammenfassung und Ausblick

Mobile Mapping ermöglicht im Verkehrswegebau eine effiziente und zeitnahe Aufnahme umfangreicher und hochdetaillierter Vermessungs- und Bestandsdaten in Form von Punktwolken und Fotos. Diese Daten bilden die Grundlage für eine Vielzahl von Anwendungen in der Planung, Kalkulation, Bauausführung und Bewirtschaftung von Verkehrswegen. Das breite Nutzungsspektrum reicht von der Vermessung über die Modellierung bis hin zur Inspektion und Dokumentation. Der Einsatz modernster Software und Künstlicher Intelligenz ermöglicht eine schnelle Verarbeitung und Bereitstellung der jeweils benötigten Daten.

Trotz aller Vorteile ist der Einsatz von Mobile Mapping im VWB bisher noch nicht sehr stark verbreitet. Hauptgrund dieser Zurückhaltung: Normen, Regelwerke und damit verbundene Prozesse sind oft auf konventionelle Methoden ausgelegt und stehen damit einer konsequenten Anwendung von Mobile Mapping in einigen Spezialanwendungen noch entgegen. In den vergangenen Jahren hat jedoch sowohl bei privaten als auch öffentlichen Auftraggebern ein Umdenken eingesetzt: Zu beobachten sind eine deutlich zunehmende Akzeptanz des Mobile Mappings und ein wachsendes Bewusstsein für das damit einhergehende Potenzial zur Kostensenkung und Effizienzsteigerung. In immer mehr europäischen Ländern wie Deutschland, Österreich, Großbritannien, Dänemark, Slowenien und der Schweiz steigt die Zahl der Ausschreibungen im Verkehrswegebau, bei denen explizit der Einsatz von Mobile Mapping für die Bestandvermessung gefordert wird.

Literatur

- [1] Richtlinien für die Anlage von Straßen - RAS: Teil: Vermessung (2001). FGSV Verlag.
- [2] Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen – RAS95 (2017). FGSV Verlag, ISBN: 978-3-7812-1999-1
- [3] Tao, C. Vincent, Li, Jonathan (2007): Advances in Mobile Mapping Technology, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-0-415-42723-4.
- [4] Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien zur Zustandserfassung und -bewertung von Straßen – ZTV ZEB-StB (2006). FGSV Verlag, ISBN 3-939715-03-0.
- [5] Trimble MX9: Lösung für Mobile Datenerfassung. <https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/trimble-mx9>
- [6] Riegl VUX-1HA. <http://www.riegl.com/products/newriegl-vux-1-series/newriegl-vux-1ha/>

VERLEIHT FLÜGEL - Anwenderfreundlichkeit als Schlüssel für den erfolgreichen Einsatz von Aerial Data im Infrastrukturbau

Dipl.-Ing. Christian Wörner
VIA IMC GmbH, Berlin, Deutschland

Zusammenfassung

Planungs- und Bauprozesse von Infrastrukturobjekten sind in technischen, finanziellen und operativen Aspekten sehr komplex und erfordern ein hohes Maß an interdisziplinärem Management und Kommunikation zwischen allen Projektbeteiligten und Interessensvertretern. Bis heute werden viele der integralen Arbeitsschritte, wie bautechnische und vertragliche Zustandserfassungen oder abrechnungsrelevante Festlegungen und Nachweise, mit einer hohen Zahl an Baustellenbegehungen, einzeln aufgenommenen Notizen und Fotos, und mit manuell bedienten Vermessungswerkzeugen durchgeführt. Im Folgenden werden die sich gerade etablierenden Technologien um Drohnen und deren Erfassung und Abbildung von Baustellen in der 3D- (Punktwolken) und 2D-Projektion (Orthomosaik) behandelt. Die Nutzung dieser neuen Technologien und die daraus entstehenden Daten setzt in der Regel Spezialwissen im Einsatz von Prozessierungs-, CAD- und Vermessungssoftware heraus. Es wird gezeigt, wie intuitive Software-Lösungen und die Minimierung von benötigten Spezialkenntnissen, Mehrwerte der Technologien für alle im Bau Beteiligten bringt.

1. Einleitung

Die Prozesse in Planung und Bau von Infrastrukturobjekten sind in technischen, finanziellen und operativen Aspekten sehr komplex und erfordern ein hohes Maß an interdisziplinärem Management und Kommunikation zwischen allen Projektbeteiligten und Interessensvertretern. Ein integraler Bestandteil der erfolgreichen Abwicklung von Bauprojekten ist es, den sich schnell verändernden Zustand einer Baumaßnahme zu erfassen – einerseits als übergreifende Kommunikations- und Entscheidungsgrundlage, aber vor allem auch zur akkuraten Vermessung. Bis heute werden diese Arbeiten mit einer hohen Zahl an Baustellenbegehungen, einzeln aufgenommenen Notizen und Fotos, und mit manuell bedienten Vermessungswerkzeugen durchgeführt.

Der Infrastrukturbausektor erlebt gerade einen Wandel, wodurch die komplexen Prozesse mit der Unterstützung von neuen Technologien und digitalen Methoden optimiert werden können. Mit der raschen technischen Entwicklung von Drohnen wurden in jüngster Zeit die Vorteile im Einsatz in der Bauwirtschaft erkannt. Durch die Prozessierung von Luftbilddaten können großflächige Oberflächenbilder (sog. Orthophotos bzw. Orthomosaik) und 3D Punktwolken erstellt werden, die die Realität in Milliarden von akkuraten Punkten in ihrer tatsächlichen dreidimensionalen Verortung abbilden. Der korrekte Einsatz dieser Technologie mit industrieneutralen Standard-

lösungen, sowie die effiziente Ableitung von Informationen, erfordert jedoch ein hohes Maß an technischem Verständnis und Erfahrung.

Für die Anwendung im Straßenbau ist es wichtig, einen einfachen und schnellen Zugang zu diesen Informationen für alle am Bau Beteiligten, vom Auftraggeber bis hin zum Bauhandwerker, zu gewährleisten. In den folgenden Kapiteln wird anhand der für den Straßenbau entwickelten Webplattform AVUS.DIGITAL gezeigt, wie nutzerfreundliche cloudbasierte Softwarelösungen in der Vermessungsdisziplin, bei der Erstellung von Lageplänen und Berechnung von Massen und Mengen, aber auch beim Projekt- und Kosten-Controlling, unterstützen. Barrieren, wie komplexe Experten-Software oder der eigenverantwortliche Umgang mit riesigen Datenmengen, sowie die Angst vor der Digitalisierung, gilt es zu nehmen und die Anwendung von Zukunftstechnologien für jeden zu ermöglichen. Anwenderfreundliche Lösungswege werden klassischen Methoden in Vermessung und Bau, aber auch etablierten Softwarelösungen und Abläufen gegenüber gestellt.

2. Klassische Methoden

2.1 Bau- und Landvermessung

Die Vermessung ist eine der elementarsten Disziplinen in der Abwicklung von Bauprojekten. Die akkurate Projektion von Objekten, Bauteilen oder Grenzen in horizontaler und vertikaler präziser Bestimmung bildet die objektive Faktengrundlage für die Planung, Abrechnung, Bauprozesse und Nachweisführung.

Traditionell werden hierzu terrestrische Vermessungsgeräte, wie Nivelliergeräte, Tachymeter oder GPS/GNSS-Empfangsgeräte verwendet. Diese weisen, trotz unterschiedlicher technischer Basistechnologien, ähnliche Funktion auf: Die messtechnische Bestimmung von x, y und z Koordinaten in den örtlich relevanten Koordinatensystemen. Zur Vermessung von Punkten mit terrestrischen Vermessungsgeräten müssen die Punkte physisch vom Vermessungspersonal begangen werden, da in der Regel das Empfangsgerät (bspw. Nivelliergerät, GPS/GNSS Roverstab, Tachymeter,..) auf den zu vermessenden Punkt gestellt wird, und diesen entweder absolut oder in Relation zu vorher gemessenen Punkten oder Projektfestpunkten, misst.

Eine Ausnahme und Neuerung der letzten Jahre hier bilden bodengeführte Laserscanner ab, die durch LiDAR Technologien weitflächig Punkte in der Ferne aufnehmen können. Gerade im Straßenbau sind viele zu messende Bereiche nicht oder nur schwer zugänglich – entweder durch noch bzw. schon aktiven Verkehr auf der Infrastrukturfläche oder wegen unerreichbarem Terrain. Dies erschwert oft die Ausführbarkeit der notwendigen Vermessung und erfordert viel Vorplanung.

Da diese Methoden viel Fachwissen benötigen, wird die Vermessung in der Regel von geschulten Vermessungsingenieuren bzw. Vermessern durchgeführt. Die Landeskatastervermessung wird üblicherweise nur durch einen nachgewiesenen ÖBVI (Öffentlich bestellter Vermessungsingenieur) durchgeführt. Dieser Umstand bedingt, dass die Vermessung, auch bei Bauprojekten, nur durch speziell ausgebildetem Personal durchgeführt werden kann. Die vertraglichen Vorgaben und Anforderungen von Auftragsbehörden von Bund und Länder erfordern ebenfalls eine ausführliche vermessungstechnische Begleitung. Ein großer Teil davon ist es, Abrechnungsgrundlagen zu schaffen, indem relevante Punkte bzw. komplexe Punktzüge einer zu erbringenden Leistung eingemessen und digital aufbereitet werden.

Die aufgemessenen Punkte werden nach der Erfassung vor Ort in Vermessungssoftware bzw. CAD (Computer Aided Design)-Software übertragen, ausgewertet und umgewandelt, etwa in PDF Planungsunterlagen oder digitale Austauschformate.

2.2 Prozesse im Bau- und Infrastrukturmanagement

Für die erfolgreiche Abwicklung eines Bauprojekts sind verschiedene Teilprozesse zu bearbeiten. Im Folgenden werden vor allem die Prozesse eines ausführenden Unternehmens aufgeführt, wobei die Aufgaben von anderen Akteuren - wie Auftraggeber, Oberbauleitung, Bauüberwachung oder Umweltbegleitung, etc. – ähnlicher Komplexität und Struktur, und somit übertragbar, sind.

Die folgend aufgeführten Prozesse werden in ihrer klassischen Ausführungsart kurz beschrieben und in späteren Kapiteln, in Hinblick auf die Durchführung mit Hilfe von durch Drohnen erstellten Daten, wieder aufgegriffen.

2.2.1 Mengenermittlung und Kalkulation in der Angebotsphase

In der herkömmlichen Abwicklung beginnt in der Regel ein Bauprojekt für ein Unternehmen mit einem Vergabeverfahren und der damit verbundenen Angebotsstellung. In der Angebotskalkulation müssen die Planungs- und Ausschreibungsunterlagen analysiert und nach örtlichen Begebenheiten bepreist werden. In dieser Phase ist es oft schwierig, die gesamten Zusammenhänge eines Infrastrukturprojekts, vor allem bei hoher örtlicher und technischer Ausprägung, durchzusehen. Kalkulatoren beruhen sich daher oft auf Erfahrungswerte und Schätzungen, um Unsicherheiten und Unklarheiten auszugleichen.

„Die Baukalkulation beruht in großem Maße auf Schätzungen und Prognosen. Deshalb ist es unerlässlich, während der Erstellung eines Bauprojektes mithilfe dieser

kurzfristigen Erfolgsrechnungen zu prüfen, ob und inwieweit der in der Kalkulation

vorgesehene Betrag für Gewinn und Wagnis erzielt wurde.“ (Leimböck, 2015)

2.2.2 Bauabrechnung und Bestandsvermessung

Um die ausgeführten Bauleistungen abrechnen zu können, muss eine ausführliche Nachweisführung erbracht werden. Die Nachweisführung besteht oft aus durch Vermesser erstellte Aufmaßblätter und Abrechnungsplänen, die die Leistungen in ihrer akkuraten Projektion, bspw. als Polygonzug, abbilden. Für monatliche Abschlagszahlungen und vor allem die Schlussrechnung am Ende eines Bauprojekts ist die lückenlose Abrechnungsgrundlage zu schaffen. Die Bestandsvermessung ist die digitale Abbildung von Objekten, die zur Planung und Durchführung baufachlicher Aufgaben für Bauunternehmen, Auftraggeber oder Liegenschaftsverwaltungen verwendet wird.

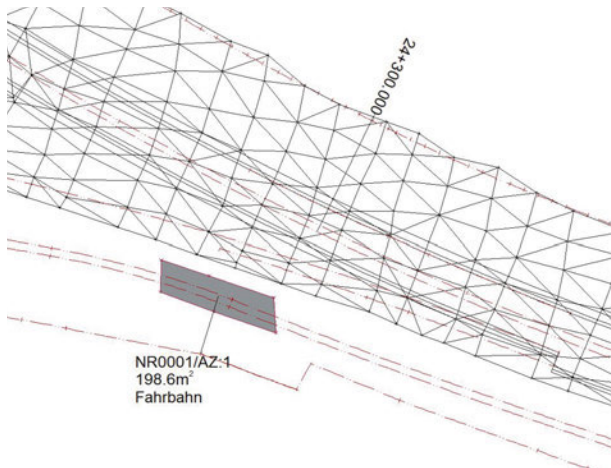


Abbildung 1: Auszug eines Abrechnungsplans mit vermaschten Flächen und Aufmaß der hergestellten Fahrbahn
Quelle: VIA IMC GmbH

2.2.3 Baufortschrittdokumentation

Um die sich stetig verändernden Zustände einer Baustelle im Blick zu haben und zu verstehen, sind Bauleiter und Poliere ständig vor Ort auf der Baustelle. Visuelle Inspektionen und Absprachen mit den Gewerken sind essentiell, um den Baufortschritt nachzuvollziehen. Diese Art des Baustellenmanagements setzt die dauerhafte örtliche Verfügbarkeit des leitenden Baustellenpersonals voraus. Eine Vielzahl von Informationsquellen, wie Baupläne, zeitliche Bauablaufpläne und Kosteninformationen, müssen abgewägt und aktualisiert werden (Navon 2007). Für die visuelle Inspektion werden oft tausende Fotos mit „Point-And-Shoot“-Kameras oder Smartphones erstellt, was zu einer unkontrollierbaren Datenmenge führt.

Die Bauleiter sind in der Regel eng mit den Vermessern in Kontakt, um die Informationskette zwischen Abschluss einer Teilmaßnahme und abrechnungsreifer Aufmaßerstellung kurz zu halten.

2.2.4 Beweissicherung

In Erweiterung zur Baufortschrittdokumentation, spielt die Beweissicherung für Bauunternehmen eine große Rolle. Die Absicherung während des Baus und bei Fertigstellung von Bauwerken gegenüber Nachunternehmern und Auftraggebern ist wichtig, um etwaigen Mangelansprüchen entgegenwirken zu können. Die baubegleitende Beweissicherung wird oft mit einer ausführlichen Fotodokumentation erstellt.

3. Stand der Technik von Drohnen und Erzeugung von Luftbilddaten

Die Nutzung von Luftbilddaten findet schon seit einigen Jahrzehnten in der Geodäsie zur Herstellung von Ge-

ländemodellen oder Landkarten Anwendung. Der Übergang zur Landes- und Flächenplanung geschah historisch nahtlos. Bis vor wenigen Jahren waren es noch Flugzeuge im Niedrigflugbereich, mit denen die Vielzahl von Karten für Bundes- und Länderbehörden erstellt wurden. Erst durch jüngste technologische Entwicklungen von unbemannten Luftfahrzeugen (engl. Unmanned Aerial Vehicle, UAV, ugsl. *Drohnen*) wurde es möglich, auch für private oder kommerzielle Nutzer, solche Flüge durchzuführen.

Heutzutage werden Luftbilderfassungen v.a. für die Erstellung von 3D Punktwolken und 2D Orthophotos, also die perfekte orthogonale Aufsicht auf die überflogenen Flächen, genutzt.

3.1 Drohnen / UAVs

Unbemannte Luftfahrzeuge (UAVs) bzw. Drohnen, sind autonom flugfähige Geräte mit einer Vielzahl von Sensoren: GPS/GNSS-Empfänger, verschiedene Kameras zur eigenen Verortung und Abstandsermittlung, Beschleunigungssensoren / Inertial Measurement Units und magnetische Sensoren für die Flugsteuerung und RGB-Photo- oder LiDAR-Sensoren für die Bilderfassung.

Die zwei am häufigsten Bauarten von Drohnen sind die „Fixed Wing“-Drohnen und Quadrocopter.

„Fixed Wing“-Drohnen ähneln in Aufbau und Flugart am ehesten Flugzeugen bzw. Segelflugzeugen. Mit den zwei großen Flügeltragflächen seitlich und einen i.d.R. frontal angebrachten Rotor, kann mit wenig Energieverbrauch große Distanzen abgeflogen werden. Da diese Starrflügler-Drohnen wenig agil und von der Vorwärtsbewegung abhängig sind, werden sie hauptsächlich für ebene, langgezogene, Flächen verwendet. Für den Einsatz im Infrastrukturbau sind sie daher aus technischer Sicht gut geeignet, jedoch erlaubt es die Gesetzgebung aktuell maximal nur in seltenen Ausnahmefällen das Gerät außerhalb der Sichtweite des Piloten über einem Infrastrukturobjekt (etwa Autobahn oder Landstraße) zu fliegen.

Quadrocopter sind die Art von UAVs, mit denen die meisten Menschen den Begriff Drohnen assoziieren. Wie der Begriff sagt, wird ein Quadrocopter durch vier Propeller an 4 Motoren, angetrieben. Dies erlaubt dem Fluggerät eine hohe Flexibilität in der Bewegung im dreidimensionalen Raum. Durch die dauerhafte Regelung der vier Motoren ist der Energieverbrauch hoch und somit die Betriebsdauer durch die Akkugröße bei modernen Prosumer-Geräten auf 20-30 Minuten limitiert.

Im Zuge dieser rasanten technologischen Entwicklung in den letzten Jahren wird die Luftbilderfassung und die damit verbundene Erzeugung von Orthomosaiken und 3D Punktwolken mit RGB- bzw. LiDAR-Sensoren immer gängiger und in der Industrie akzeptiert und adaptiert (Qu et al. 2014).

3.2 Photogrammetrie

Unter den Begriff Photogrammetrie fallen Verfahren, mit denen primär Farb- und geometrische Informationen im zwei- und dreidimensionalen Raum aus mehreren Bildern erzeugt werden können. Die mathematischen Berechnungen dahinter erkennen auf unterschiedlichen Bildern gleiche Punkte und können daraus den räumlichen Bezug der abgebildeten Objekte bzw. Texturen herstellen. Die einfachste Anwendung dabei ist in der Stereoskopie, wo in zwei Bildquellen Informationen zu Raumtiefe oder Distanz berechnet werden können. In der Kartographie und Erstellung von Geländemodellen wurden oft Bilder aus Bildflügen von Flugzeugen oder Satelliten genutzt. Mit der erhöhten Anzahl, Auflösung und Überlappung der Bilder steigt auch der computing-Aufwand erheblich, so dass die Technologie in den letzten Jahren mit der immer stärker werdenden Rechenkraft von Computer-Systemen erhöhte und effiziente Anwendung und damit auch neue Anwendungszwecke in verschiedenen Industriesektoren findet.

Durch die flexible Nachprozessierung können durch RGB-Bildaufnahmen die 2D-Orthomosaik (perfekte orthogonale Projektion, etwa wie ein Satellitenbild) bzw. farbigen 3D Punktwolken erstellt werden.

3.3 Laser-Scanning

Terrestrische Laser-Scanner sind bereits als Vermessungswerkzeug etabliert und finden vor allem im Hochbau Einsatz. Im Infrastrukturbau werden Laser-Scanner häufig bei Bauwerken und vertikalen Vermessungen eingesetzt. Auch für UAVs/Drohnen gibt es mittlerweile LiDAR-Sensoren für kommerzielle Nutzung, mit denen 3D Vermessungen durchgeführt werden können. Die Sensoren sind im Vergleich zu normalen RGB-Kameras und Photogrammetrie-Prozessierung erheblich kostenintensiver. Die durch LiDAR-Sensorik erstellten Punktwolken sind sehr präzise und durch das Nachprozessieren können sehr detaillierte Punktwolken erstellt werden. Ohne weitere aufwändige Nachprozessierung enthalten die 3D Punktwolken jedoch keine Farbinformationen.

4. Anwendung von Aerial Data in den Infrastruktur-/Bauprozessen

Infrastruktur- und Straßenbauprojekte weisen oft eine große örtliche Ausdehnung und hohe Komplexität in den logistischen, planerischen und bautechnischen Anforderungen auf. Von der Planung, über die Bauausführung bis hin zur Fertigstellung hat es hohe Priorität, den aktuellen Zustand zu erfassen und bewerten zu können. Für den Gesamtüberblick werden oft Satellitenbildkarten verwendet.

Wie im Eingang beschrieben, ist die Vermessungsdisziplin eine der essentiellen Bestandteile der erfolgreichen Projektabwicklung und unterstützt die Prozesse in Pla-

nung, Modellierung, Abrechnung oder Dokumentation. Vermessungs- und CAD-Software-Systeme werden im Straßenbau klassisch zur Planung von Objekten und zur Erfassung des Ist-Zustands verwendet, um abrechnungssichere Lagepläne zu erstellen. Mengen und Volumen werden beispielsweise durch Dreiecksvermaschung von einzeln gemessenen Punkten oder durch die annähernde Berechnung über Achsen und Querprofile berechnet.

Aerial Data, also die durch Luftaufnahmen erstellten Datensätze wie Punktwolken und 2D Bilder, kann die bereits etablierten Arbeitsprozesse mit dem hohen Grad an Detailgenauigkeit unterstützen. Die Industrie hat den Nutzen bereits in den letzten Jahren entdeckt und drohnengestützte Bestandserfassungen sind bereits in der Bergbauindustrie oder der Landwirtschaft gängig. Der Bausektor, der sowieso gerade einen Digitalisierungswandel um 3D Planung und BIM erfährt, bringt mehr und mehr Akzeptanz dieser Technologie gegenüber.

Drohnenhersteller und Software-Unternehmen haben den Absatzmarkt bereits erkannt und bieten Software-Lösungen für den automatisierten Flug und die Erfassung von Bildern mit Drohnen, und zur Photogrammetrie-Prozessierung, an. Mit der Verknüpfung von Passpunkten (engl.: Ground Control Points) werden die Bilder an das örtliche und projektbezogene Koordinatensystem verbunden und erlangen damit eine hohe ortsbezogene Genauigkeit: es kann eine cm-genaue horizontale Lage und eine vertikale Genauigkeit von unter 3cm (Moser et al. 2016) erreicht werden. Diese Toleranz ermöglicht den Einsatz als Vermessungswerkzeug und liegt innerhalb derer einiger Anforderungen und Regelwerke.

Die folgenden Abbildungen zeigen Beispiele im Infrastrukturbau der durch Luftbilder erstellten Daten.

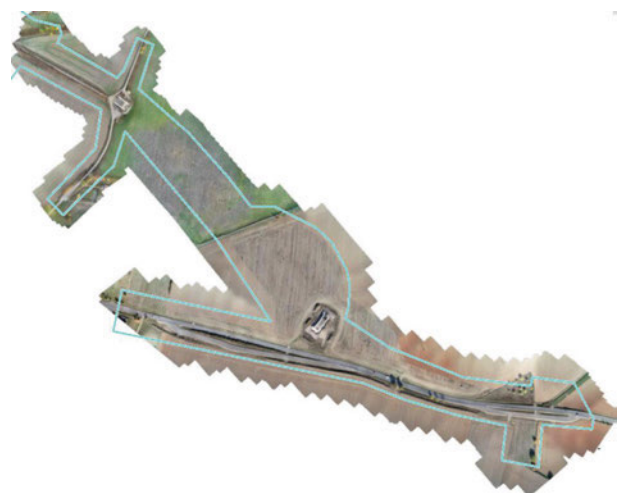


Abbildung 2: Orthomosaik eines ca. 240.000 m² großen Bauprojekts *Quelle: AVUS.DIGITAL, VIA IMC GmbH*



Abbildung 3: Detailansicht eines Orthophotos in einer Auflösung von 1 cm/px
Quelle: AVUS.DIGITAL, VIA IMC GmbH



Abbildung 4: Detailansicht einer 3D-Punktwolke mit einer Auflösung von 0,27cm/px
Quelle: AVUS.DIGITAL, VIA IMC GmbH

4.1 Nutzung von Aerial Data in gängiger Vermessungs- und CAD-Software

Die Punktwolken beinhalten je nach Größe der befliegenen Projekte mehrere Millionen bis hin zu Milliarden einzelner Punkte und werden üblicherweise im binären .las-Format gespeichert. Solche Dateien erreichen sehr schnell Dateigrößen von mehreren Gigabytes, bis hin zu 100 GB pro Datei für große und dichte Punktwolken. Hochaufgelöste Orthophotos können durch unkomprimierte Bildformate ähnlich große Dimensionen einnehmen. Für Software zur Nutzung dieser Daten bedeutet das eine große Herausforderung in der internen Verarbeitung und Vorprozessierung, so dass es keine erheblichen Ladezeiten während der Bearbeitung gibt. Für viele Software-Hersteller war dies eine plötzlich aufkommende Anforderung an ihre Produkte, so dass viele etablierte Programme diese Dateien nicht hinreichend und performant unterstützen können.

Programme, bspw. wie iTWO civil, Bentley Open Roads oder Autodesk Revit, lösen dies, indem die Punktwol-

ken beim Importvorgang in ein programm-natives Format umgewandelt wird. Dieser Prozess kann bei großen Datenmengen bis hin zu Stunden dauern. Oft werden die .las- und .tif-Dateien über Cloud-Storage an Projektpartner versendet – das Herunterladen und Umkonvertieren kann bereits einige Stunden in Anspruch nehmen, bevor die Arbeit beginnen kann.

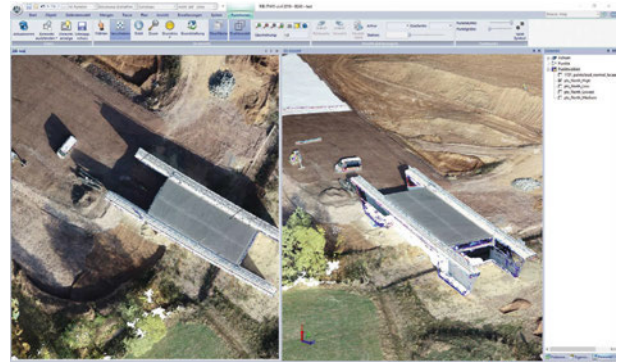


Abbildung 5: Eine detaillierte Punktwolke in der Software iTWO civil von RIB
Quelle: VIA IMC GmbH

Wie in der Abbildung zu sehen ist, bietet eine durch Luftaufnahmen erstellte Punktwolke ein hohes Maß an Details und eine große Menge an Punkten. Im Vergleich zum klassischen Vorgehen, wo im Vorfeld geklärt werden muss, welche Objekte aufgemessen werden, kann hier im Nachgang und zu jeder Zeit auf die perfekte Projektion eines Bauprojekts zugegriffen werden. Je nach anstehender Aufgabe können hier Volumen von Erdflächen, Längen und Höhen von eingebautem Asphalt oder Brückenbauteilen bestimmt werden.

Für die Abrechnung gibt es in den Abrechnungsrichtlinien und Normen der Auftraggeber Vorgaben, wie Volumen und Mengen berechnet werden.

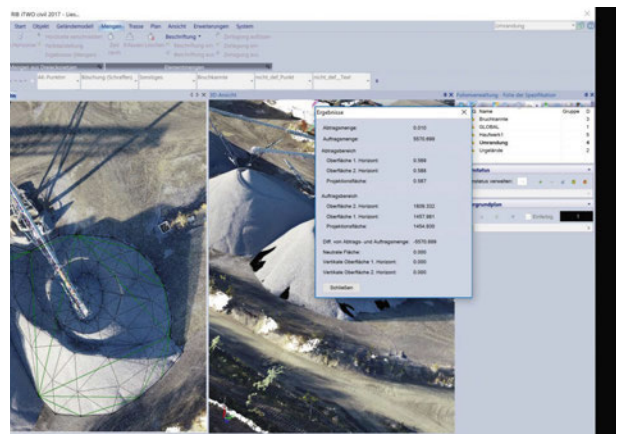


Abbildung 6: Dreiecksvermaschung in iTWO civil von RIB
Quelle: VIA IMC GmbH

Durch das Vermaschen von einzelnen Punkten werden Digitale Geländemodelle (DGM) erstellt, zwischen denen das Volumen berechnet werden kann. Das Vorge-

hen wird sowohl durch Punkte aus der Punktwolke, als auch mit terrestrisch aufgemessenen Punkten, angewendet.

Eine weitere grundlegende Berechnungsart von Material ist die Achsen- und Querschnitts-Berechnung. In gleichen Abschnitten entlang einer Straßenachse werden Querschnitte des Ist- und Soll-Zustands beschrieben, um somit das gesamte Volumen vom eingebauten oder einzubauenden Materials entlang der jeweiligen Achse zu bestimmen. Obwohl die Software bei der Erstellung der Querprofile Automatismen bietet, wird ein erheblicher Aufwand in der Bearbeitung und Extrahierung der Punkte benötigt.

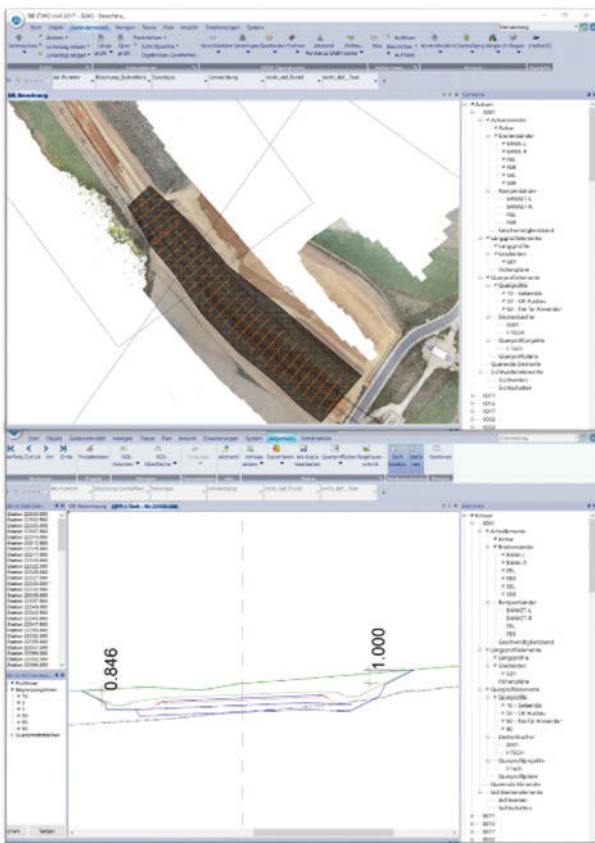


Abbildung 7: Querprofilberechnung in iTwo civil von RIB
Quelle: VIA IMC GmbH

Eine weitere Unterstützung von Aerial Data in den Bauprozessen findet sich in der Abrechnungs- und Lageplanerstellung. Klassischerweise werden erbrachte Leistungen durch terrestrisch vermessene Punkte und Polygonzüge nachgewiesen. Zur fehlerfreien Dokumentation bedeutet das eine dauerte vermessungstechnische Begleitung eines Bauvorhabens um jeden Baufortschritt festzuhalten. Die Zuziehung von Luftbildmaterial erlaubt es, viele Leistungen auf einmal abzubilden und im Nachgang im Büro aufzubereiten. Die zeitlich limitierte Begleitung vor Ort und damit verbundene Bauzeitverzögerungen sind somit auf ein Minimum reduzierbar.



Abbildung 8: Lageplan unter Nutzung von Luftbildmaterial
Quelle: VIA IMC GmbH

Die Nutzung von Luftbilddaten – Punktwolken und Orthomosaik – bieten also einen erheblichen Mehrwert in der Planung, Vermessung und Modellierung, und somit für die integralen Bestandteile eines jeden Bauprojekts. Es ist anzunehmen, dass die UAV/Drohnen in Zukunft zum Standardwerkzeug von Vermessungsingenieuren wird.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass in der aktuellen Nutzungsweise der Technologie sich folgende limitierende Faktoren aufzeigen:

1. Etablierte Bau-Software-Lösungen ermöglichen keine Ad-Hoc-Nutzung von großen Datenmengen. Die lange programmeneigene Vorprozessierung nimmt Zeit von den Bearbeitern.
2. Datenvorhaltung wird zum Problem, wenn die Daten immer wieder heruntergeladen und lokal vorgehalten werden müssen, um sie in den Programmen zu nutzen.
3. Aktuell ist die Nutzung von Punktwolken und hochaufgelösten Luftbildern in den meisten Fällen den Vermessungsingenieuren und Planern vorbehalten, da nur diese über die CAD- und Vermessungssoftware verfügen.

Zur Schaffung eines höheren Mehrwerts muss die Nutzung von Luftbilddaten für alle am Bau Beteiligten ermöglicht werden, um so Synergien in allen Bauprozessen zu erzeugen. Expertenwissen und spezielle Software-Skills dürfen keine Voraussetzung zur Verbesserung der Prozesse sein.

4.2 Idealvorstellung der Nutzung

Vermessungsingenieure sind normalerweise diejenigen, die sich mit den Belangen von technologischen Neuerungen um Software und Hardware beschäftigen müssen. Dies betrifft die terrestrischen Vermessungswerkzeuge, wie Tachymeter, Nivelliere und GPS/GNSS-Sensoren und nun auch Drohnen, sowie die mathematischen Auswertungen und Ausgleichsrechnungen, oder auch die Bedienung der beschriebenen CAD-Software-Lösungen. Diesem Umstand ist geschuldet, dass alle anderen Akteure von Bauprojekten generell weniger dazu neigen, sich mit neuen Programmen oder Geräten auseinanderzusetzen.

Demnach hat es in den letzten Jahrzehnten kaum bahnbrechende Entwicklungen gegeben, die die vielfältigen weiteren Bauprozesse betreffen.

Viele verschiedene am Bau Beteiligte, vom Controlling und High-Level Management durch Geschäftsführer, Auftraggeber, Bauleiter oder Oberbauleiter, bis hin zu allen Baufachkräften, die an einem Werk beteiligt sind, greifen oft noch auf die gleichen Hilfsmittel zu, wie sie in den letzten Dekaden verwendet wurden.

Der umfangliche Informationsgehalt von Luftbilddaten lässt jedoch viele etablierte Abläufe profitieren. Wir zeigen auf, wie eine cloudbasierte Plattform aussehen müsste, um dies zu ermöglichen. Im Folgenden werden Beispiele der Internetplattform AVUS.DIGITAL der VIA IMC GmbH gezeigt, die speziell für den Bau- und Infrastruktursektor entwickelt wurde.

Vier grundlegende Herausforderungen müssen aus unserer Sicht behandelt werden:

1. Die Angst vor Veränderung und Digitalisierung muss genommen werden. Eine Software-Lösung muss intuitiv zu nutzen sein und darf nicht durch Komplexität abschrecken.
2. Die Nutzung muss einfach und ad-hoc funktionieren. Datenverwaltung muss durch Software übernommen werden.
3. Software-Barrieren müssen eliminiert werden und es darf keine weitere Insel-Lösung erstellt werden. Datenformate müssen fließend ineinander übergehen.
4. Voraussetzung an technisches Know-How muss auf ein Minimum gesetzt werden. Für die Luftbilderfassung gilt somit: Es kann nicht angenommen werden, dass die Nutzer Drohnenflüge selbst ausführen können.

Der Zugang muss einfach und reibungslos stattfinden. Jeder Nutzer soll mit seinem persönlichen Benutzer-Account genau das machen können, was seine Arbeit unterstützt. Bei der Mitarbeit an verschiedenen Standorten beginnt der Einstieg mit einer klaren Übersicht über alle vorhandenen Projekte, wie in der folgenden Abbildung zu sehen ist.

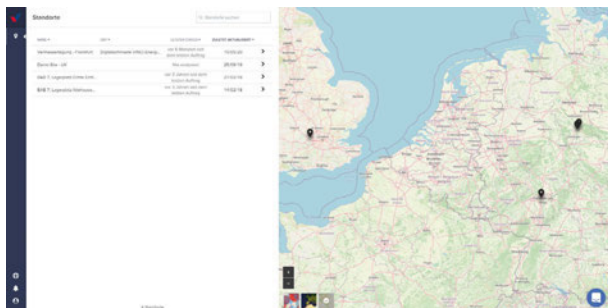


Abbildung 9: Projektübersicht
Quelle: AVUS.DIGITAL, VIA IMC GmbH

Wer über keine eigene Drohne verfügt, kann eine Befliegung über das verknüpfte Pilotennetzwerk mit pro-

fessionellen Drohnenpiloten zugreifen. Die Bestellung erfolgt direkt für den notwendigen Anwendungszweck, bspw. Urgeländeaufmaß, Bauabrechnung oder Bestandsdokumentation, für das ausgewählte Projekt an dem vom Projektteam gewünschten Termin.

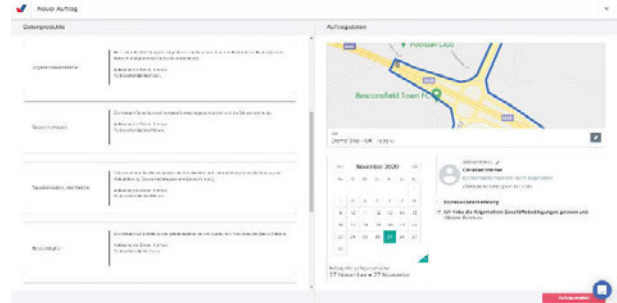


Abbildung 10: Bestellvorgang einer Befliegung
Quelle: AVUS.DIGITAL, VIA IMC GmbH

Mit der Möglichkeit auf externe Piloten zuzugreifen, wird die größte Hürde in der Nutzung von Luftbilddaten bereits genommen: die Kenntnisse, selbst mit einem UAV die Daten zu erzeugen. Die Investition in die notwendigen Geräte und Software ist oft für viele Unternehmen nicht tragbar. Weiterhin benötigt es Fachpersonal, das sich mit der Aneignung der notwendigen Fähigkeiten, Kenntnissnachweisen und Erlangung von Ausnahmegenehmigung auseinandersetzt.

Die Möglichkeit, mit wenigen „Klicks“ einen Drohnenflug zu bestellen, ist der erste Schritt um einen einfachen Einstieg in die Technologie zu gewähren.

Nachdem ein Flug erfolgte, werden die Daten in ein 2D Orthomosaik und 3D Punktwolke prozessiert und auf der Plattform dargestellt. Wie in der Abbildung unterhalb zu sehen, wird das 20+ GB große geoTIFF nahtlos und ohne Wartezeit angezeigt. Es ist möglich bis auf cm- oder mm-Detail hinein zu zoomen. Dies deutet auf den hohen Informationsgehalt hin.

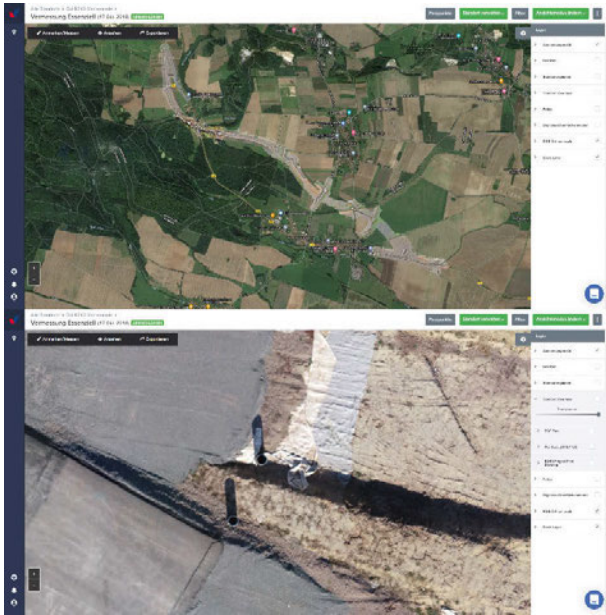


Abbildung 11: Gesamtüberblick und Detailansicht eines 5 km langen Straßenbauprojekts
 Quelle: AVUS.DIGITAL, VIA IMC GmbH

Der schnelle Zugriff auf die Daten in 2D und 3D (siehe Abbildung 12) ist Grundvoraussetzung für die Nutzung im normalen Baualltag. Eine Anwendung muss auf verschiedenen Endgeräten wie PC, Tablet, Smartphone, kompatibel sein und nur wenig Zeit für die Nutzung in Anspruch nehmen.

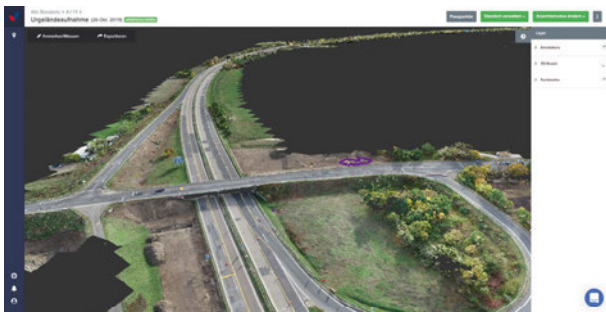


Abbildung 12: Punktwolke eines 10 km langen Autobahnprojekts im Online-3D-Viewer
 Quelle: AVUS.DIGITAL, VIA IMC GmbH

Selbst der einfache Zugriff auf visuelle Informationen der Orthophotos und Punktwolken erlaubt es bereits Bauprojekte in neuen Perspektiven zu sehen. Was vorher durch zeitaufwändige Baustellenbegehungen am Boden erledigt wurde, kann nun online durch den virtuellen Flug durch die Punktwolken geschehen. Bei langgestreckten Projekten werden Zusammenhänge erst mit dem Blick aus der Vogelperspektive klar und erlauben es jedem schnell sich einen Überblick zu machen.

Wie in vorherigen Kapiteln aufgezeigt, ist die Ermittlung von Mengen und Volumen als Nachweisführung und zur Abrechnung von großer Bedeutung. Anstelle von auf-

wendiger Berechnungsprozesse durch Spezialsoftware, kann dies durch einfache Mittel in vielen Fällen durch jeden Nutzer selbst durchgeführt werden. Die Ergebnisse werden als Linien-, Polygone oder Punkt-Annotationen gespeichert und können in andere Programme exportiert werden. Darunter fällt natürlich die Rückführung in die Vermessungs- und CAD-Software, was effektiv bedeutet, dass jeder - mit einfachen Hilfsmitteln - Teilaufgaben der klassischen Vermessungsdisziplin, wie die Schaffung von Abrechnungsgrundlagen oder Lageplanerstellung, durchführen kann.



Abbildung 13: Längenberechnung und Querschnittsanzeige
 Quelle: AVUS.DIGITAL, VIA IMC GmbH

Auf ähnlich einfache Weise lassen sich akkurate Volumina von gelagertem Material auf Steinbrüchen, Asphalt-/Betonmischwerken oder Baustellen berechnen. Der Aufwand zur akkuraten Inventur und Bestimmung von verfügbarem Material bringt Prozess- und Kostensicherheit. Vergleichbare Ermittlungen wurden herkömmlich entweder geschätzt oder durch kompliziertes Nachvollziehen von An- und Ablieferungsdokumentation errechnet. Auch Volumenveränderungen können festgestellt werden, indem das Auf- und Abtragsvolumen zwischen zwei Flügen automatisch berechnet wird.



Abbildung 14: Volumenberechnung von Materialhalden
 Quelle: AVUS.DIGITAL, VIA IMC GmbH

Die Darstellung eines Zeitpunktes erlaubt viele Analysen des aktuellen Zustands, allerdings ist es für Baufortschrittskontrollen wichtig verschiedene Bauzustände zu vergleichen. Durch die hochaufgelösten Bilder ist es machbar mit einem Schiebe-Regler zwischen zwei Zeitpunkten bis auf kleinste Details zu vergleichen. Planungsunterlagen können als Overlay hinzugefügt werden um den Soll-Ist-Vergleich zu visualisieren.

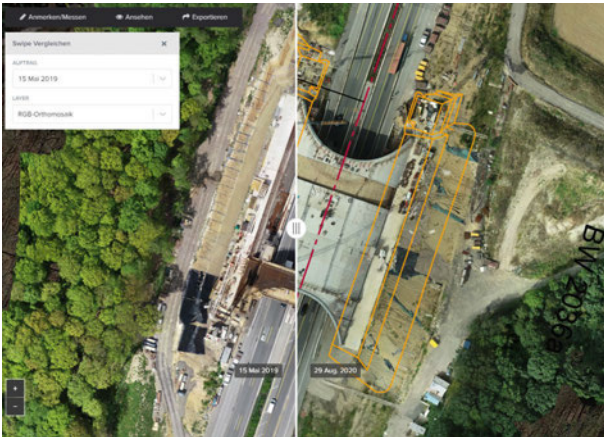


Abbildung 15: Visuelle Vergleichsfunktion zwischen Bauzuständen und Planungsunterlagen

Quelle: AVUS.DIGITAL, VIA IMC GmbH

Es ist festzustellen, dass die Luftbilderfassung mit Drohnen in vielen Anwendungsgebieten im Straßen- und Infrastrukturbau unterstützen kann. Der Zugriff auf die Technologie soll möglichst jedem Projektbeteiligten gegeben sein. Die interdisziplinäre Kommunikation wird erheblich erleichtert, wenn man das komplette Bild einer Maßnahme vor sich sehen hat. Dadurch könnten zukünftig auch Baubegehungen online stattfinden, da man die komplette Projektion der echten Welt vor sich hat. Für die Baustellendokumentation und zur nachtrags-sicheren Nachweisführung ist es essentiell, auch über mehrere Jahre hinweg die Daten zu speichern. Diese langjährige Datenspeicherung von mehreren Tausend Gigabyte kann nicht durch einzelne Verantwortliche durchgeführt werden – und vor allem nicht auf lokal geführten Speichermedien. Durch die Nutzung einer cloudbasierten Software sind die Daten in sicheren Rechenzentren gespeichert und können auch Jahre später in Sekunden-Schnelle aufgerufen werden.

5. Ausblick

Die Bauindustrie macht mit BIM, Drohnenerfassungen und IoT gerade einen großen Wandel durch. Mit mehr Vernetzung, offenen Schnittstellen und Technologien wie Machine Learning werden immer mehr Prozesse vereinfacht und automatisiert. Es ist abzusehen, dass es gerade in der Abrechnung und Baufortschrittsanalyse viele Anwendungen geben wird um Reports und Prognosen automatisch zu erstellen. Die Notwendigkeit zu manuel-

len Aufbereitung von großen Datenmengen wird immer geringer, da vieles in der Cloud stattfindet und durch effiziente Algorithmen verarbeitet wird.

Die Grundsteine für die Nutzung von hochaufgelösten 2D Bildern wurde in den letzten Jahrzehnten in der GIS-Welt gelegt und durch Applikationen wie Google Earth oder Google Maps auch für Privatanwender etabliert, was die Adaption vereinfacht hat. Mit der Einführung von 3D-BIM-Modellen werden wir in Zukunft umdenken müssen und die Software-Hersteller müssen die Grat-Wanderung zwischen technischer Vorreiterfunktion und Bedienbarkeit schaffen.

6. Fazit

Die Bauindustrie erlebt gerade einen grundlegenden digitalen Wandel, der viele Prozesse verändern wird. Drohnen und die Verarbeitung von Luftbilddaten in Punktwolken und Orthophotos gehören zum offensichtlichen Strukturwechsel und deuten darauf hin, wie wir in Zukunft arbeiten werden. Noch ist die Anwendung schwierig und nur mit Experten-Software und viel Mehraufwand zu erlernen. Das Ziel von Software-Herstellern und der Bauindustrie muss sein, nutzerorientierte Lösungen zu entwickeln, die alle am Bau beteiligten Akteure – ob mit Computer-Erfahrung oder ohne – damit arbeiten lassen.

Denn, wie wir wissen:

Anwenderfreundlichkeit ist der Schlüssel für den erfolgreichen Einsatz von Aerial Data im Infrastrukturbau.

Quellenverzeichnis

- [1] Leimböck, I. M. (2018). Bauwirtschaft - Grundlagen und Methoden. Dortmund, Rheda Wiedenbrück: Springer Vieweg.
- [2] Navon, R. 2007. Research in automated measurement of project performance indicators. Automation in Construction 16(2): 176-188.
- [3] Qu, T. & Coco, J. & Rönnäng, M. & Sun, W. 2014. Challenges and Trends of Implementation of 3D Point Cloud Technologies in Building Information Modeling (BIM): Case Studies. Computing in civil and building engineering 2014: 809-816.
- [4] Moser, V.; Barišić, I.; Rajle, D. & Dimter, S. 2016. Comparison of different survey methods data accuracy for road design and construction. 4th International Conference on Road and Rail Infrastructure.
- [5] AVUS.DIGITAL (www.avus.digital bzw. https://via-imc.com/services/avus-innovative-erfassungstechnik-trifft-auf-modernes-projektmanagement)

Cm-genaue Vermessung und Dokumentation mit Smartphones auf Straßenbaustellen

Nicolai Nolle

Projektleiter Vigram-Technologies
Viscan Solutions GmbH

Jeder besitzt ein Smartphone, warum dieses nicht sinnvoll auf einer Baustelle einsetzen. Im Sinne einer „lückenlosen“ Dokumentation von Baustellen, speziell im Rahmen von as-build Modellen auf BIM-Baustellen beteiligt sich die Viscan Solutions an einem Entwicklungsprojekt, welches bereits am Markt verfügbar ist, bei der Umsetzung von präzisen GNSS Mess- und Dokumentationsmethoden mit dem Smartphone.

Die ViGRAM-Technologie ist ein Zusammenspiel aus smarter Handyhülle und einem beliebigen Smartphone. Die Handyhülle hat modernste Messsysteme, wie in hochwertigen Vermessungs-Rovern, verbaut. In Echtzeit werden Positions- und Orientierungsdaten erhoben und weiterverarbeitet. Die passende Vigramsite-App ist ein Vermessungs-Rover, Dokumentations-Tool und Modellentwicklung-Tool in Einem.

Synchronisiert mit einem UAV von DJI haben wir auf photogrammetrische Basis ein unschlagbares Team zusammengestellt. Viele zusätzliche Features und Schnittstellen ermöglichen vielfältiges modernes und vernetztes Arbeiten.

Im Rahmen von derzeit 2 laufenden BIM-Pilotprojekten des RPS werden teils 6-10 Smartphones und UAV-Drohnen gleichzeitig eingesetzt. Die Geräte kommen im Rahmen der AWF 17, 18 und 19 vordergründig zum Einsatz. Wir berichten bei der TAE vom aktuellen Stand der Baustelle.



**Ingenieur-
bauwerke**

Langzeiterfahrungen mit Tiefenhydrophobierungen als Oberflächenschutzsystem von Brücken- und Tunnelbauwerken

Tobias Bürkle
IONYS AG, Karlsruhe

Prof. Dr. Andreas Gerdes
IONYS AG, Karlsruhe

Zusammenfassung

In einer Vielzahl an wissenschaftlich begleiteten praktischen Anwendungsbeispielen wurde bereits nachgewiesen, dass eine Tiefenhydrophobierung ein ökologisch wie auch ökonomisch sinnvolles Oberflächenschutzsystem für Bauwerke aus Stahlbeton darstellt. So kann eine Tiefenhydrophobierung an Neu- als auch an Bestandsbauwerken eine geeignete Maßnahme sein, um die geplante Nutzungsdauer der Bauwerke zu erreichen bzw. zu verlängern. In der Praxis hat sich dabei gezeigt, dass die minimale Eindringtiefe des Hydrophobierungsmittels je nach Exposition des Bauwerks/Bauteils ein wichtiges Kriterium für die dauerhafte Schutzfunktion der Tiefenhydrophobierung darstellt. Unter anderem wurden in Zusammenarbeit mit der Autobahndirektion Südbayern und weiteren Projektpartnern, bestehend aus Materialherstellern, ausführenden Fachfirmen und Ingenieurbüros, hierzu mehrere Pilotprojekte an Brücken- und Tunnelbauwerken durchgeführt. Ziel der Projekte war es, sowohl bei der Planung, Ausführung und Qualitätssicherung Standards zu erarbeiten als auch durch ein Monitoringkonzept Langzeiterfahrungen bezüglich der Schutzfunktion der Tiefenhydrophobierung über die weitere Nutzungsdauer zu erfassen.

1. Von der Imprägnierung zur Tiefenhydrophobierung – ein historischer Überblick

Eine funktionsfähige Infrastruktur spielte bereits früh in der Menschheitsgeschichte für die Entwicklung des Menschen, der Wirtschaft und der Gesellschaft im Allgemeinen eine wichtige Rolle. Deshalb wurde dem Erhalt dieser Bauwerke auch besondere Sorgfalt gewidmet. Im alten Ägypten wurde die Dauerhaftigkeit von Tempelanlagen, gebaut mit luftgetrockneten Lehmziegeln, durch eine Imprägnierung mit Seifen und Alaun, einem sulfathaltigen Doppelsalz, verbessert [1]. Die Wasserversorgung Roms lieferte bereits vor mehr als 2000 Jahren ca. 450 Liter pro Tag und Kopf aus dem Umland in die Stadt [2]. Das entspricht mehr als dem Dreifachen der Menge, was heute pro Einwohner und Tag an Wasser verbraucht wird. Die Lebensdauer von Bauwerken durch Fernhalten von Wasser zu verlängern war ebenfalls seit Jahrhunderten das Ziel der Baumeister in Ländern außerhalb Europas. So wurden um 700 n. Chr. in Indien Proteine und Pflanzenextrakte beim Bau der Tempelanlagen in Kerala den Mörteln zugesetzt [3]. Weitere typische Additive aus dieser Zeit zur Verbesserung der Dauerhaftigkeit waren Tungbaumöl oder sogar Tierblut. Im 20. Jahrhundert wurden zunehmend siliziumorganische Verbindungen zur Imprägnierung von Werkstoffen

des Bauwesens eingesetzt. Zur ersten Generation gehörten die Kaliumsiliconate, wasserlösliche Salze, die mit Wasser oder auch Wasserglas zu einer applikationsfertigen Lösung vermischt wurden. Neben der Imprägnierung von Mauersteinen wurden damit auch Schadensbilder, die durch aufsteigende Feuchtigkeit im Mauerwerk entstanden, saniert.

Wasserunlösliche Silane und Polysiloxane wurden mit organischen Lösungsmitteln verdünnt, wobei der Wirkstoffgehalt oft unter 10% lag. Diese Formulierung gefährdete aber nicht nur Umwelt und die Arbeitssicherheit, sondern zeigte in der Regel eine sehr geringe Wirksamkeit und Lebensdauer. In den 80iger Jahren wurden die ersten wasserverdünnbaren Systeme formuliert, u.a. von der Fa. Dynamit Nobel. Vor Ort stellte der Anwender durch die Vermischung von Wasser mit einem speziell dafür entwickelten Silan eine wässrige Lösung her, die für ca. 2 h verarbeitbar war.

Der eigentliche Entwicklungsschub für wässrige, niedrigviskose Systeme erfolgte aber in den 90iger Jahren. Emulsionen und Mikroemulsionen wurden als Alternativen für lösungsmittelhaltige Produkte, hergestellt auf Basis von Testbenzin, in das Bauwesen eingeführt.

Während der Einführungsphase für wässrige Systeme häuften sich aber auch Berichte über Fehlapplikationen, gekennzeichnet durch einen schnellen Wirkungsverlust

(ca. 3 Jahre). Dadurch kehrte sich die zunächst sehr positive Einstellung der Planer und Bauherren gegenüber dieser Technologie ins Gegenteil um.

In der Mitte der Neunziger Jahre wurden erste Studien zum Verhalten dieser Emulsionen in Gegenwart zementgebundener Werkstoffe durchgeführt. Dabei zeigte sich sehr schnell, dass die bereits erwähnten Emulsionen für eine Betonhydrophobierung ungeeignet sind. Durch chemisch-physikalische Wechselwirkungen zwischen Hydrophobierungsmittel und zementgebundenem Werkstoff war die Eindringtiefe, die sowohl für die Wirksamkeit als auch für die Dauerhaftigkeit einer hydrophobierenden Maßnahme entscheidend ist, unabhängig von der Kontaktzeit nicht höher als 0.5 mm. Das war nicht nur von der technischen Seite her überraschend, sondern die Folge dieser unzureichenden Eindringtiefe war ein bereits nach wenigen Jahren auftretendes Versagen der Maßnahme. „Hilft nichts, schadet aber auch nichts“ war zur damaligen Zeit daher ein häufiger Kommentar, den heute auch noch ab und zu hört [4].

Dies war auch das auslösende Moment für die Initiierung zahlreicher Forschungsprojekte, die weltweit in verschiedenen Forschungseinrichtungen bis heute durchgeführt werden. Die dabei erarbeiteten Ergebnisse waren nicht nur die Voraussetzung für die Entwicklung neuer Produkte, wie z.B. hochviskose wässrige (z.B. Creme) oder nichtwässrige (z.B. Gele) Systeme, sondern auch die Basis für die Etablierung neuer Verarbeitungsrichtlinien und Qualitätssicherungskonzepte in der Praxis. Es überrascht daher auch nicht, dass im Vergleich zu anderen Oberflächenschutzsystemen, wie z.B. Versiegelungen oder Beschichtungen, das Wissen über die chemisch-physikalischen Grundlagen der Tiefenhydrophobierung wesentlich umfangreicher ist. Eine wichtige Voraussetzung für die heute sehr geringen Fallzahlen in Bezug auf Fehlapplikationen bei einer Tiefenhydrophobierung.

2. Dauerhaftigkeit – von der Definition bis zum Lebenszyklusmanagement

Der Begriff „Dauerhaftigkeit von Stahlbeton(bauwerken)“ stand in letzten Jahrzehnten eher im Hintergrund, verglichen mit den konstruktiv relevanten Kennwerten des Werkstoffes. Erst seit wenigen Jahren steht das Ziel dauerhafte Bauwerke zu erstellen im Fokus des Planers. Viel mehr fordert aber der Bauherr zunehmend, dass die tatsächliche Lebensdauer auch der geplanten Nutzungsdauer von 80-100 Jahren entspricht und nicht nur 20-30 Jahre. Diese Entwicklungen veränderten nicht nur das Verhältnis von Planer und Bauherr, sondern wirkt sich bereits deutlich auf die technischen und wirtschaftlichen Entwicklungen auf dem Baumarkt aus.

Bisher bedeutete Dauerhaftigkeit, dass die verlangten Gebrauchseigenschaften über eine festgelegte Zeitdauer, die entweder als Nutzungsdauer oder Lebensdauer unter den planmäßigen Beanspruchungen und unter Berücksichtigung

der Wirtschaftlichkeit, d.h. angemessene Herstellungs- und Instandhaltungskosten erhalten bleiben.

Diese etwa sperrige Formulierung wird im Regelwerk und vor allem in der Praxis als ein ausreichender Widerstand des Baustoffes gegenüber Umwelteinwirkungen verstanden. Dabei wird davon ausgegangen, dass bei einer Berücksichtigung objekt-, nutzungs- und umweltbedingter Beanspruchungen bei der Auswahl der Ausgangsstoffe, Formulierung der Betonrezeptur, einer sachgerechten Verarbeitung und Nachbehandlung ein dauerhafter Baustoff hergestellt wird, der keines zusätzlichen Schutzes bedarf. Bei den Beanspruchungen durch Nutzung und Umwelt stehen dabei die folgenden Faktoren im Vordergrund, wenn über die Dauerhaftigkeit von Beton gesprochen wird.

- Widerstand gegen chemische Angriffe
- Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand
- Passiver Korrosionsschutz der Bewehrung
- Widerstand gegen das Eindringen von Chloriden

In der Realität wird dieses Ziel, d.h. dass die Dauer der tatsächlichen und der geplanten Nutzungs- oder Lebensdauer übereinstimmt, nur in den wenigsten Fällen erreicht.

Aber auch der Begriff „Dauerhaftigkeit hat eine gewisse Weiterentwicklung erlebt. Heute steht Dauerhaftigkeit für mehr als nur für einen dauerhaften Werkstoff. Vielmehr ist es ein Synonym für hohe „Performance“ und Qualität der eingesetzten Werkstoffe, niedrige Lebenszykluskosten, geringe Umweltbelastungen und nicht zuletzt für den technischen Ansatz „Prävention“. In Abbildung 1: Auswahl von Präventionsmaßnahmen entlang des Lebenszyklus eines Infrastrukturbauwerks werden ausgewählte technische Maßnahmen gezeigt, mit deren Hilfe das oben formulierte Ziel in Bezug auf realer und geplanter Lebensdauer erreicht werden können. Darüber hinaus ist aber auch jeder „Baustein“ für die Entwicklung und Etablierung moderner Lebenszyklusmanagementkonzepte geeignet, ohne die eine nachhaltige Infrastrukturentwicklung nur sehr schwer realisierbar ist.



Abbildung 1: Auswahl von Präventionsmaßnahmen entlang des Lebenszyklus eines Infrastrukturbauwerks

Im Folgenden soll das Thema „Prävention“ vertieft werden und zwar am Beispiel der Tiefenhydrophobierung von Betonbauwerken. Neben den Technologiegrundlagen wird das Ergebnis einer Langzeitstudie gezeigt, bei der am Beispiel von Brücken des Fernstraßennetzes („Autobahnen“) die Wirkung einer Tiefenhydrophobierung über einen Zeitraum von 15 Jahren untersucht wurde. Weitere Aspekte sind die ökologischen und ökonomischen Auswirkungen einer Tiefenhydrophobierung, die neben der technischen „Performance“ zunehmend im Vordergrund steht.

3. Technologie einer Tiefenhydrophobierung

3.1 Zielsetzung

Die Infrastruktur ist objekt- und nutzungsbedingt verschiedenen Umwelteinwirkungen ausgesetzt, welche die instandsetzungsfreie Lebensdauer der Bauwerke maßgeblich beeinflussen können. Bei der überwiegenden Zahl der sich daraus ergebenden Schadensmechanismen lassen sich dabei zwei Teilschritte unterscheiden, der Transport werkstoffaggressiver Verbindungen in das Werkstoffinnere und die dort ablaufenden chemischen Reaktionen zwischen diesen Verbindungen und Bestandteilen des Stahlbetons.

Ein typisches Beispiel ist die chloridinduzierte Bewehrungskorrosion bei Stahlbetonbauwerken. Im ersten Schritt wird die Tausalzlösung oder das Meerwasser durch kapillares Saugen in die Betonrandzone transportiert. Erreicht die Chloridfront die Stahlbewehrung setzen elektrochemische Prozesse ein, die zunächst den Passivfilm auf der Stahloberfläche durchbrechen, um anschließend in Gegenwart von Wasser durch eine Reaktion mit Sauerstoff eine lokale Stahlauflösung zu bewirken.

Analysiert man für diesen Fall die technischen Eingriffsmöglichkeiten durch die/den Ingenieur(in) stellt man sehr schnell fest, dass das Verhindern des Schadstofftransportes nicht nur einfacher zu realisieren ist als das Stoppen der Korrosionsprozesse, sondern auch wirtschaftlicher. Dieser Zusammenhang lässt sich schnell auch auf andere Schadensprozesse, wie den Sulfatangriff oder die Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR) übertragen.

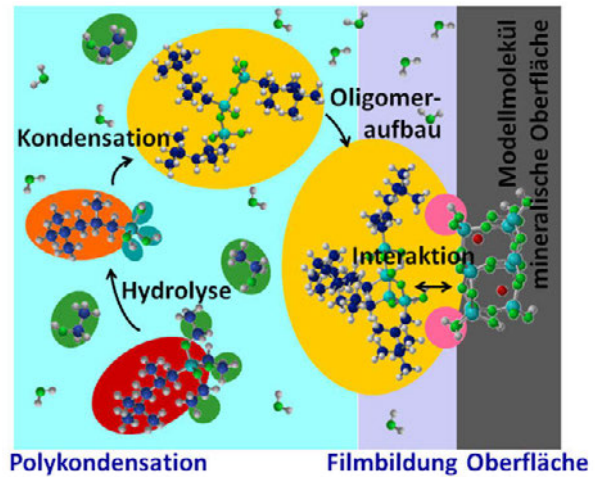


Abbildung 2: Schematische Darstellung der bei einer Tiefenhydrophobierung ablaufenden Prozesse

Aus diesen grundlegenden Betrachtungen lässt sich auch direkt das Ziel einer Tiefenhydrophobierung ableiten. Durch diese Oberflächenschutzmaßnahme soll der Transport wässriger, werkstoffaggressiver Lösungen in die Werkstoffrandzone unterbunden werden, damit die Voraussetzungen für eine werkstoffschädigende chemische Reaktion gar nicht erst relevant werden.

3.2 Wirkungsweise

Bei der Tiefenhydrophobierung werden Systeme auf Silanbasis, in Form wässriger oder nichtwässriger, hoch- oder niedrigviskoser Produkte, auf die Werkstoffoberfläche durch Spritzen, Rollen oder Streichen appliziert. Von dort wird das Silan, meist ein Octyltriethoxysilan, durch kapillares Saugen in das Werkstoffinnere transportiert.

In der Abbildung 2: Schematische Darstellung der bei einer Tiefenhydrophobierung ablaufenden Prozesse ist eine solche Kapillare dargestellt, bei der neben dem Substrat (Zementstein (grau)) auch der unter normalen klimatischen Bedingungen darauf anhaftende „Wasserfilm“ (violett) dargestellt ist. Bedingt durch die Bestandteile des Zementsteins ist der „Wasserfilm“ hochalkalisch, weshalb man auch besser von einem Flüssigkeitsfilm der Porenlösung sprechen kann.

Als organische Verbindungen sind Silane weitgehend wasserunlöslich. Daher bildet sich zwischen dem Flüssigkeitsfilm (violett) und dem eindringendem Silan (hellblau) eine Phasengrenze aus. Eine zweite Phasengrenze bildet sich naturgemäß zwischen Wasserfilm und Substrat (grau) aus.

Während des Silantransports lassen sich vereinfacht in zwei Teilprozesse unterteilen:

1. Schritt: Hydrolyse der Silane

Bei der Hydrolyse der Silane setzen sich diese an der Grenzfläche zum alkalischen Flüssigkeitsfilm mit Wasser unter Bildung sogenannter Silanole um, wobei üblicherweise Ethanol freigesetzt wird (Abbildung 3: Hydrolyse

des Silans im alkalischen Milieu unter Abspaltung von Ethanol). Die so gebildeten Silanole sind nicht nur wasserlöslich, sondern auch sehr reaktiv. Deshalb treten sie zunächst durch die Phasengrenze Silan/alkalischer Flüssigkeitsfilm hindurch, um dort in einem 2. Reaktionsschritt nach einem Mechanismus, den man als „Kondensation“ bezeichnet, direkt weiter zu reagieren (Abbildung 4: „Polykondensation“ der Silanole unter Bildung von Oligomeren bzw. unter Anbindung an endständige OG-Gruppen des Substrats).

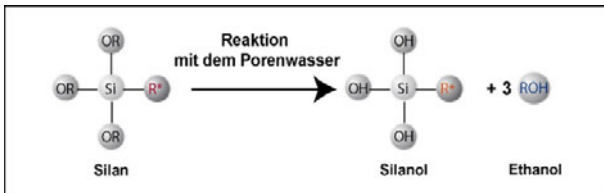


Abbildung 3: Hydrolyse des Silans im alkalischen Milieu unter Abspaltung von Ethanol

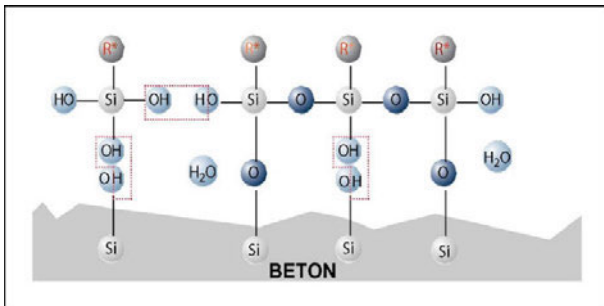


Abbildung 4: „Polykondensation“ der Silanole unter Bildung von Oligomeren bzw. unter Anbindung an endständige OG-Gruppen des Substrats

2. Schritt: Polykondensation der Silane

Bei der sogenannten „Polykondensation“ reagieren die Silanole mit anderen Silanolen unter Abspaltung von Wasser, was dieser Reaktion auch den Namen gegeben hat. Dabei entstehen größere Moleküle aus 2-3 Silanolen, die man als Oligomere bzw. Polysiloxane bezeichnet (Abbildung 4: „Polykondensation“ der Silanole unter Bildung von Oligomeren bzw. unter Anbindung an endständige OG-Gruppen des Substrats). Die Oligomere werden mit zunehmenden Kondensationsgrad und damit wachsender Molekülgröße wasserunlöslich und „fallen“ aus dem alkalischen Flüssigkeitsfilm aus. Diese hydrophob wirkenden „Polysiloxanschnipsel“ werden auf dem Substrat adsorbiert, was zu einer wasserabweisenden Ausrüstung der Kapillarinnenflächen führt.

Daneben gibt es noch eine weitere Möglichkeit der Anbindung. Bei dieser reagieren die OH-Gruppen der Silanole bzw. Oligomere mit sogenannten endständigen OH-Gruppen auf der Oberfläche des Substrats unter Bildung einer chemischen Bindung. Welche Art von Anbindung dominiert, d.h. die Adsorption der „Polysiloxanschnipsel“ oder der chemischen Anbindung hängt wesentlich

von der chemischen Struktur ab und bestimmt auch maßgeblich die chemisch-physikalischen Eigenschaften der unterschiedlich gebildeten „Polymerfilme“.

Einfluss der Polykondensation auf den Silantransport in der Werkstoffrandzone

Die fortschreitende Polykondensation führt aber nicht nur zur Ausbildung des Polysiloxanfilms, sondern die gebildeten wasserlöslichen Silanole und Oligomere beeinflussen direkt auch den Silantransport und damit die Wirkstoffverteilung in der Werkstoffrandzone.

Wie in den Arbeiten von Gerdes und Oehmichen gezeigt, bewirken diese Reaktionsprodukte eine zeitabhängige Abnahme in der Silanaufnahme, d.h. mit der Zeit nimmt die aufgenommene Silanmenge ab [5,6].

Oehmichen konnte zeigen, dass dieser Effekt in der Abnahme der Grenzflächenspannung σ an der Phasengrenze Silan/Lösungsfilm [6] begründet ist. Der Wert für die Oberflächenspannung reinen Wassers (gilt angenähert auch für die Porenlösung) beträgt 72 N/m. Die Werte für die Oberflächenspannung handelsüblicher Silane liegt bei etwa 20-22 N/m. Oehmichen konnte in ihren

Untersuchungen zeigen, dass bei der Mischung einer synthetischen Porenlösung (gesättigte Lösung von Calciumhydroxid, pH-Wert 12.3) mit wenigen Millilitern eines Silans bereits wenige Minuten nach Zusammenschütten beider Komponenten die Oberflächenspannung auf Werte zwischen 30 und 35 N/m abfielen. Begründet ist dieses Verhalten in der Bildung der wasserlöslichen Silanole bzw. Oligomere, welche eine tensidähnliche Struktur aufweisen. Erst im Verlauf der nächsten Stunden polymerisieren die Oligomere zu den wasserunlöslichen Polysiloxanen, die aus der Lösung ausfallen. Mit dieser „Selbstreinigung“ der Lösung ist ein Anstieg bei den Werten der Oberflächenspannung um 70 N/m beobachten.

Da aber die Oberflächenspannung für den kapillaren Transport die treibende Kraft ist („driving force“), nimmt, nimmt als Folge der chemischen Reaktion nicht nur die Oberflächenspannung, sondern auch die Transportrate ab. Aber nicht nur die Transportrate wird durch die chemischen Reaktionen beeinflusst, sondern durch die Einstellung lokaler Stoffgleichgewichte als Folge des Transports wird auch die chemische Reaktion beeinflusst. Man spricht dann von einem reaktiven Transport, der für die Tiefenhydrophobierung charakteristisch ist.

Wirkung einer Hydrophobierung auf die Benetzbarkeit einer Oberfläche

Am Ende dieser Reaktionen, die über mehrere Stunden bis Tage andauern können, entwickelt sich je nach Zusammensetzung des Hydrophobierungsmittels ein mehr oder minder stark ausgeprägter „Aberleffekt“ [7]. Durch eine Kontaktwinkelmessung kann dieser wasserabweisende Effekt quantifiziert werden. Dazu wird auf die Werkstoffoberfläche ein Wassertropfen aufgesetzt und unmittelbar danach mit einer geeigneten technischen

Ausrüstung der sich ausbildende Kontaktwinkel zwischen Wasser und hydrophobiertem Substrat gemessen.

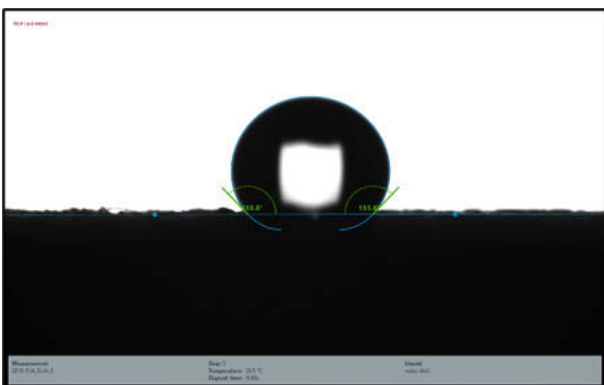
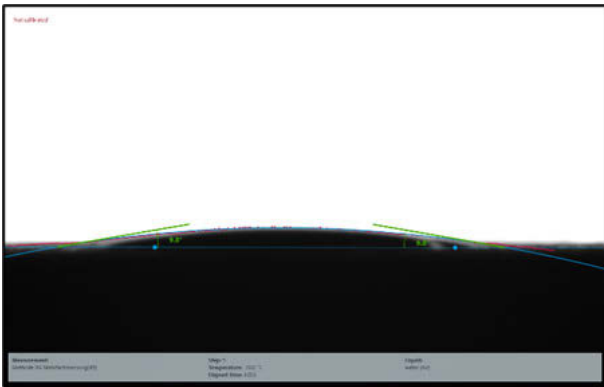


Abbildung 5: Kontaktwinkelmessung an mineralischen Oberflächen; oben: nicht hydrophobiert, $q = 9.8^\circ$; unten: hydrophobiert, $q = 133.8^\circ$

Dabei gilt, dass bei einem Kontaktwinkel $< 90^\circ$ die Oberfläche benetzbar ist, bei Kontaktwinkeln $> 90^\circ$ gilt eine Oberfläche bereits als hydrophob, wobei bei funktionierenden Hydrophobierungen Kontaktwinkel von $> 120^\circ$ durchaus erreichbar sind. Diese Messungen haben aber nur einen orientierenden Charakter, entscheidend ist die Reduktion der Wasseraufnahme, verglichen mit einem unbehandelten Werkstoff.

Dieser ist kein Maß für die Leistungsfähigkeit einer Hydrophobierung, zumal er als Folge der einwirkenden UV-Strahlung durch den Abbau des Polysiloxanfilms auf der Werkstoffoberfläche nur kurzfristig vorhanden ist.

3.3 Einflussfaktoren für Wirksamkeit und Dauerhaftigkeit

Im Allgemeinen gilt, dass für die Bewertung der „Performance“ einer Oberflächenschutzmaßnahme die Schutzwirkung über einen möglichst langen Zeitraum maßgebend ist. Das gilt naturgemäß auch für eine Tiefenhydrophobierung, wobei eine visuelle Beurteilung, wie bei einer Polymerbeschichtung üblich, hier nicht geeignet ist.

Untersuchungen zur Reduktion der Wasseraufnahme und den Chlorideindringwiderstand an Brückenbauwerken

in Schweden haben aber gezeigt, dass eine Tiefenhydrophobierung bei sachgemäßer Anwendung die Aufnahme von wässrigen, betonaggressiven Lösungen über einen Zeitraum von ca. 20-25 Jahre weitgehend unterdrückt. Demgegenüber stehen aber auch Beispiele, bei denen bereits nach 3 Jahren die wasserabweisende Wirkung nicht mehr vorhanden war.

Es stellte sich daher bereits früh die Frage, welche Faktoren eine hohe Wirksamkeit und lange Lebensdauer begünstigen. Im Rahmen von Forschungsprojekten konnten diese Faktoren als Eindringtiefe und der Wirkstoffgehalt in der Werkstoffrandzone identifiziert werden (Abbildung 5: Kontaktwinkelmessung an mineralischen Oberflächen; oben: nicht hydrophobiert, $q = 9.8^\circ$; unten: hydrophobiert, $q = 133.8^\circ$) [5].

Eindringtiefe

Es lässt sich leicht nachvollziehen, dass mit höherer Eindringtiefe des Hydrophobierungsmittels auch die Dicke der wasserabweisend ausgerüsteten Werkstoffrandzone zunimmt (Abbildung 5: Kontaktwinkelmessung an mineralischen Oberflächen; oben: nicht hydrophobiert, $q = 9.8^\circ$; unten: hydrophobiert, $q = 133.8^\circ$). Mit dieser Dicke steigt aber auch der äußere Wasserdruck, der aufgebracht werden muss, um diese „Barriere“ zu durchbrechen. So haben Untersuchungen gezeigt, dass bei unbehandelten Betonen (W/Z-Wert 0.5) sich bereits bei einem Wasserdruck von 8-9 bar ein kontinuierlicher Wasserfluss durch den Werkstoff einstellt. Bei Betonen gleicher Zusammensetzung, aber einer hydrophobierten Randzone mit 4 mm Dicke, findet selbst bei einem Wasserdruck von 18 bar noch kein Wassertransport statt. Aus diesen Laboruntersuchungen, aber auch auf Basis von Untersuchungen an Praxisobjekten, konnte folgender Zusammenhang abgeleitet werden:

- **ab 2 mm** → bei **geringfügiger Einwirkung** werkstoffaggressiver Wässer (z.B. gelegentlicher Sprühnebel, aufgehende Wände bei mäßig genutzten Verkehrsflächen)
- **2 mm $< x < 4$ mm** → bei **erhöhter Einwirkung** werkstoffaggressiver Wässer (z.B. Sprühwasser, Brückenlager mit Abstand von der Straße größer 5 m, Betonpfeiler von Autobahnbrücken)
- **4 mm $< x < 6$ mm** → bei **starker Einwirkung** werkstoffaggressiver Wässer (z.B. Spritzwasser, Mittelpfeiler, Brückenkappen, Hafenanlagen und Offshore-Bauwerke)

Wirkstoffgehalt in der Betonrandzone

Wie im Abschnitt 3.2 gezeigt, werden die inneren Kapillaroberflächen mit einem wasserabweisend wirkenden Polysiloxanfilm („Silikonharzfilm“) belegt. Dafür sind in Abhängigkeit von der inneren Oberfläche der Kapillare unterschiedliche Mengen an Polysiloxan erforderlich. Der Grund dafür soll an einem Beispiel verdeutlicht werden. Bei einem Beton mit W/Z-Wert 0.45 ist eine Ge-

samtporosität von ca. 10 Vol.-% zu erwarten, während bei einem Beton mit W/Z-Wert 0.55 dieser Wert bei ca. 15 Vol.-% liegt. Darüber hinaus ist beim Beton mit dem niedrigerem W/Z-Wert der Anteil an Kapillarporen deutlich geringer als beim Beton mit W/Z-Wert 0.55. Daraus lässt sich folgern, dass bei Betonen mit höheren W/Z-Werte die innere Kapillaroberfläche deutlich höher ist und daher die Menge an Wirkstoff (Polysiloxan) ebenfalls höher sein muss, um einen geschlossenen Film zu erzeugen. Diese These konnte durch wissenschaftliche Untersuchungen tatsächlich belegt werden. Praktisch reicht die applizierte Menge an Hydrophobierungsmitteln, die je nach Produktformulierung zwischen 350-800 g/m² liegt, für einen geschlossenen Polysiloxanfilm sich aus.

Zusammenfassend lässt sich also festhalten, dass für eine wirksame und dauerhafte Tiefenhydrophobierung je nach Betontyp und -qualität unterschiedliche Mengen an Wirkstoff (Polysiloxan) in der Werkstoffrandzone vorhanden sein müssen. Da dies von einer Reihe weiterer Einflussfaktoren abhängt, u.a. vom Feuchtegehalt in der Werkstoffrandzone, der Kontaktzeit zwischen Hydrophobierungsmittel und Werkstoff oder dem Typ des verwendeten Silans, sind bei großen Maßnahmen (z.B. Talbrücken) Voruntersuchungen angezeigt.

4. Anwendungen in der Praxis – Planung einer Hydrophobierung

4.1 Vorbemerkungen

Der Erfolg einer Tiefenhydrophobierung und damit ihre Wirksamkeit und Dauerhaftigkeit hängt wesentlich von ihrer Planung ab. Häufig wird die Bedeutung dieser aber unterschätzt, da die technische Umsetzung einer Tiefenhydrophobierung dem Planer oder Ausführenden als einfach erscheint. Das Hydrophobierungsmittel wird auf die Oberfläche gesprüht, es dringt in den Werkstoff ein und ist im Gegensatz zu einer zement- oder polymergebundenen Beschichtung danach optisch nicht mehr wahrnehmbar.

Tatsächlich ist aber das Gegenteil der Fall, da die bereits beschriebenen Einflussfaktoren, wie verwendeter Silantyp, Gesamtporosität oder Feuchtegehalt des Festbetons oder Umweltbedingungen, wie Außentemperatur oder Windgeschwindigkeit, sich auf die Qualität einer Tiefenhydrophobierung stark auswirken. Diese und weitere Faktoren müssen aber bei der Planung der Tiefenhydrophobierung Beachtung finden, um eine leistungsfähige und dauerhafte Maßnahme zu realisieren.

4.2 Unterschiede bei der Erstellung eines Neubaus und beim Schutz von Bestandsbauwerken

Bei der Planung ist zunächst zwischen einem Neubau und einem Bestandsbau zu unterscheiden. So spielt vor

allem beim Neubau das Betonalter bei der Ausführung einer Tiefenhydrophobierung eine wichtige Rolle. Dabei steht aber weniger die Entwicklung der Druckfestigkeit oder der pH-Wert des Festbetons (ca. 12-13) im Vordergrund, sondern der Feuchtegehalt in der Werkstoffrandzone. Der junge Festbeton ist nach der Herstellung zunächst wassergesättigt. Abhängig von der Betonqualität oder den Umweltbedingungen (Temp., rel. Feuchtigkeit) trocknet der Überdeckungsbeton mit unterschiedlicher Geschwindigkeit aus. Ist aber während der Applikation des Hydrophobierungsmittels der Trocknungsprozess noch nicht ausreichend vorangeschritten, der Feuchtegehalt also zu hoch, kann das Silan nicht in Betonrandzone eindringen, da die Kapillarporen mit der Porenlösung gefüllt sind und den Silantransport blockieren. Die unter diesen Bedingungen erreichbare Eindringtiefe und Wirkstoffgehalt in der Betonrandzone werden dementsprechend gering sein.

Um bei einem Neubau eine erfolgreiche Tiefenhydrophobierung sicherzustellen, hat daher die Kontrolle der Betonfeuchtigkeit eine herausragende Bedeutung. Mit den verfügbaren Messgeräten gilt die Messung der Betonfeuchte als nicht besonders sicher. Daher sollten im Zweifelsfall Probeflächen angelegt werden, die 14 Tage nach der Applikation durch Bohrkernentnahme beprobt werden. An den Kernen kann dann die tatsächlich erreichte Eindringtiefe und die Wirkstoffverteilung in der Betonrandzone analytisch mittels IR-Spektroskopie bestimmt werden [8]. Im Abschnitt 4.6 wird auf die Verfahren zur objektbezogenen Qualitätskontrolle noch näher eingegangen.

Bestandsbauwerke, wie zum Beispiel Brücken der Bundesfernstraßen oder Teile von Hafenanlagen, können trotz vorhandener Chloridbelastung hydrophobiert werden. Die chemisch-physikalischen Prozesse, die zur wasserabweisenden Ausrüstung des Betons führen, werden selbst bei hohen Chloridgehalten (≤ 0.5 Massen-%, bezogen auf das Betongewicht) nur geringfügig beeinflusst. Bei der Bewertung der Hydrophobierbarkeit von Bestandsbauwerken steht vielmehr die Chlorideindringtiefe bzw. der Korrosionszustand der Bewehrung im Vordergrund. Deshalb ist eine Zustandsanalyse, welche diese Faktoren erfasst, bei chloridbelasteten Bauwerken zwingend erforderlich.

Zeigt die Auswertung der Zustandsanalyse, dass die Chloridfront die Bewehrung noch nicht erreicht hat, ist eine funktionsfähige Tiefenhydrophobierung eine technische Maßnahme, welche die weitere Chloridaufnahme sicher unterbindet und die instandsetzungsfreie Nutzung deutlich verlängern kann. Dabei gibt es bei der Ausführung der Maßnahmen keine gravierenden Unterschiede zwischen einem Neubau oder Bestandsbau. Nur bei der Untergrundvorbehandlung sind einige Punkte zu berücksichtigen, worauf in einem der folgenden Abschnitte eingegangen wird.

Hat die Chloridfront die Bewehrung aber bereits erreicht oder liegt bereits hinter der Bewehrung, ist eine Tiefen-

hydrophobierung zwar technisch möglich, die dann noch erreichbaren Ziele der Maßnahme müssen aber im Einzelfall abgewogen werden.

4.3 Bewertung der Betonqualität

Die erreichbare Eindringtiefe und auch die Wirkstoffverteilung in der Betonrandzone, die man zusammenfassend auch als Wirkstoffprofil bezeichnen kann, hängen maßgeblich von der Betonqualität ab. Als Bezugsgröße kann hierzu der W/Z-Wert herangezogen werden, durch den die mechanischen Kenndaten und damit auch die Entwicklung des Betongefüges bestimmt wird. Forschungsergebnisse haben gezeigt, dass die Ausführung hydrophobierend wirkender Maßnahmen bis zu einem W/Z-Wert 0.45 eine nennenswerte Verbesserung des Chlorideindringwiderstands nach sich ziehen. Neben Laborergebnissen konnte das auch in der Praxis, u.a. durch Untersuchungen an Brückenbauwerken in Stockholm, nachgewiesen werden. So schreibt die schwedische Erhaltungsstrategie bereits seit mehr als 30 Jahren neben einem niedrigen W/Z-Wert (hier 0.45) eine Tiefenhydrophobierung vor. Bei Betonen mit tieferen W/Z-Werten ist dies aufgrund der sehr geringen Durchlässigkeit aber nicht mehr zu erwarten.

Ein weiterer Aspekt, der die Instandsetzungsfreie Lebensdauer von Infrastrukturbauwerken bestimmt, ist die „Performance“ dafür hergestellter Bauteile.

Dazu soll an dieser Stelle auf eine Entwicklung eingegangen werden, die sich auch in der Praxis zunehmend auf die Lebensdauer von Infrastrukturbauwerken eingeht. Generell gilt, dass die Dauerhaftigkeit von Bauwerken nicht nur durch die Qualität des bestellten Betons bestimmt wird, sondern maßgeblich durch die Werkstoffverarbeitung vor Ort. Oder anders ausgedrückt, die Qualität des Bauteils ist die Summe aus den rezepturbedingten Werkstoffeigenschaften und den persönlichen Fähigkeiten des Handwerkers. In der Praxis lässt sich aber immer häufiger beobachten, dass die Qualitätsunterschiede an einem Bauteil lokal stark variieren können. So wurden bei bayrischen Bundesfernstraßen Mittelpfeiler von Überführungsbauwerken in Hinsicht auf ihre Betonqualität überprüft. Dazu wurde als Bewertungsgrundlage die physikalische Größe „Gesamtporosität“ herangezogen, bestimmt mit der Quecksilberdruckporosimetrie, welche sich direkt auf den Chlorideindringwiderstand auswirkt. Praktisch wurden aus unterschiedlichen Höhen (0.50 m, 1.00 m, 1.50 2.0 m) Bohrkerne entnommen und an diesen die Gesamtporosität bestimmt. Die Ergebnisse zeigen, dass es bei vielen der untersuchten Betonpfeiler markante Unterschiede in den Werten gibt, obwohl der räumliche Abstand der Entnahmepunkte nur ca. 1.50 m beträgt. Beispielsweise konnten an einem Pfeiler für die Gesamtporosität Werte zwischen 12 und 18 Vol.-% festgestellt werden. Diese Zahlen gelten für Brückenbauwerke, die vor ca. 20-50 Jahren, also zwischen 1970

und 2000 erstellt wurden. Erwartet wurde, dass die Brücken aus den 70iger Jahren sowohl die höchsten Werte als auch die höchste Streuung zeigten. Überraschenderweise war dies aber trotz erheblicher Fortschritte in der Betontechnologie an den Brücken aus den 90iger Jahren der Fall. Praktisch bedeutet es, dass bei jüngeren Bauwerken nicht zwangsläufig eine bessere Qualität und damit höhere „Performance“ zu erwarten ist. Messungen an Brückenbauwerken, die zwischen 2000 und 2020 erstellt wurden, weisen eher darauf hin, dass die Streuung in den Festbetoneigenschaften, wie z. B. Gesamtporosität, eher zu- als abnehmen.

Auch hier kann eine Tiefenhydrophobierung ein technischer Ansatz sein, um bezüglich der Wasser- und Schadstoffaufnahme die Inhomogenität realer Bauteile zu minimieren. Unabhängig von den lokal vielleicht stark variierenden Werten für die Wasseraufnahme werden nach der Applikation einer Tiefenhydrophobierung diese Unterschiede mehr oder minder egalisiert. Neben der technischen Verbesserung der Dauerhaftigkeit lässt sich für den Bauherrn durch diese präventive Maßnahme auch die Planungssicherheit über die geplante Lebensdauer des Infrastrukturbauwerks signifikant verbessern.

4.4 Exposition der Flächen und die sich daraus ableitenden Anforderungen an die Tiefenhydrophobierung

Wie bereits gezeigt, spielen bei der Planung einer Tiefenhydrophobierung verschiedene Faktoren eine Rolle. Besonders zu beachten ist die Art und Weise, wie die Betonoberflächen unter realen Bedingungen den werkstoffaggressiven chemischen Verbindungen, die in der Baupraxis üblicherweise in Form wässriger Lösungen auftreten, ausgesetzt sind.

So macht es einen deutlichen Unterschied in der Salzmenge, ob die Pfeiler einer Brücke dem Meerwasser ausgesetzt sind oder ob es sich um Tausalzlösungen handelt, die im Winterbetrieb als Spritzwasser oder Sprühnebel temporär auf die Bauwerke einwirken. Auch die zeitliche Dauer der Einwirkung, beispielsweise durch das tidebedingte Ansteigen und Abfallen des Meerwasserspiegels oder durch Stürme, kann die Kontaktzeit zwischen chloridhaltigem Wasser und Bauwerksoberfläche bestimmen. Gibt es zwischen der Bauwerksbeaufschlagung längere Trocknungszeiten, kann der dominierende Transportprozess von Diffusion zum kapillaren Transport wechseln, was in Bezug auf die Leistungsfähigkeit der Transportprozesse einen sehr deutlichen Unterschied macht. Diese Liste ließe sich noch verlängern, was es nachvollziehbar macht, dass für jedes zu hydrophobierende Bauwerk diese Belastungssituation als Teil der Planung genau analysiert werden muss.

Daraus leiten sich auch Größen ab, welche für die Planung der hydrophobierenden Maßnahme relevant sind. Bisher wurden bereits die Begriffe „Eindringtiefe“, „Wirkstoff-

gehalten in der Werkstoffrandzone“ oder „Wirkstoffprofil“ eingeführt, welche für die qualitative Beschreibung einer Tiefenhydrophobierung definiert wurden.

Für eine Planung sind aber quantitative und messtechnisch überprüfbare Größen erforderlich. Bereits seit vielen Jahren wird in der Praxis dazu die Größe „wirksame Eindringtiefe“ verwendet. Darunter versteht man den Abstand von der Oberfläche, bei dem durch die Wirkung der Tiefenhydrophobierung die Wasseraufnahme um $\geq 90\%$ reduziert wird, verglichen mit der Wasseraufnahme des unbehandelten Betons. Die Vorgehensweise zur Bestimmung dieser Größe wird im nächsten Abschnitt vorgestellt. Neuerdings wird in Ausschreibungen der öffentlichen Hand auch ein Wert für den „Chlorideindringwiderstand“ festgelegt, der durch die Betonauswahl und/oder durch die Anwendung einer Tiefenhydrophobierung sichergestellt werden soll. Bezüglich der „wirksamen Eindringtiefe“ lassen sich verschiedene Belastungsfälle unterscheiden.

Sind die Bauwerke nur temporär werkstoffaggressiven Wässern ausgesetzt, beispielsweise durch den gelegentlichen Tausalzeinsatz auf Gehwegen oder Parkflächen bzw. bei der Einwirkung tausalzhaltiger Sprühnebel bei Brückenlagern, die mehr als 10 Meter vom Fahrweg entfernt sind, kann von einer **geringfügigen Einwirkung** sprechen. In diesem Fall genügt eine „wirksame Eindringtiefe“ von **ca. 2 mm**, um langfristig das Bauteil vor Korrosion zu schützen. Diese Werte lassen sich mit niedrigviskosen, organischen Systemen mit 100% Wirkstoffgehalt realisieren, wobei das Hydrophobierungsmittel zweimal auf die zu behandelnde Oberfläche appliziert wird.

Bei Betonpfeilern in Tiefgaragen oder Parkdecks, bei Widerlagern mit einem Abstand von mehr als 5 m vom Fahrweg oder Tunnelabschnitten, deren Abstand vom Portal mehr als 400 m beträgt, kann man von **erhöhten Einwirkungen** ausgehen. Für diesen Fall sollte die „wirksame Eindringtiefe“ **zwischen 2 und 4 mm** liegen. Mit hochviskosen, wässrigen Hydrophobierungsmitteln („Creme“) und einer Applikationsmenge von ca. 350-450 g/m² können diese Werte erreicht werden.

Von einer **starken Einwirkung** betonaggressiver Wässer kann bei Hafenanlagen oder offshore-Bauwerken ausgehen. Zu dieser Kategorie gehören aber auch Mittelpfeiler oder Kappen von Brückenbauwerken, die chloridhaltigem Spritzwasser ausgesetzt sind. Für „wirksame Eindringtiefen“ von **4 bis 6 mm** sind organische, hochviskose Hydrophobierungsmittel („Gel“) einzusetzen, die mit 500 -750 g/m² auf die Betonoberfläche aufgetragen werden.

4.5 Anforderungen an den Untergrund

In Abschnitt 4.2 wurde bereits auf den starken Einfluss des Feuchtegehalts in der Betonrandzone eingegangen. Das hat naturgemäß direkte Folgen für die Untergrundvorbereitung bei einer Tiefenhydrophobierung. Sowohl beim Neubau als auch bei Bestandsbauwerken sollte auf eine Reinigung mit Wasser (z.B. Dampfstrahlen) mög-

lichst vermieden werden. In vielen Fällen ist ein trockenes Abbürsten der Oberfläche ausreichend. Ist die Oberfläche stark verunreinigt, beispielsweise durch Fette oder Öle, und damit eine Reinigung mit Wasser und/oder Reinigungsmitteln unvermeidbar, ist eine ausreichend lange Trocknungsdauer vorzusehen. Auch hier bietet sich wieder das Anlegen einer Probestfläche an, um die Zugänglichkeit der Werkstoffrandzone für das Hydrophobierungsmittel beurteilen zu können.

4.6 Qualitätskontrolle

Durch eine Qualitätskontrolle soll festgestellt werden, ob die in der Praxis erreichten Werte für die „wirksame Eindringtiefe“ mit den Vorgaben der Planung übereinstimmen. Für die Bestimmung dieser Größe ist zunächst ein Wirkstoffprofil, d.h. der Wirkstoffgehalt als Funktion des Abstandes von der Werkstoffoberfläche und ein Saugprofil, d.h. die Wasseraufnahme als Funktion des Abstandes von der Werkstoffoberfläche. Die Vorgehensweise zur Ermittlung dieser Profile soll im Folgenden näher beschrieben werden.

Probenentnahme

Für die Qualitätskontrolle werden vor der Hydrophobierung drei Bohrkerne aus der zu hydrophobierenden Betonfläche entnommen. Diese dienen als Referenzproben, was die Wasseraufnahme betrifft.

Nach Ablauf von 14 Tagen werden aus der hydrophobierten Fläche 5 Bohrkerne entnommen, wobei drei Bohrkerne für die Bestimmung des Saugprofils, ein Kern für die Ermittlung des Wirkstoffprofils und der letzte Kern als Reserve vorgesehen sind.

Saugprofil

Nach der Bohrkernentnahme werden diese zunächst vermessen, um anschließend die Seitenfläche der Zylinder mit einem Epoxidharz zu beschichten. Auf diese Weise soll ein einaxialer Wassertransport über die hydrophobierte Betonoberfläche sichergestellt werden. Danach wird die beschichtete Probe gewogen (Nullwert), bevor die beschichteten Zylinder in ein Wasserbad gestellt werden. Bei der Durchführung des Saugversuches darf der Wasserspiegel nur 1-2 mm höher sein, als die Unterkante des Bohrkerns. Den Saugversuch führt man über 24 Stunden durch und bestimmt nach Ablauf dieser Zeit durch erneute Wägung die Gewichtszunahme. Aus dem Gewichtsvergleich lässt sich die Wasseraufnahme durch Probe ermitteln. Mit Hilfe des sogenannten Wurzel-t-Gesetzes lässt sich dann der Wasseraufnahmekoeffizient A berechnen.

$$\frac{\Delta m}{F} = A \cdot \sqrt{t} \quad (1)$$

mit m = Gewichts-differenz in kg, F= Saugfläche in m², t in h, A in kg/m²√h

Nach dieser ersten Messung wird mit Hilfe einer modifizierten Fräsmaschine, beginnend von der hydrophobierten Oberfläche, eine 1 mm dicke Schicht „abgeschliffen“. Anschließend wird die Probe im Klimaschrank rekonditioniert, d.h. der Feuchtegehalt wieder auf den Wert eingestellt, der bei der Durchführung des Null-Versuches im Betoninneren herrschte.

Dieses Prozedere wird solange wiederholt, bis die Wasseraufnahme der hydrophobierten Proben dem Wert entspricht, der für die unbehandelten Referenzproben bestimmt wurde. Trägt man die Werte als Funktion des Abstandes von der Oberfläche auf, erhält man das Saugprofil.

Wirkstoffprofil

Für die Bestimmung des Wirkstoffprofils wird die Betonprobe ebenfalls in 1mm-Schritten abgefräst, wobei das dabei anfallende Pulver aufgefangen wird. Mit Hilfe einer Methode der Hochleistungsanalytik kann in diesen Proben der Wirkstoffgehalt, d.h. der Polysiloxangehalt in mg/g Beton bestimmt werden. Trägt man diese Werte als Funktion des Abstandes von der hydrophobierten Fläche auf, erhält man das Wirkstoffprofil.

Bestimmung der „wirksamen Eindringtiefe“ und des „minimalen Wirkstoffgehaltes“

In Ohne Vorversuche müssen bei der Qualitätskontrolle Saugprofile aufgenommen werden, um die „wirksame Eindringtiefe“ zu bestimmen. Auf den ersten Blick scheint das in allen Fällen der bessere Weg zu sein. Tatsächlich ist die Aufnahme der Saugprofile aber sehr zeitintensiv, was die Feststellung, dass die Tiefenhydrophobierung korrekt ausgeführt würde, um Wochen bis Monate verzögert. Im Gegensatz dazu können Wirkstoffprofile innerhalb von 24-48 Stunden mit der notwendigen Genauigkeit ermittelt werden. ist sowohl ein Saugprofil (linke Seite) als auch das dazu korrespondierende Wirkstoffprofil (rechte Seite) dargestellt. Für die Laborversuche wurde ein Beton mit W/Z-Wert 0.4 verwendet der mit verschiedenen Silantypen behandelt wurden.

Beim Saugprofil repräsentiert die blaue Kurve die unbehandelte Probe, während die grüne, pinkfarbene und rote Kurve die Saugprofile hydrophobierter Betone. Bis zum Abstand von 9 mm beträgt die Reduktion der Wasseraufnahme ca. 90%, verglichen mit der unbehandelten Referenzprobe. Ab 9 mm ist ein Anstieg der Wasseraufnahme zu beobachten, die je nach Silantyp nach 10 mm (Propyltriethoxysilan), 14 mm (Octyltriethoxysilan) oder 16 mm (Butyltriethoxysilan) dem Wert des unbehandelten Betons entspricht. Der Punkt, an dem der Kurvenanstieg beginnt, wird als die „wirksame Eindringtiefe“ definiert. In der rechten Abbildung sieht man typische Kurvenverläufe für Wirkstoffprofile. Ermittelt man für den Wert der „wirksamen Eindringtiefe“ den korrespondierenden Wirkstoffgehalt, kann man den Wert für den „minimalen Wirkstoffgehalt“ ermitteln. Diese Menge an Polysilo-

xan ist notwendig, um die Wasseraufnahme praktisch zu unterdrücken.

Hat man beide Werte in Vorversuchen am Objekt bestimmt, kann die Qualitätskontrolle auf die Bestimmung der Wirkstoffprofile reduziert werden. Bei dem Oberflächenabstand, bei dem der ermittelte „minimale Wirkstoffgehalt“ noch vorliegt, kann man von einer wirksamen Tiefenhydrophobierung ausgehen.

Ohne Vorversuche müssen bei der Qualitätskontrolle Saugprofile aufgenommen werden, um die „wirksame Eindringtiefe“ zu bestimmen. Auf den ersten Blick scheint das in allen Fällen der bessere Weg zu sein. Tatsächlich ist die Aufnahme der Saugprofile aber sehr zeitintensiv, was die Feststellung, dass die Tiefenhydrophobierung korrekt ausgeführt würde, um Wochen bis Monate verzögert. Im Gegensatz dazu können Wirkstoffprofile innerhalb von 24-48 Stunden mit der notwendigen Genauigkeit ermittelt werden.

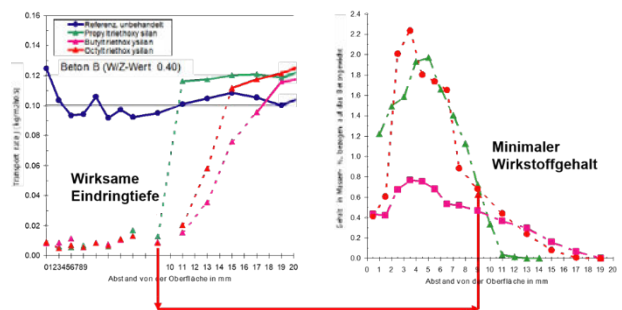


Abbildung 6: Experimentell bestimmte Saug- und Wirkstoffprofile für verschiedene Silane, appliziert auf einen Beton, hergestellt mit W/Z-wert 0.45

4.7 Arbeits- und Umweltschutz

Bei Hydrophobierungsmitteln handelt es sich um eine „chemische Zubereitung“ verschiedener Ausgangsstoffe, wobei das ausgewählte Silan naturgemäß die Produkteigenschaften am stärksten beeinflusst. Daraus resultieren Anforderungen an den Arbeits- und Umweltschutz, die unbedingt zu beachten sind. Als Informationsquelle stehen neben dem Technischen Merkblatt auch das Sicherheitsdatenblatt (SDS) zur Verfügung. In letzterem finden sich vor allem Daten in Bezug auf die chemisch-physikalischen Eigenschaften des Produktes, vorgeschriebene Sicherheitsmaßnahmen bei der Ausführung oder Vorgaben zur umweltgerechten Entsorgung von Restmengen.

4.8 Technische Umsetzung einer Tiefenhydrophobierung

In der Abbildung 7 sind die typischen Schritte einer Tiefenhydrophobierung unter praktischen Bedingungen dargestellt. Im ersten Schritt werden bei neuen Bauwerken Probeflächen angelegt, um Typ und Menge an Hydrophobierungsmittel festzulegen, die für das Erreichen einer

bestimmten „wirksamen Eindringtiefe“ geeignet bzw. erforderlich sind (Abbildung 7, Schritt 1).

Vor Beginn der Maßnahme wird das zu hydrophobierende Bauteil mit Kunststofffolien oder Planen eingehaust. Dadurch soll ein unkontrolliertes Verfrachten von Hydrophobierungsmittel verhindert werden, was sowohl die vorbeifahrenden Fahrzeuge als auch die Straßenoberfläche verunreinigen kann. Beides stellt eine direkte Gefahr für die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer dar (Abbildung 7, Schritt 2).

Hydrophobierungsmittel werden üblicherweise mit dem Airless-Verfahren auf die Werkstoffoberfläche aufgetragen, wobei das sowohl für niedrigviskose als auch hochviskose Produkte gilt. Die applizierte Menge beträgt dabei je nach Silantyp zwischen 400-750 g/m² (Abbildung 7, Schritt 3).

Nach einer 14tägigen Reaktionszeit werden erneut Probekörper aus dem hydrophobierten Betonbauteil entnommen, um durch die Qualitätskontrolle die in der Planung fixierten Werte zu überprüfen (Abbildung 8, Schritt 4)



Schritt 1: Zustandsanalyse und/oder Anlegen von Probenflöchen



Schritt 2: Schutz der vorbeifahrenden Autos und Verkehrsflöchen



Schritt 3: Applikation des Hydrophobierungsmittels im Airless-Verfahren



Schritt 4: Entnahme von Bohrkernen für die Qualitätskontrolle

Abbildung 7: Durchföhrung einer Tiefenhydrophobierung an einem neuerstellten Bröckenbauwerk

5. Case Study: Bröckenbauwerke in Bayern

5.1 Untersuchter Bröckenbestand

Im Jahre 2004/2005 wurde durch die Autobahndirektion Bayern-Süd eine Studie in Auftrag gegeben, in der die Wirksamkeit einer Tiefenhydrophobierung als „Chloridsperre“ an Bestandsbröcken und neuerstellten Bröcken untersucht werden sollte. Nach der Zustandsanalyse von 19 Autobahnbröcken, die Teil der Bundesfernstraßen A7, A8, A96, A99 und A 980 waren, sollten diese tiefenhydrophobiert werden. An diesen Arbeiten war die Hochschule Karlsruhe und die Firmen Wacker AG, StoCretec GmbH, Konstruktionsgruppe Bauen Kempten GmbH und Aquastahl GmbH beteiligt

Im Jahre 2018/2019 wurden aus diesem Bröckenportfolio neun Bröcken erneut beprobt, um Aussagen zur Wirksamkeit der Tiefenhydrophobierung zu erhalten. Als Maßstab für die „Performance“ dieser Oberflöchen-schutzmaßnahme wurde das Chloridprofil, bestimmt in 2003, mit dem Chloridprofil, ermittelt in 2018/2019, ver-

glichen. Dazu wurden, analog zu 2004/05, 2 vertikale Messlinien je Bauwerk bzw. Brückenpfeiler festgelegt. Auf diesen Achsen wurden Bohrkern in einer Höhe von 0,3 m, 1,3 m und 2,3 m entnommen. An diesen Brückenpfeilern wurde erneut die Bewehrungsüberdeckung ermittelt, die Carbonatisierungstiefe bestimmt, ein Saugprofil aufgestellt und die Chloridprofile aufgenommen. Durch die ersten Messungen sollte der Bauwerkszustand überprüft, mit den beiden letzten Messungen die Wirksamkeit der Tiefenhydrophobierung ermittelt werden. Im Folgenden werden ausgewählte Ergebnisse dieser Untersuchungen vorgestellt.

5.2 Ergebnisse an Bestandbauwerken

5.2.1 Brückenbauwerk A7 BW 108-1

In die

sind für das oben genannte Brückenbauwerk die Chloridprofile, ermittelt im Jahre 2004 (orange) bzw. im Jahre 2018, eingetragen. Der Vergleich der Chloridprofile zeigt, dass über einen Zeitraum von ca. 15 Jahren sich sowohl die Chlorideindringtiefe als auch die gesamte Chloridmenge in der Betonrandzone nicht signifikant erhöht haben. Auch nach 15 Jahren liegt der Chloridgehalt, bezogen auf das Zementgewicht, deutlich unter dem Wert, der üblicherweise als korrosionsauslösend gilt (Richartz-Kriterium). Voraussetzung dafür war aber eine wirksame Eindringtiefe von 4 mm. Auch konnte festgestellt werden, dass die Tiefenhydrophobierung noch unverändert wirksam ist.

Auch die Carbonatisierung hat sich über 15 Jahre nur um 2 mm erhöht. Die oft formulierte Aussage, dass eine Hydrophobierung die Carbonatisierungsgeschwindigkeit beschleunigt, zeigt sich hier, wie bei den anderen Brückenbauwerken, nicht.

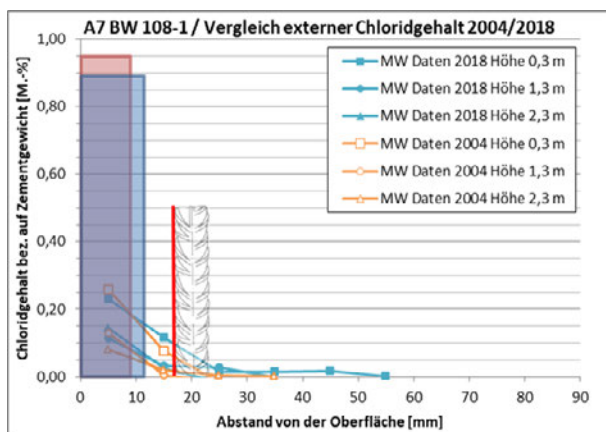


Abbildung 8: Brückenbauwerk A7 BW 108-1 – Vergleich des Chloridgehaltes 2004/2018

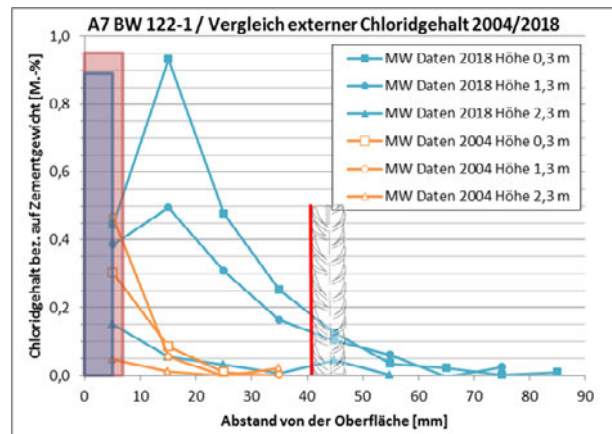


Abbildung 9: Brückenbauwerk A7 BW 122-1 – Vergleich des Chloridgehaltes 2004/2018

5.2.2 Brückenbauwerk A7 BW 122-1

Beim Brückenbauwerk A7 BW 122-1 hat die Tiefenhydrophobierung nicht den erwünschten Effekt gezeigt. Während im Jahre 2004 die Chloride nur im Bereich von 0-15 mm einen nennenswerten Gehalt aufweisen, hat sich im Verlauf der nächsten 15 Jahre das Bild deutlich verändert. Im Bereich von 0-15 mm wurden Maximalwerte zwischen 0,5-1,0 Massen-%, bezogen auf das Zementgewicht bestimmt. Auch direkt an der Bewehrung hat der Chloridgehalt Werte von 0,2-0,4 Massen-% erreicht (Abbildung 9: Brückenbauwerk A7 BW 122-1 – Vergleich des Chloridgehaltes 2004/2018). Die Überprüfung der Tiefenhydrophobierung zeigte, dass diese deutlich an Wirksamkeit verloren hatte, was mit einer geringen Eindringtiefe und Wirkstoffgehalt in Verbindung gebracht werden konnte. Die Ergebnisse bestätigen die Feststellung, dass für eine wirksame und dauerhafte Tiefenhydrophobierung eine hohe „wirksame Eindringtiefe“ die entscheidende Voraussetzung ist. Beim Carbonatisierungsfortschritt ist keine ungewöhnliche Zunahme zu verzeichnen.

5.2.3 Brückenbauwerk A99 BW 0/5

Im Rahmen der westlichen Erweiterung der Bundesautobahn 99, Westumfahrung München zwischen dem Autobahndreieck München Süd-West und dem Autobahnkreuz München West, wurden die Mittelpfeiler von 6 Brückenbauwerken nach Fertigstellung und vor der ersten Verkehrsfreigabe im Zeitraum September bis November 2005 hydrophobiert. Bei der Tiefenhydrophobierung des Bauwerks A99 BW0/5 wurde bis auf eine kleine „Referenzfläche“ der gesamte Mittelpfeiler tiefenhydrophobiert. Die Bohrkern, die aus der ausgesparten Fläche entnommen wurden, sind in der Abbildung 10: Brückenbauwerk A99 BW 0/5 – Bohrkernentnahmestellen (oben) und Aussparung der Tiefenhydrophobierung bei der Applikation (unten) oben, durch die blauen Kreise gekennzeichnet. Die roten Kreise stehen für die Probenent-

nahmeorte, die für die hydrophobierte Fläche festgelegt worden. In der Abbildung 10: Brückenbauwerk A99 BW 0/5 – Bohrkernentnahmestellen (oben) und Aussparung der Tiefenhydrophobierung bei der Applikation (unten) unten, ist in der Mitte des Brückenpfeilers die Abkantung mit einer Folie zu erkennen, welche die Applikation und Aufnahme des Hydrophobierungsmittels verhinderte. In Abbildung 11: Brückenbauwerk A99 BW 0/5 – Vergleich der Chloridprofile sind die Chloridprofile, bestimmt für hydrophobierte (rot) bzw. unbehandelte Flächen (blau), eingetragen. Die Wirksamkeit der Tiefenhydrophobierung sich direkt aus dem Vergleich der Chlorideindringtiefe und der gesamten Menge an Chlorid in der Betonrandzone ableiten. Bezüglich der Carbonatisierung lässt sich auch bei diesem Brückenbauwerk keine signifikanten Unterschiede zwischen hydrophobierten und unbehandelten Flächen feststellen.

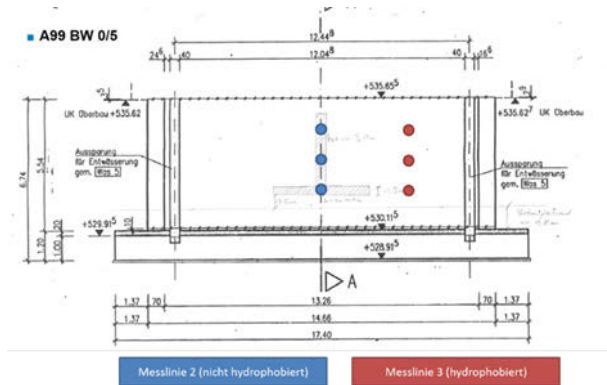


Abbildung 10: Brückenbauwerk A99 BW 0/5 – Bohrkernentnahmestellen (oben) und Aussparung der Tiefenhydrophobierung bei der Applikation (unten)

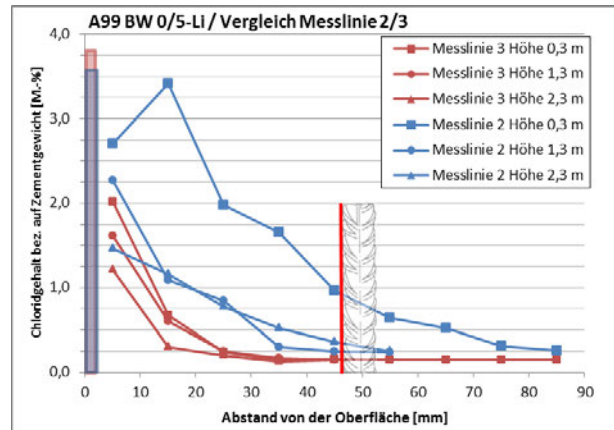


Abbildung 11: Brückenbauwerk A99 BW 0/5 – Vergleich der Chloridprofile

Zusammenfassend ist durch die Durchführung der Studie an den Brückenbauwerken der A7, A8, A96, A99 und A 980 festzustellen, dass die Wirksamkeit einer Tiefenhydrophobierung, vorausgesetzt eine ausreichende „wirksame Eindringtiefe“ wurde erreicht, nachgewiesen ist. Ein signifikanter Einfluss auf die Carbonatisierungsgeschwindigkeit konnte nicht nachgewiesen werden.

6. Ökonomische Aspekte einer Tiefenhydrophobierung

6.1 Lebenszykluskosten in Abhängigkeit von Baustoffen und Bauweisen

Trotz veränderter Ausschreibungs- und Vergaberichtlinien stehen bei der öffentlichen Hand bei Entscheidungen immer noch die Erstellungskosten im Vordergrund. Nachhaltigkeitsziele und damit auch die Lebenszykluskosten finden erst in Ausnahmefällen ihre angemessene Berücksichtigung. Das gilt insbesondere für Infrastrukturbauwerke, weil für diesen Bereich auch noch entsprechende Modelle zur Berechnung der Lebenszykluskosten fehlen. Eine Ausnahme bilden neue Ansätze, die für Straßentunnel entwickelt wurden.

Bei einem dieser Ansätze werden in einem Gesamtmodell alle Kostenarten zusammengefasst. Davon ausgehend können auch einzelne Bauteile oder das gesamte Bauwerk bewertet, aber auch verschiedene Varianten miteinander verglichen werden. Nach Ansicht der Autoren ist die Methodik auch auf andere Infrastrukturbauwerke anwendbar, wozu auch Brückenbauwerke zu zählen sind.

Praktisch wird der Lebenszyklus eines Infrastrukturbauwerks in objektspezifische Phasen eingeteilt, den wiederum bestimmte Prozesse zugeordnet werden können. Die Abbildung 12: Darstellung relevanter Prozesse in Anlehnung an die ASB-ING (2013) zeigt diesen Zusammenhang schematisch. Danach lassen sich die folgenden Schritte unterscheiden:

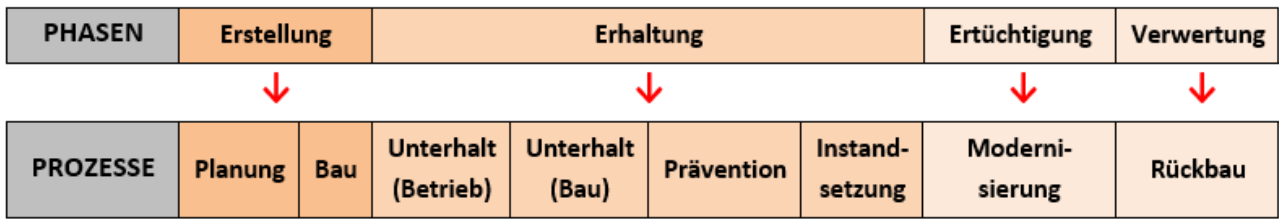


Abbildung 12: Darstellung relevanter Prozesse in Anlehnung an die ASB-ING (2013)

Erstellung

In der Planungsphase werden alle Daten erfasst, die zur Ausführung des eigentlichen Bauwerks erforderlich sind. Die damit verbundenen Kosten gehören zu den Initialkosten. Während der Erstellung wird die Planung umgesetzt, wobei auch während des Baus unerwartete Planungsänderungen erheblich zu den Baukosten beitragen. Einen eher kleinen Anteil haben dabei die Werkstoffkosten, obwohl sie bei eingeschränkter Funktion oder einer nicht ausreichenden Dauerhaftigkeit einen erheblichen Anteil zum Erhaltungsaufwand beitragen.

Erhaltung

Während der Nutzungsphase steht die Erhaltung im Vordergrund, wobei zwischen verschiedenen Beiträgen unterschieden werden muss. Planmäßig sind Unterhaltmaßnahmen auszuführen, wobei zwischen Konstruktion (Bau) und Betriebsanlagen (Betrieb) zu differenzieren ist. Diese unterscheiden sich aber nicht nur durch die Kosten, sondern auch durch den notwendigen zeitlichen Aufwand bzw. die ihre Häufigkeit. Unter Prävention sind die technischen Maßnahmen zu verstehen, mit deren Hilfe eine Instandsetzung zu vermeiden ist. Die Kosten dafür betragen ca. 10% der Aufwendungen, die eine Instandsetzung mit sich bringt. Eine Instandsetzung ist ungeplant, erfolgt daher in vielen Fällen unter Betrieb und ist dementsprechend kostenintensiv. Alle zeitlich vorgelagerten Maßnahmen sind daher so vorzusehen, dass eine Instandsetzung sicher vermieden wird. Gelingt dies nicht, kann betrachtet dessen summierter finanzieller Beitrag zu den Lebenszykluskosten über den gesamten Lebenszyklus um ein Mehrfaches höher liegen als die Kosten, die sich aus Planung, Bau und Unterhalt zusammensetzen.

Rückbau

Beim Rückbau hat das Recycling eingesetzter Werkstoffe bzw. die Wiederverwendung von Bauteilen bereits heute, in Zukunft aber noch viel mehr, einen relativ hohen Beitrag zu den Lebenszykluskosten. Dem wird dadurch Rechnung getragen, dass heute bereits in der Planung die Recyclingfähigkeit der vorgesehenen Werkstoffe bewertet wird.

Für die Berechnung der Lebenszykluskosten für Infrastrukturbawerke, wie z.B. einem Brückenbauwerk, ist der nachfolgende strukturierte Ablauf vorgesehen.

Ermittlung der Ausgangslage durch die Definition des Untersuchungsrahmens. Im vorliegenden Fall stimmt dieser mit dem Bilanzierungsraum für die Ökobilanz überein.

In Abhängigkeit von der gewählten Bauweise erfolgt die funktionelle Definition von Bauteilen (Funktionsmodule) und der technischen Ausrüstung, die für den Bäderbetrieb erforderlich sind.

- Entwicklung von Nutzungsszenarien in Abhängigkeit von der gewählten Bauweise unter Berücksichtigung spezifischer Einflussfaktoren für die instandsetzungsfreie Nutzungsdauer.
- Kostenermittlung für die einzelnen Nutzungsszenarien, wobei der „Performance“ und Dauerhaftigkeit der Werkstoffe besonders Rechnung getragen werden soll.
- Überführung der szenarioabhängigen Kosten in eine Kostenmatrix.
- Berechnung der Lebenszykluskosten in Abhängigkeit vom gewählten Szenario mittels Kapitalwertmethode.

Vergleich der Bauweisen in Hinsicht auf die Lebenszykluskosten und weiteren Optimierungsmöglichkeiten.

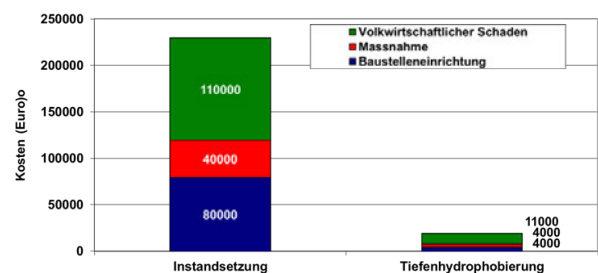


Abbildung 13: Betrachtungen zu den Investitionen für eine Instandsetzung bzw. einer Tiefenhydrophobierung

6.2 Betrachtungen zu den Kosten einer Tiefenhydrophobierung im Vergleich zu einer Instandsetzung

Die oben beschriebene Vorgehensweise zur Berechnung der Lebenszykluskosten eines Infrastrukturbawerks (z.B. Brücke, Tunnel) die in einem Fall durch präventive Maßnahmen instandsetzungsfrei über die geplante Nutzungsdauer von 100 Jahren Tiefenhydrophobierung

genutzt werden konnte und in dem anderen Fall instandgesetzt werden muss, ist derzeit Gegenstand einer Studie. Die Ergebnisse liegen somit noch nicht vor.

Ersatzweise sollen die Daten für das Investment bei einer Instandsetzung mit den Kosten einer Tiefenhydrophobierung verglichen werden. Der Vergleich basiert auf Daten, die durch die Autobahndirektion Bayern-Süd zur Verfügung gestellt wurden. Diese Kalkulationen sind in Abbildung 13: Betrachtungen zu den Investitionen für eine Instandsetzung bzw. einer Tiefenhydrophobierung dargestellt. Danach wurden für die ausgewählte Brücke für die Instandsetzung insgesamt 230.000 Euro angesetzt. Im Gegensatz dazu ergibt sich für die Tiefenhydrophobierung ein Betrag von 40.000 Euro.

Nach der Berechnung der Lebenszykluskosten ist für die beiden Maßnahmen mit einem noch größeren Unterschied zu rechnen. Das ist aufgrund der Ergebnisse verschiedener Studien zu erwarten, wonach bei 80% der Bauwerksinstandsetzungen bereits nach 8-10 Jahren erneut Schäden zu beobachten sind. Im Gegensatz dazu gilt die Wirksamkeit einer Tiefenhydrophobierung über einen Zeitraum von 20 Jahren als gesichert.

7. Ökologische Aspekte einer Tiefenhydrophobierung

7.1 Der Begriff Nachhaltigkeit im Bauwesen

Nachhaltiges Bauen ist im Hochbau (z.B. Wohnungsbau, Bürogebäude, Einkaufszentren) besser etabliert als in anderen Bereichen des Bauwesens. Dazu haben u.a. die Bewertungsstandards, entwickelt durch Organisationen wie die Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) oder „Leadership in Energy and Environmental Design“ (LEED) beigetragen. Aber auch die stärkere Positionierung von Handelsmarken (z.B. Sto oder Sto-Cretec) in Bezug auf Nachhaltigkeit haben diese Entwicklung beschleunigt.

Diese Ansätze sind nur bedingt auf die Infrastruktur übertragbar, was auch in deren Vielfältigkeit begründet ist. Grundsätzlich bleiben aber die Ziele für eine nachhaltige Infrastruktur die Gleichen:

- Bewahrung des Ökosystems und Schutz der Umwelt (Ökologie)
- Ausschöpfen der ökonomischen Potenziale (Ökonomie)
- Der Nutzen für Mensch und die gesellschaftliche Entwicklung (soziokulturelle Beiträge)

Bei der klassischen Bewertung der Nachhaltigkeit eines Infrastrukturbauwerks stehen diese drei Faktoren in einer komplexen Interaktion und gelten darüber hinaus als gleichwertig.

7.2 Voraussetzungen für eine nachhaltige Infrastruktur

Dauerhaftigkeit ist eine der wichtigsten Voraussetzungen für ein nachhaltiges Bauwerk. Das gilt insbesondere für Infrastrukturbauwerke, da diese für eine instandsetzungsfreie Nutzungsdauer von 80-120 Jahren geplant und auch gebaut werden. Werden während dieser Nutzung ungeplante Instandsetzungen erforderlich, können der finanzielle Aufwand und die Umweltauswirkungen bis zum Dreifachen höher sein als die Belastungen, die bei der ursprünglichen Bauwerkserstellung entstanden sind.

Die Dauerhaftigkeit hängt wiederum vom Konstruktionstyp, vielmehr aber noch von der Art und den Eigenschaften eingesetzter Werkstoffe ab. Da die tatsächlichen Beanspruchungen für die individuellen Bauwerke objekt- und nutzungsspezifisch sind, müssen diese bereits im Rahmen einer Vorplanung sehr sorgfältig analysiert und bewertet werden. Ungeeignete Werkstoffe würden sonst zu einem frühzeitigen Bauteil- oder Bauwerksversagen führen.

Heute stehen bei der Werkstoffauswahl viel stärker als in der Vergangenheit ökologische Kriterien im Vordergrund, oder anders ausgedrückt, es wird durch Bauherren und Planer bei der Planung und Bauwerkserstellung die Reduzierung des Einsatzes natürlicher Ressourcen angestrebt, z.B. durch Verwendung nachwachsender Rohstoffe oder recycelten Materials. Beschränkt sich diese ökologische Bewertung dabei nur auf die Baustoffherstellung und werden die „Performance“ und Dauerhaftigkeit nicht ausreichend in die Bewertung miteinbezogen, wird in Hinsicht auf Nachhaltigkeit genau das Gegenteil erreicht.

7.3 Vorgehensweise bei der Nachhaltigkeitsbewertung von Infrastruktur

Wie bereits ausgeführt, kann bei der Bewertung von Infrastrukturbauwerken nur eingeschränkt auf die bereits entwickelten Standards (z.B. DGNB, LEED) zurückgegriffen werden. Auf der anderen Seite ist die Komplexität bei Infrastrukturbauwerken deutlich kleiner als bei Hochbauten, dafür stehen technische Lösungen, wie eine Tiefenhydrophobierung, als Voraussetzung für Funktionsfähigkeit und Dauerhaftigkeit viel stärker im Fokus. Daraus leitet sich auch das Vorgehen ab, dass sich für eine erweiterte Nachhaltigkeitsanalyse für Infrastrukturbauwerke anbietet:

- **TECHNIK:** Analyse und Bewertung technischer Lösungen in Bezug auf Funktionsfähigkeit und Dauerhaftigkeit anhand dafür aufzustellender realitätsnaher Szenarien.
- **ÖKOLOGIE:** Erstellung einer Ökobilanzierung über den gesamten Lebenszyklus des Bauwerks mit Hilfe realitätsnaher Szenarien.
- **ÖKONOMIE:** Berechnung von Lebenszykluskosten auf Basis realitätsnaher Szenarien

- **SOZIOKULTURELLE FAKTOREN:** Analyse in Bezug auf die Bedeutung der Infrastruktur für Mensch und Gesellschaft (z.B. Integration, Gesundheit, Lebensqualität oder Sicherheit).

In der Vergangenheit wurden bereits Studien zu einem Teil der obigen Punkte ausgeführt. Die Ergebnisse zu den technisch und ökonomisch orientierten Studien wurden in den vorhergehenden Abschnitten bereits vorgestellt und diskutiert. Nachfolgend werden Ergebnisse von ökologischen Betrachtungen vorgestellt.

7.4 Ökobilanzierung von Baustoffen und Bauweisen

Die Ökobilanzierung von Produkten, Prozessen oder sogar Dienstleistungen ist in vielen wirtschaftlichen Bereichen nicht nur etabliert, sondern das Vorgehen ist in den Normen DIN EN ISO 14040 und DIN EN ISO 14044 geregelt. Nach der Abbildung 14: Schematische Darstellung einer Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040 und DIN EN ISO 14044 [9,10]. lassen danach vier Schritte unterscheiden.

Durch eine Ökobilanz können allgemein Umweltaspekte und/oder potenzielle Umweltwirkungen (z.B. Ressourcennutzung) im Verlauf des Lebensweges eines Produktes von der Rohstoffgewinnung über Produktion, Anwendung, Abfallbehandlung, Recycling bis zur endgültigen Beseitigung untersucht werden. Praktisch werden dazu Software-Pakete, wie Umberto© der Fa. Ifu GmbH, Hamburg, eingesetzt.

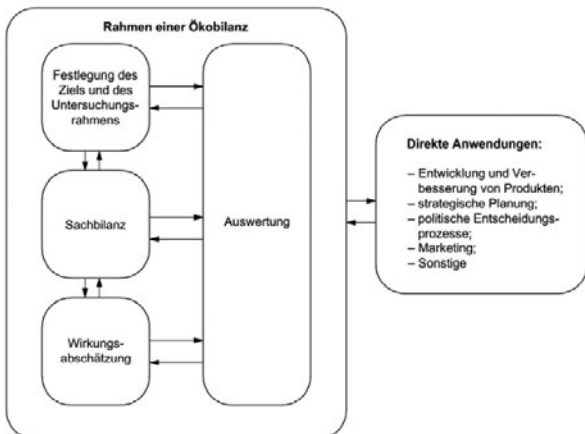


Abbildung 14: Schematische Darstellung einer Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040 und DIN EN ISO 14044 [9,10].

Der erste Schritt bei einer Ökobilanz ist die Festlegung der Ziele, die durch sie erreicht werden sollen. Beim Hochbau ist das typischerweise die Ermittlung des „product carbon footprints“ für vergleichbare Bauprodukte bzw. als Grundlage für Produktverbesserungen, beispielsweise durch Verwendung nachwachsender Rohstoffe.

Für Infrastrukturbauwerke greift das aber zu kurz. Hier muss die Ökobilanz für Baustoffe und/oder Bauweisen über den gesamten Lebenszyklus erfasst werden, was sich auch in der Festlegung der Ziele abbilden muss. Das gilt auch für den nächsten Schritt, die Definition des Untersuchungsrahmens. Für Infrastrukturbauwerke ist dazu neben der räumlichen Ausdehnung des Bilanzobjektes (hier: Brückenpfeiler) auch der Zeitraum (hier: 60-120 Jahren) der Betrachtungen festzulegen. Bezugnehmend auf eine ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft unterteilt man dabei den Lebenszyklus in die Abschnitte Erstellung, Unterhalt, Instandsetzung (fakultativ, wenn notwendig) und Rückbau.

Bei der nachfolgenden Sachbilanz werden in Bezug auf den Untersuchungsrahmen sämtliche Stoff- und Energieströme (Input: z.B. Rohstoffe, Energie, Output: z.B. Abwässer, CO₂) qualitativ und quantitativ erfasst.

Die sich anschließende softwareunterstützte Wirkungsabschätzung soll beispielhaft anhand der Klimagase (CO₂, Methan, NO_x) erläutert werden. Methan ist ca. 25-mal klimawirksamer als Kohlendioxid. Daher werden alle Klimagase zunächst auf die Wirkung des Klimagases CO₂ normiert, um nachfolgend die äquivalente Menge an CO₂ daraus zu berechnen. Mit Hilfe sogenannter Wirkungskategorien ermittelt dann die Software die Auswirkungen dieser Menge an CO₂ auf den Treibhauseffekt. Weitere Wirkungskategorien sind u.a. Versauerungspotenzial für Böden oder die Eutrophierung von Gewässern.



Abbildung 15: Für die Ökobilanzierung einer Instandsetzung und einer Tiefenhydrophobierung betrachtete Brücke der Gotthard-Autobahn

Mit den Ergebnissen der einzelnen Wirkungskategorien werden Produkte, Technologien oder Dienstleistungen in Bezug auf Umweltverträglichkeit verglichen. Unterneh-

men nutzen die Daten für die gezielte Weiterentwicklung von Produkten oder Technologien, Entscheider erhalten dadurch Unterstützung beim Auswahlprozess.

Für eine repräsentative Ökobilanzierung muss daher im Vorfeld ein möglichst realitätsnahes Szenario für den Lebenszyklus entwickelt werden. Entsprechendes gilt für andere Bauweisen, um diese in Bezug auf ihre Nachhaltigkeit miteinander vergleichen zu können.

7.5 Ökobilanzierung einer Tiefenhydrophobierung

Im vorliegenden Fall wurde als Ziel der Vergleich zwischen den ökologischen Auswirkungen einer Instandsetzung und einer Tiefenhydrophobierung definiert.

Als Bilanzrahmen wurde dazu ein Brückenpfeiler ausgewählt, der Teil einer Brücke der Gotthard-Autobahn in der Schweiz ist (Abbildung 15: Für die Ökobilanzierung einer Instandsetzung und einer Tiefenhydrophobierung betrachtete Brücke der Gotthard-Autobahn). Durch Fehler bei der Ausführung der Entwässerung, genauer das Abschneiden der Entwässerungsröhre unterhalb der Brückenunterseite, gelangten Chloride in die Brückenpfeiler. Aufgrund der dadurch induzierten Bewehrungskorrosion war die Instandsetzung der Brückenpfeiler unumgänglich. Vergleichsweise wurde für diese Brückenpfeiler ein Szenario entwickelt, bei dem durch eine Tiefenhydrophobierung als präventive Maßnahme die Bewehrungskorrosion verhindert wurde.

Zusätzliche Einflussfaktoren, die mit der Einschränkung der Brückennutzung verbunden sind (z.B. Staus oder Umleitungen) müssen hier nicht berücksichtigt werden.

In der Abbildung 16: Schematische Darstellung des Bilanzrahmens und der berücksichtigten Energie- und Massenströme für die vergleichenden ökologischen Betrachtungen zu den Auswirkungen einer Instandsetzung und Tiefenhydrophobierung sind die Massen- und Energieströme dargestellt, die für die Ökobilanzierung der Instandsetzungsmaßnahme bzw. für die Tiefenhydrophobierung berücksichtigt wurden. Für die einzelnen Maßnahmen wurden sowohl die Energieströme, wie z.B. beim Abtrag des Überdeckungsbetons (Instandsetzung) oder bei der Herstellung (Tiefenhydrophobierung) erfasst. Typische Massenströme ergeben sich durch die Verwertung des abgetragenen Betons (Instandsetzung) oder der Applikation des Hydrophobierungsmittels (Tiefenhydrophobierung). Nach der Erfassung dieser Daten wurden die Wirkungskategorien mit der verwendeten Software berechnet und gegenübergestellt. Der Übersicht halber sind die Ergebnisse beider Kalkulationen in der Abbildung 17: Vergleichende Darstellung der Ergebnisse einer Ökobilanzierung für eine Instandsetzung und eine Tiefenhydrophobierung. Die Ergebnisse der Instand-

setzung wurden auf 100% gesetzt, die Resultate für die Tiefenhydrophobierung im Verhältnis dazu. eingetragen. Dabei wurden die Ergebnisse für die Instandsetzung in Relation zu den Resultaten für die Tiefenhydrophobierung gesetzt. Praktisch heißt dies, dass die Ergebnisse für die Instandsetzung auf 100% normiert wurde.

Der Vergleich zeigt, dass die Umweltauswirkungen einer Tiefenhydrophobierung deutlich niedriger sind, verglichen mit einer Instandsetzung. Daraus lässt sich auch ein „ökologischer break-even“ ableiten, wonach eine Tiefenhydrophobierung neunmal appliziert werden kann, bevor deren ökologische Auswirkungen mit denen einer Instandsetzung vergleichbar wäre. Bei der Annahme, dass die geplante Lebensdauer der Brücke bei 100 Jahren liegt, wäre aus ökologischer Sicht eine alle drei Jahre ausgeführte Tiefenhydrophobierung immer noch weniger umweltbelastend als die Instandsetzung. Tatsächlich kann aufgrund von Studien und praktischen Erfahrungen davon ausgegangen werden, dass eine Tiefenhydrophobierung ca. 20 Jahre wirksam ist. Danach ist mit geringem Aufwand eine Wiederholung der hydrophobierenden Maßnahme möglich.

Die Ergebnisse zeigen, dass präventive Maßnahmen, wie hier die Tiefenhydrophobierung, erhebliche ökologische Vorteile aufweisen, wenn dadurch eine Instandsetzung vermieden werden kann.

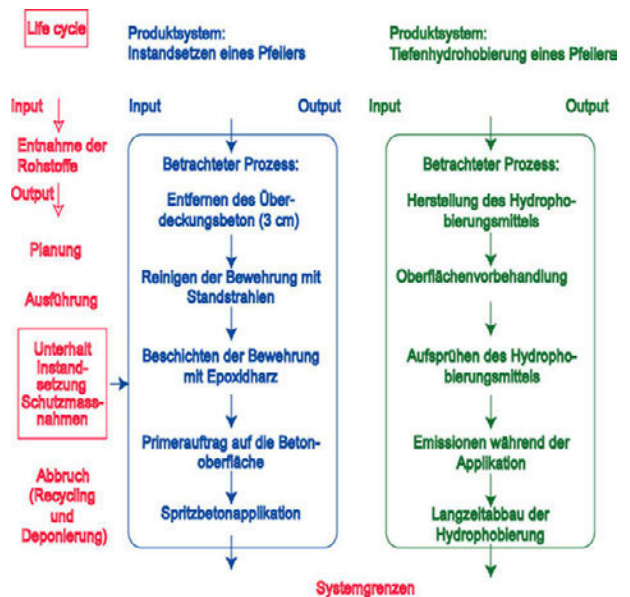


Abbildung 16: Schematische Darstellung des Bilanzrahmens und der berücksichtigten Energie- und Massenströme für die vergleichenden ökologischen Betrachtungen zu den Auswirkungen einer Instandsetzung und Tiefenhydrophobierung

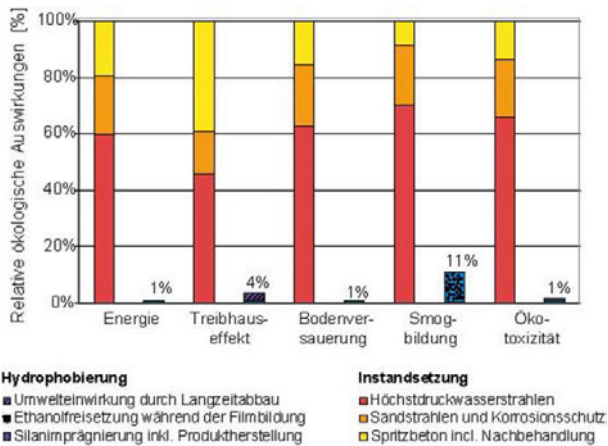


Abbildung 17: Vergleichende Darstellung der Ergebnisse einer Ökobilanzierung für eine Instandsetzung und eine Tiefenhydrophobierung. Die Ergebnisse der Instandsetzung wurden auf 100% gesetzt, die Resultate für die Tiefenhydrophobierung im Verhältnis dazu.

8. Schlussfolgerungen

Aus den obigen Ergebnissen lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

Die Imprägnierung von Baustoffen mit dem Ziel einer reduzierten Wasseraufnahme ist bereits seit Jahrhunderten eine bewährte Maßnahme.

In den vergangenen Jahren wurden erhebliche Forschungsanstrengungen unternommen, um die chemisch-physikalischen Grundlagen einer Tiefenhydrophobierung aufzuklären.

Die Ergebnisse dieser Forschung ist in Planungsvorgaben und Konzepten für die Qualitätssicherung eingeflossen und steht zur Verfügung.

Praxisversuche haben gezeigt, dass eine Tiefenhydrophobierung, die eine ausreichende „wirksame Eindringtiefe aufweist, über einen Zeitraum von mindestens 15 Jahren die Chloridaufnahme drastisch reduziert.

Ökonomische und ökologische Betrachtungen haben gezeigt, dass die Tiefenhydrophobierung im Vergleich zur Instandsetzung eine nachhaltige Maßnahme zur Verlängerung der instandsetzungsfreien Lebensdauer von Bauwerken der Infrastruktur ist.

Literatur

- [1] J. Maier, Handbuch Historisches Mauerwerk – Untersuchungsmethoden und Instandsetzungsverfahren, Verlag Springer Vieweg, 2012
- [2] G. Garbrecht, Die Wasserversorgung des antiken Rom in: Meisterwerke antiker Hydrotechnik. Einblicke in die Wissenschaft: Technik. Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden (1995).
- [3] S. Thirumalini et al. / Journal of Building Engineering 4 (2015)
- [4] A. Gerdes, T. Müller und F.H. Wittmann, Bestimmung der Eindringtiefe von Hydrophobierungsmitteln in Beton durch FT-IR-Spektroskopie, Proc. 3. Int. Kolloquium Werkstoffwissenschaften und Bausanierung, Esslingen, 1992, F.H. Wittmann (ed.), 460-475 (1992)
- [5] A. Gerdes, Zum Transport siliziumorganischer Verbindungen in der Werkstoffrandzone zementgebundener Werkstoffe, Dissertation Nr. 14317, ETH Zürich (2001)
- [6] D.S. Oehmichen, Mechanismen der Hydrophobierung zementgebundener Werkstoffe mit siliciumorganischen Verbindungen, Dissertation, Universität Karlsruhe, Karlsruhe (2008)
- [7] J. Süßmuth, Entwicklung eines Modells der Verteilung und Größe von Siloxan-Oligomeren auf mineralischen Oberflächen: Experimentelle und computerchemische Untersuchungen, Dissertation, KIT, Karlsruhe (2012)
- [8] A. Gerdes und F.H. Wittmann, Bestimmung der Eindringtiefe von Hydrophobierungsmitteln mit Hilfe der FT-IR-Spektroskopie, Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen, 1, 135-152 (1995)
- [9] DIN EN ISO 14040:2009-11: Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen, Beuth-Verlag, Berlin (2009)
- [10] DIN EN ISO 14044:2018-05: Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen, Beuth-Verlag, Berlin (2018)

Optimierte Lebenszykluskosten für chloridexponierte Bauteile von Brücken- und Tunnelbauwerken

Dr.-Ing. Marc Zintel
Swiss Steel

Aktuelle Situation: Brückenbauwerke in Deutschland

Zustandsnoten und Instandsetzungskosten

- ▶ Ca. 40.000 Brückenbauwerke im dt. Bundesfernstraßennetz
- ▶ 87% der Brücken sind Stahl- oder Spannbetonbrücken
- ▶ Zustandsnote $\geq 3,0$: Instandsetzungsmaßnahmen sind in naher Zukunft zu planen!
- ▶ Stand 01.03.2020: 11,6 % der Brücken an Bundesfernstraßen (12,9 % der Brücken an Bundesautobahnen; 8,7% der Brücken an Bundesstraßen)

Erhaltungsbedarfsprognose zur Instandsetzung/Erneuerung von Brücken (ohne Ertüchtigung) im dt. Bundesfernstraßennetz 2016 bis 2030: 655 Mio. € / Jahr ^I
Anteil Betoninstandsetzung liegt bei ca. 25 % → 164 Mio. € / Jahr ^{I,II}

^I G. Maerschalk, G. Krause, K. Hinsch (2017): Erhaltungsbedarfsprognose (BVWP) 2016 – 2030 der Bundesfernstraßen. Schlussbericht des FE-Projekt-Nr. 21.0054/2012 der SEP Maerschalk GmbH, S.91.
^{II} P. Haardt (2009): Schutz und Instandsetzung im Regelungsbereich der ZTV-ING - Brücken an Bundesfernstraßen. Beton, Vol. 59, Issue 12, S. 558-562.

Member of Swiss Steel Group

2



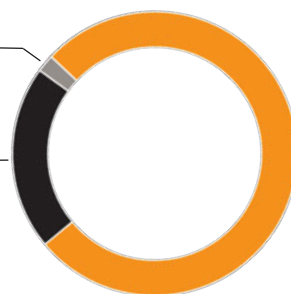
Dauerhaftigkeit von Verkehrsbauwerken

ungenügendes Verpressen von Spanngliedern

2 %

carbonatisierungsinduzierte Korrosion

21 %



Chlorideintrag über Tausalze:

- ▶ Tagesverbrauch bis 100.000 t deutschlandweit möglich ^I
- ▶ Ca. 0,5 t Streusalz je km bei einem Eisregenereignis ^{II}

chloridinduzierte Korrosion
77 %

$\frac{2}{3}$ der Schäden an Straßenbrücken infolge chlorinduzierter Korrosion ^{III}

^I H. Badelt, S. Eimermacher (2013): Sichere Salzversorgung im Winter. In: Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Jahresbericht 2011/2012, Allgemeines Heft A 35, S.60-62.
^{II} K. Zlich (2013): Klimaeinfluss: DAFStB Fachkolloquium „Dauerhaftigkeit von befahrbaren Parkdecks“, 20.03.2013, Berlin.

^{III} W. Breit (2019): Kritischer korrosionsauslösender Chloridgehalt – Grenzwerte, Empfehlungen. 4. Münchner Bausymposium 26. September 2019, Hochschule München.

Member of Swiss Steel Group

3



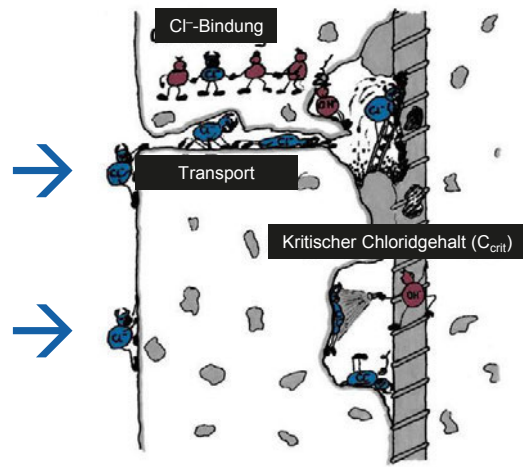
Ursachen der chloridinduzierten Korrosion



Tausalz



Meerwasser

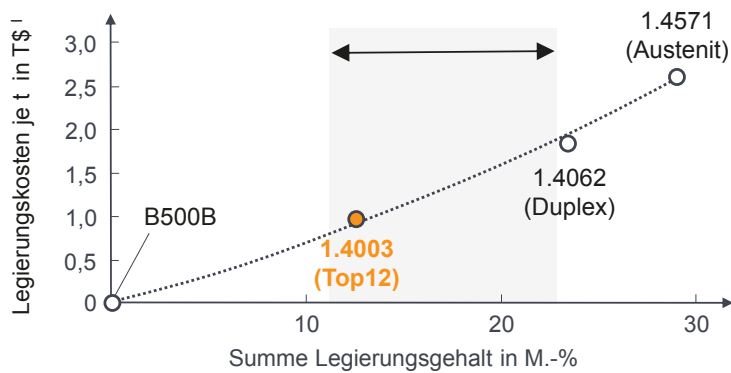


U. Nürnberger: Korrosion und Korrosionsschutz im Bauwesen, 1995.

Alternativer Einsatz von nichtrostenden Betonstählen

Möglichkeit zur Erhöhung des kritischen Chloridgehalts $C_{crit} \gg 0,5 \text{ M.-%/z}$

Nach EN 10088 sind «Nichtrostende Stähle» Eisenlegierungen, die $\geq 10,5 \%$ Chrom und $< 1,2 \%$ Kohlenstoff enthalten.



Stahl	Cr [M.-%]	Ni [M.-%]	Mo [M.-%]	Σ
1.0439 (B500B)	-	-	-	-
1.4003 (Top12)	12,1	0,5	-	13
1.4062 * (Duplex)	21,5	1,0	0,45	23
1.4571 * (Austenit)	16,5	10,5	2,0	29

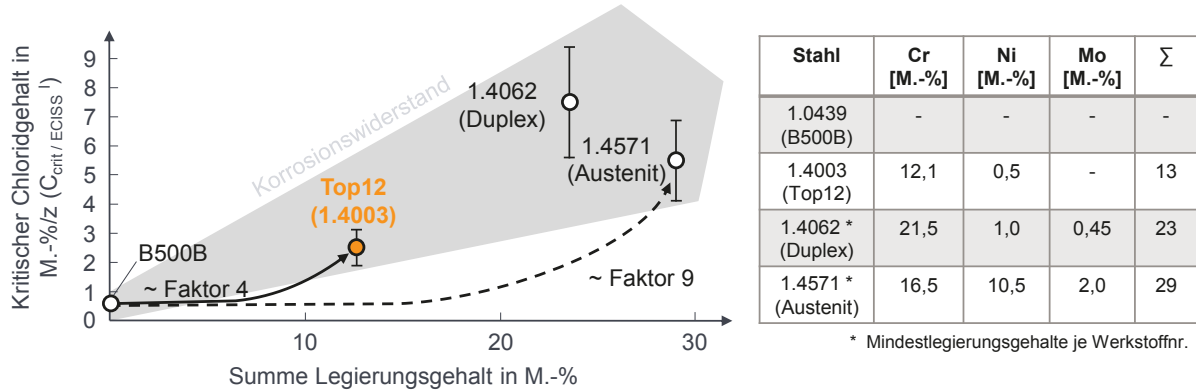
* Mindestlegierungsgehalte je Werkstoffnr.

¹ Statista: Durchschnittspreise ausgewählter mineralischer Rohstoffe bis 2017 (Studie 260427), Jahr 2016 als Basis (Cr, Ni, Mo).

Alternativer Einsatz von nichtrostenden Betonstählen

Möglichkeit zur Erhöhung des kritischen Chloridgehalts $C_{crit} \gg 0,5 \text{ M.-%/z}$

Wieviel Chloridwiderstand (C_{crit}) wird benötigt, damit über die geplante Lebensdauer keine Korrosion initiiert wird???



¹ S. Keßler, E. Ziehensack, C. Gehlen (2019): Test method for the declaration of performance regarding corrosion resistance of stainless steels in concrete. Materials Testing: Vol. 61, No. 5, pp. 459-466.

Member of Swiss Steel Group:

6



Top12 – Allgemein bauaufsichtlich zugelassen

Durchmesser 8 bis 28 mm

Ringmaterial mit D = 8 – 14 mm

Stabmaterial mit D = 16 / 20 / 28 mm

Member of Swiss Steel Group:

7



Top12 – Mechanische Eigenschaften

Merkmal	B500B gemäß DIN 488-1:2009-08	IST-Werte Top12-Draht B500B NR Ø 8 - 14 mm	IST-Werte Top12-Stab B670B NR Ø 16 / 20 / 28 mm
Dehngrenze $R_{p\ 0,02}$ [N/mm ²]	500	> 500	> 670
Verhältnis $R_{e,ist} / R_{e,nenn}$ [%]	< 1,30	< 1,30	< 1,30
Dehnung bei Höchstlast [%]	5,0	> 5,0	> 5,0
Elastizitätsmodul [N/mm ²]	~ 200.000	160.000 (GZT) 175.000 (GZG)	180.000 (GZT) 195.000 (GZG)



Top12 darf nach Zulassung Z-1.4-266 zur Bewehrung von Normalbeton wie Betonstahl B500B gemäß DIN 488 verwendet werden.

Top12 – Neue Möglichkeiten der Betondeckungsreduzierung

Neue Zulassung erlaubt Reduzierung von c_{min} um 10mm bei XD-Exposition

Tabelle 1: Mindestbetondeckung c_{min}^* – Anforderungen an die Dauerhaftigkeit von Betonstahl Top12

Anforderungsklasse	Dauerhaftigkeitsanforderung für c_{min}^* [mm]						
	Expositionsklasse nach Tabelle 4.1						
	(X0)	XC1	XC2 XC3	XC4	XD1 XS1	XD2 XS2	XD3 XS3
S3 → $c_{min,dur}$	(10)	10	20	25	30	35	40
$\Delta c_{dur,\gamma}$	0				+10	+5	0
$\Delta c_{dur,st}$	0	0	-5	-10	-10	-10	-10
c_{min}^*	10	10	15	15	30	30	30



Betondeckungsreduzierung für XC2 – XC4 bereits seit 2016 in Zulassung integriert:
 $c_{nom,min} = 20$ mm

Bei Verwendung von Top12 dürfen zus. Abminderungen von c_{min} gegenüber den Werten in Tabelle 1 ebenso wie bei Betonstahl nach DIN 488 vorgenommen werden.

NEU für XD1 – XD3: $c_{nom,min} = 35$ mm (Standard: 55 mm)

Preise, Lieferprogramm, Kennzeichnung von Top12

TOP12 FACTS

Preise:

ca. 3,35 €/kg bearbeitet ex Stahlhandel

Lieferbare Dimensionen:

- ▶ Draht: 8, 10, 12 und 14 mm.
- ▶ Stab: 16, 20 und 28 mm
- ▶ Andere Dimensionen auf Anfrage.
- ▶ Alle üblichen Figuren

Kennzeichnung:

1. Etikette
2. Walzzeichen
3. Schriftzug „Top12“ aufgewalzt

Josef Fien GmbH
Stahlhandel - Eisenbiegerei



Member of Swiss Steel Group

10



Top12 – Kritischer korrosionsauslösender Chloridgehalt (C_{crit})

Ergebnisse der BAM (Bundesanstalt für Materialprüfung) im ungerissenen Beton



Top12 = 1.4003 mit Chrom > 12 % plus Beizen

- ▶ 2,7 M.-%/z in alkalischem Mörtel
- ▶ 0,9 M.-%/z in karbonatisiertem Mörtel

¹ G. Ebell, A. Burkert (2019): Elektrochemische Untersuchungen zum kritischen Korrosion auslösenden Chloridgehalt in Mörteln. Gutachten des Fachbereichs 7.6 Korrosion und Korrosionsschutz der Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM). Aktenzeichen: 16017800, 20.02.2019.

G. Ebell et al. (2020): Untersuchungen zum korrosionsauslösenden Chloridgehalt an nicht rostendem ferritischem Betonstahl in Mörteln. Bautechnik 97 (2020), Heft 1, S. 21-31, ISSN 0932-8351.

Member of Swiss Steel Group

11



Versuchsfeld Naxbergtunnel (vor Gotthard-Tunnel) ¹

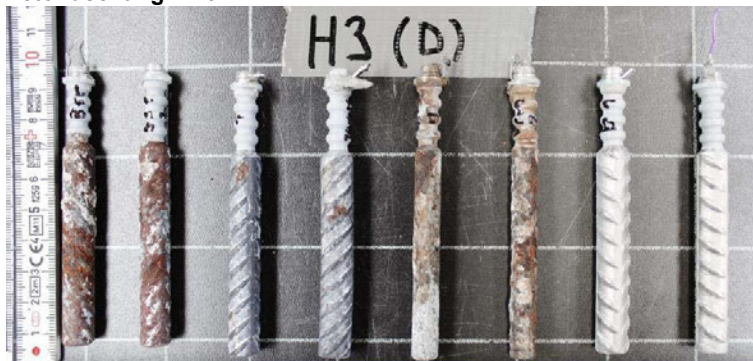


ASTRA-Forschungsprojekt (2000 - 2012):
 Untersuchung des Korrosionsverhaltens unterschiedlicher
 Stahlqualitäten in verschiedenen Betonen unter realen
 Expositionsbedingungen eines Alpenstraßentunnels

¹ Y. Schiegg, F. Hunkeler, D. Keller, H. Ungricht (2017): Massnahmen zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit – Fortsetzung des Feldversuchs Naxbergtunnel, Band 683, Bundesamt für Strassen (ASTRA).

Naxbergtunnel – Ergebnisse nach 12 Jahren Realbelastung ¹

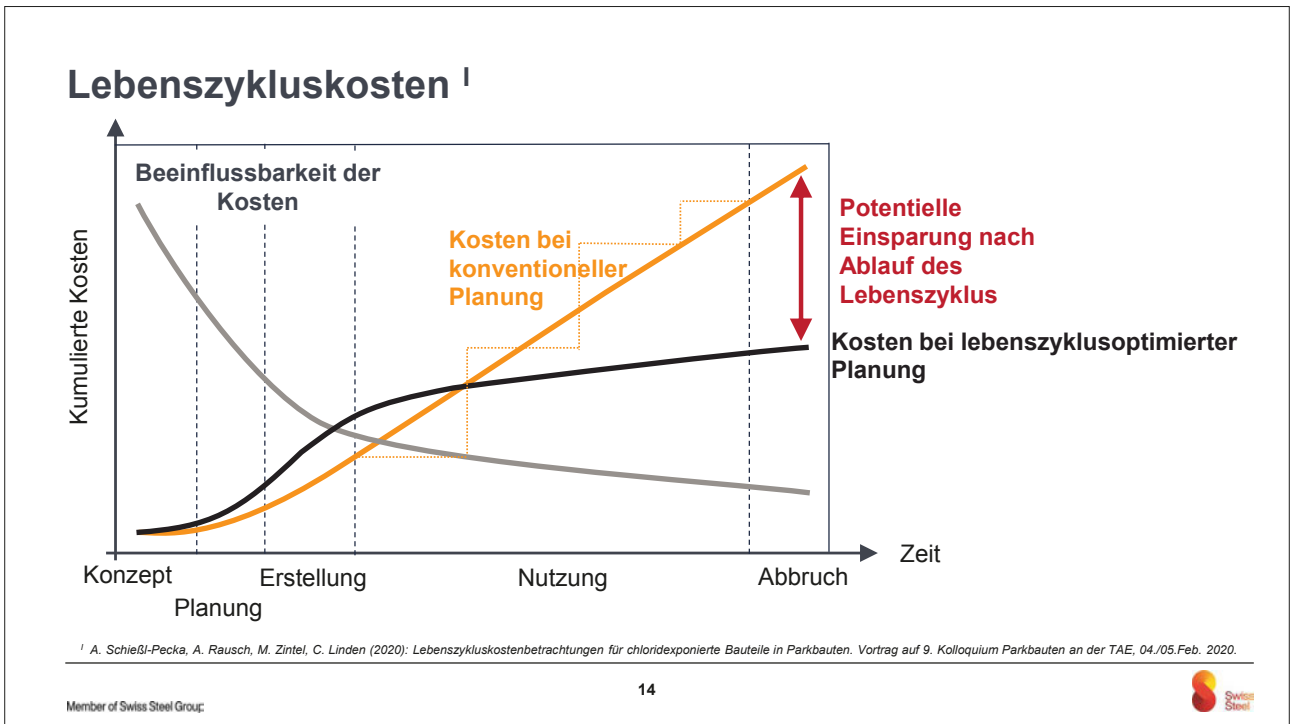
Betondeckung = 10mm



Betonstahl **Top12** Verzinkter Duplex 1.4462
 mit Walzhaut Betonstahl

- ▶ Unlegierter Betonstahl und verzinkter Stahl zeigten Lochfrasskorrosion und eine korrodierte Stahloberfläche > 70%.
- ▶ Top12 hat nur wenige kleinere Roststellen ohne messbaren Materialabtrag
- ▶ Duplexstahl (1.4462) ist wie erwartet absolut blank und immer noch passiv

¹ Y. Schiegg, F. Hunkeler, D. Keller, H. Ungricht (2017): Massnahmen zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit – Fortsetzung des Feldversuchs Naxbergtunnel, Band 683, Bundesamt für Strassen (ASTRA).



Neue Autobahn GmbH

Lebenszyklus-Ansatz soll gelebt werden

MDirig Andreas Krüger, BMVI ¹:
 Die neue Autobahn GmbH des Bundes soll Deutschlands Infrastruktur weiterentwickeln, mehr Effizienz erreichen, betriebswirtschaftliches Denken betonen – kurzum, die Verwaltung in ein modernes Management überführen.
 „Dazu gehört die Einführung eines **Lebenszyklus-Ansatzes**, bei dem Planen, Bauen, Betreiben, Erhalten, Finanzierung und vermögensmäßige Verwaltung aus einer Hand gewährleistet werden.“

Bild: <https://www.autobahn.de>

¹ Krüger, A. (2019): Zukunft Bundesautobahngesellschaft – von der Verwaltung zum Management. In Tagungsband: 1. Kolloquium „Straßenbau in der Praxis“, 29-30 Januar 2019, Techn. Akademie Esslingen.

Member of Swiss Steel Group: 15

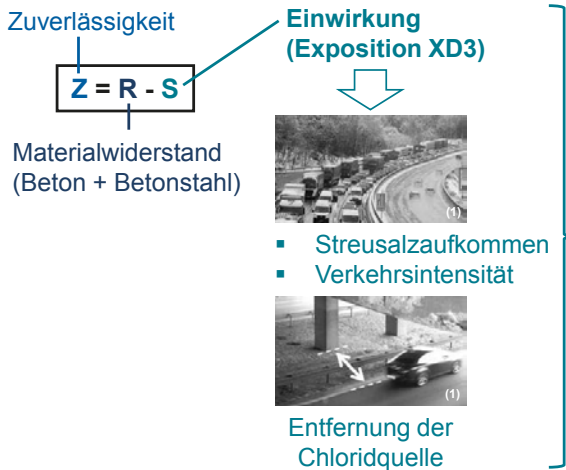
Lebenszykluskostenbetrachtung

Zusammenfassung zum Vorgehen

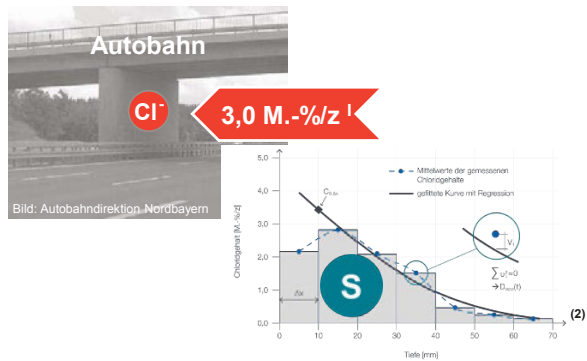
- ▶ Auswahl hochbelasteter Bauteile von Infrastrukturbauwerken (geplante Nutzungsdauer: 50 / 100a), Quantifizierung der Chlorideinwirkung
- ▶ Betrachtung verschiedener Ausführungsvarianten (Widerstandsseite: z.B. Beton gemäß Mindestanforderung, optimierter Beton, konventioneller Betonstahl, nichtrostende Bewehrung, Beschichtung)
- ▶ Bestimmung der jeweiligen Lebensdauern und notwendigen Instandsetzungen mittels Lebensdauerberechnungen
- ▶ Bestimmung der jeweiligen Kosten über die Nutzungsdauer (Herstellung bis Ende Nutzungsdauer)
- ▶ Lebenszykluskosten-Vergleich der Varianten unter Berücksichtigung der Herstellungs- und Betriebskosten (Wartung und Instandsetzung)
- ▶ Zusätzliche Berücksichtigung von baupraktischen Gesichtspunkten, z.B.: Einfluss Ausführungsqualität, Einfluss klimatische Bedingungen, größere Kostensicherheit.
- ▶ Ggf. Berücksichtigung von Folgekosten (ökologisch, sozial, volkswirtschaftlich)

Lebenszykluskostenbetrachtung

Vorgehen am Beispiel eines Brückenmittelpfeilers (geplante Nutzungsdauer: 100 a)



Bestimmung realer Chlorideinwirkung am Bauwerk (Oberflächenkonzentration unter Praxisbedingungen $C_{s,\Delta x}$)

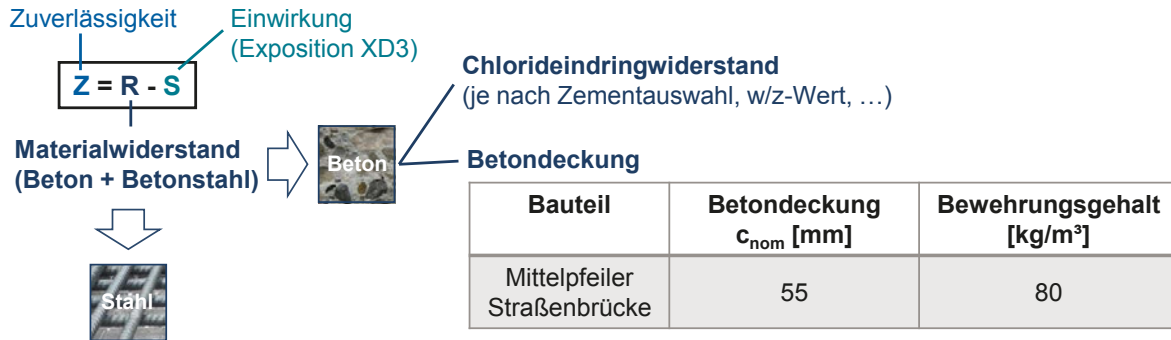


¹ Schießl-Pecka A., Rausch A., Zintel M., Linden C. (2019): Lebenszykluskostenbetrachtungen für chloridexponierte Bauteile von Brücken- und Tunnelbauwerken. In Tagungsband: 29. Dresdner Brückenbausymposium, 11-12 März 2019, Technische Universität Dresden, ISBN 978-3-86780-585-8.

(1) IB Schießl Gehlen Sodeikat GmbH
(2) Nach BAW-Merkblatt MDCC

Lebenszykluskostenbetrachtung

Vorgehen am Beispiel eines Brückenmittelpfeilers (geplante Nutzungsdauer: 100 a)



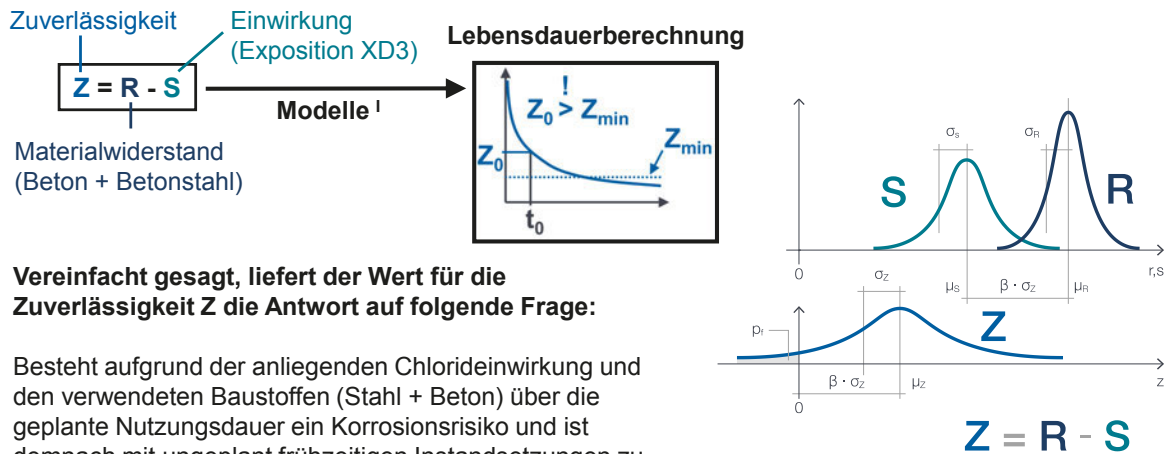
Kritischer Chloridgehalt C_{crit} je nach Stahlgüte, z.B.:

- ▶ Unlegierter Betonstahl „B500B“: 0,5 M.-%/z¹
- ▶ Nichtrostender Betonstahl „Top12“: 2,7 M.-%/z¹

¹ Zur Lebensdauerberechnung verwendete Werte für C_{crit} [M.-%/z]: B500B LogN ($\mu = 0,6; \sigma = 0,15$); Top12 LogN ($\mu = 1,8; \sigma = 0,45$) und Betondeckung [mm]: ND ($\mu = 55; \sigma = 8$)

Lebenszykluskostenbetrachtung

Vorgehen am Beispiel eines Brückenmittelpfeilers (geplante Nutzungsdauer: 100 a)



¹ fib Bulletin 34 (2006): Model Code for service life design.

Lebenszykluskostenbetrachtung

Vorgehen am Beispiel eines Brückenmittelpfeilers (geplante Nutzungsdauer: 100 a)

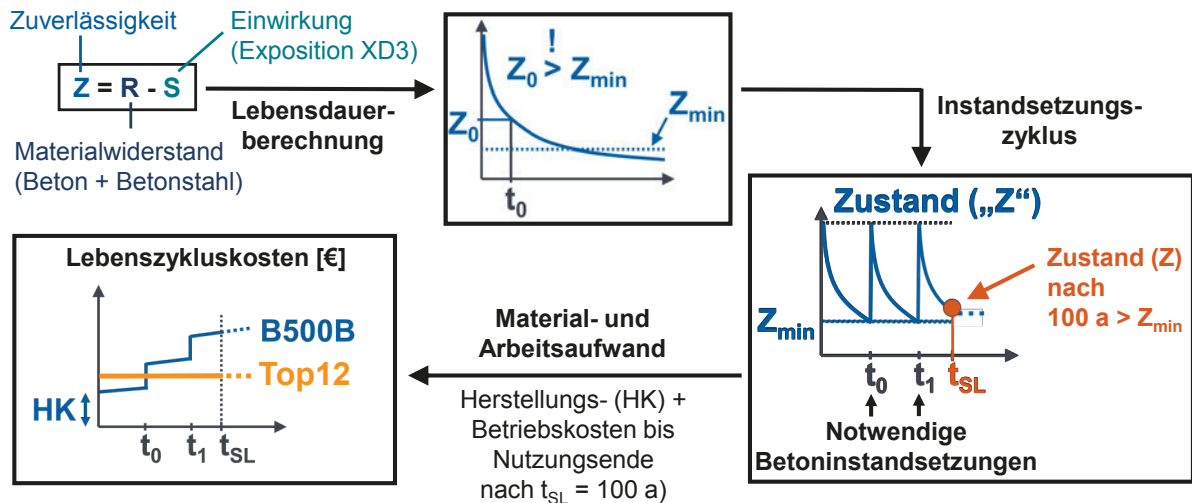
Lebensdauerberechnung Pfeiler ($c_{nom} = 55 \text{ mm}$; $w/z = 0,45$; $C_{s,\Delta x} = 3,0 \text{ M.-%/z}$; $\beta = 0,5$):

Bindemittel		Betonstahl	Berechnete Lebensdauer [a]	0 Lebensdauer [a] 100
Chlorideindringwiderstand ↓	- CEM I - CEM II/A-LL	B500B	8	
		Top12	97	
	- CEM I - CEM II/A-LL	B500B	24	
		Top12	> 100	
	CEM II/B-S + 30 kg/m³ FA	B500B	73	
		Top12	>> 100	

Top12 gewährleistet bereits bei ungünstigem Beton Schadensfreiheit über 100 Jahre!

Lebenszykluskostenbetrachtung

Vorgehen am Beispiel eines Brückenmittelpfeilers (geplante Nutzungsdauer: 100 a)



Projektüberblick (16-192): IB Schießl Gehlen Sodeikat GmbH

Bauteil (Nutzungsdauer)	Brückenkappe (50 Jahre)	Mittelpfeiler Straßenbrücke (100 Jahre)	Tunnelnotgehweg (50 Jahre)	Tunnelwand (100 Jahre)
Erstherstellung				
Stahl	Unlegierter Stahl $C_{crit} = 0,6 \text{ M.-%/z}$	Top12 (1.4003) $C_{crit} = 1,8 \text{ M.-%/z}$		Edelstahl mit Korrosionswiderstandsklasse $\geq \text{III}$ (z.B. 1.4571)
Bindemittel	CEM II/B-S, ggf. mit 30 kg/m^3 Flugasche	CEM II/B-S, ggf. mit 30 kg/m^3 Flugasche		Unabhängig von der Bindemittelart
Oberflächen- schutz	Ohne OS-System	Tiefenhydro- phobierung oder ggf. OS-B-System	Ohne OS-System	Ohne OS-System

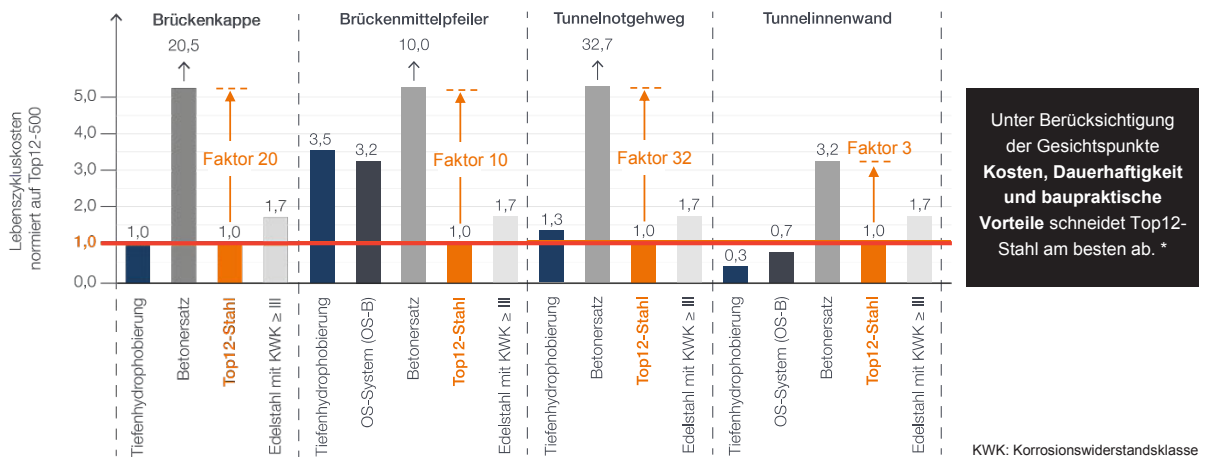
Member of Swiss Steel Group

22



Lebenszykluskosten¹ (Barwert-Methode)

für neuralgische Infrastrukturbauwerke



¹ Schießl-Pecka A., Rausch A., Zintel M., Linden, C. (2019). Lebenszykluskostenbetrachtungen für chloridexponierte Bauteile von Brücken- und Tunnelbauwerken. Beton- und Stahlbetonbau 114, 10/2019, S.767-775.

Member of Swiss Steel Group

23



Top12 Brückenmittelpfeiler

Ersatzneubau Autobahnkreuz München-Ost



Objekt: Ersatzneubau Autobahnkreuz München-Ost
Anwendung Top12: Brückenmittelpfeiler
Bauherr: BMVI vertreten durch Autobahndirektion Südbayern
Bauwerksentwurf: IGL, PUTZ + PARTNER
Korrosionsmonitoring: IB Schießl Gehlen Sodeikat GmbH
Ausführung: März 2017 – November 2019

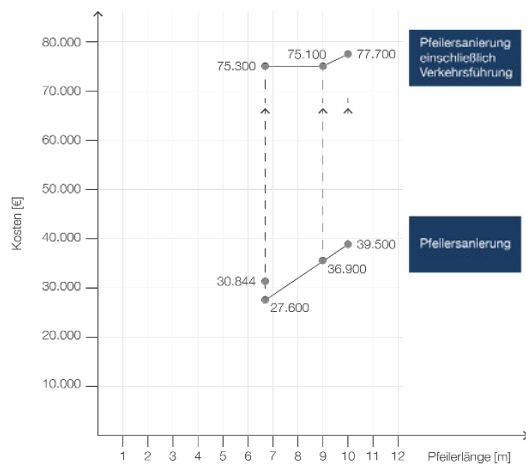
Member of Swiss Steel Group

24



Kosten für Pfeilersanierung

Brückenpfeiler im Autobahnbereich (brutto, Stand 2007)



➔ **Durchschnittliche Pfeilersanierung inkl. Verkehrsführung kostet 75.000€**

Herr Jedelhauser als ehemaliger „Sachgebietsleiter Brückenbau der Autobahndirektion Südbayern“ berichtet von üblichen Pfeilerinstandsetzungen im Alter von 25 – 35 Jahren.¹

¹ Jedelhauser B. (2008): Verwendung von nichtrostendem Stahl (Edelstahl) im Brücken- und Ingenieurbau, Bautechnik, Jahrgang 85, Heft 7, S. 472-475.

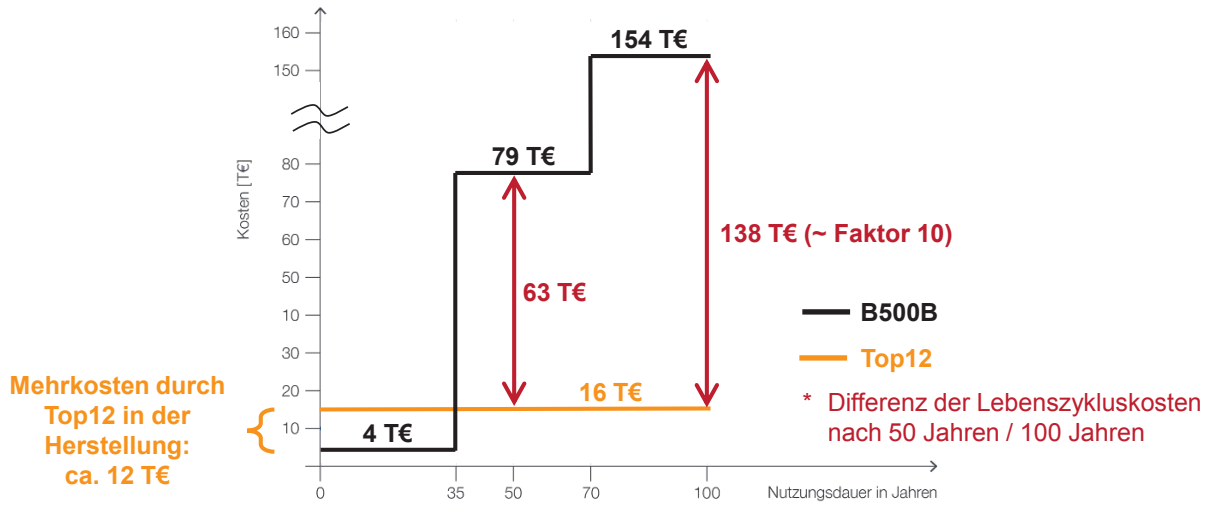
Member of Swiss Steel Group

25



Vereinfachte Lebenszykluskostenbetrachtung

Brückenpfeiler im Autobahnbereich: B500B vs. Top12



Member of Swiss Steel Group

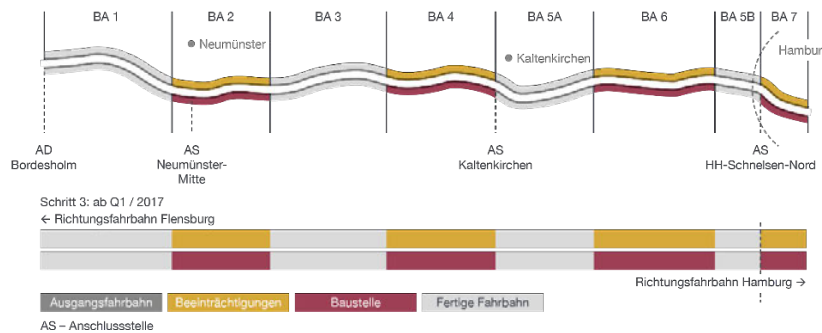
26



Top12 Kappen

PPP – A7 Hamburg-Bordesholm

- ▶ Ausbau und Verbreiterung der A7 ~ 60 km sowie Erhaltung und Betrieb
- ▶ Das zweite Projekt Deutschlands als „Verfügbarkeitsmodell“ (monatliche Vergütung in Abhängigkeit der Qualität und Verfügbarkeit der Strecke)
- ▶ Start des Projekts 2014; Abschluss der Bauphase 2018



Ursächlich für die Umstellung 36 Teilbauwerke mit Top12 in Kappen: Dramatische Schäden in Folge Wasserstoffentwicklung im Frischbeton an verzinktem Betonstahl

Member of Swiss Steel Group

27



A96 Tunnel Etterschlag / Eching (2016)



Objekt: A96 Tunnel Etterschlag / Eching
Anwendung Top12: Bewehrung der Schrammborde mit Top12
Baubehörde: Autobahndirektion Südbayern
Ingenieur: Ingenieurbüro Schiessl – Gehlen – Sodeikat GmbH, München
Ausführung: 2016

Member of Swiss Steel Group

28

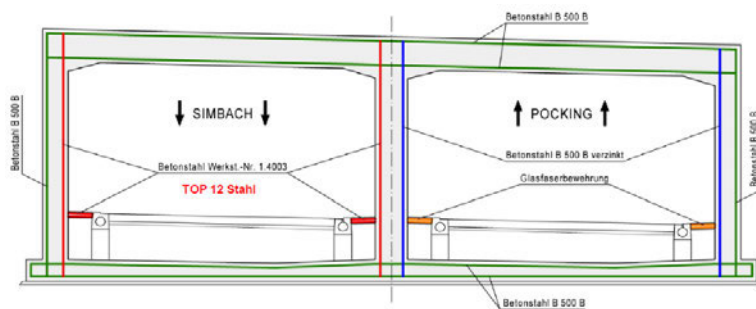


Einsatz von Top12 im Tunnelbau

Neubau A94 Tunnel Tutting (L = 450 m)

Regelquerschnitt Tunnel M=1:100

Block 1 bis 28



Objekt: A94 Tunnel Tutting
Anwendung Top12: Tunnelwände + Notgehwege
Bauherr: Autobahndirektion Südbayern
Bauunternehmen: Mayerhofer Hoch-, Tief- und Ingenieurbau
Ausführung: 2019

K. Goj (2018): „Dauerhafte Bauwerke durch alternative Bewehrung am Beispiel Tunnel Eching, Etterschlag und Tutting“. 137. Bund/Länder Dienstbesprechung Brücken- und Ingenieurbau, 13./14. November 2018. im Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Bonn.

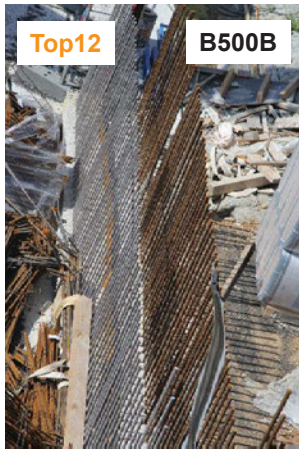
Member of Swiss Steel Group

29



Einsatz von Top12 im Tunnelbau

Neubau A94 Tunnel Tutting (L = 450 m)



Objekt: A94 Tunnel Tutting
Anwendung Top12: Tunnelwände + Notgehwege
Bauherr: Autobahndirektion Südbayern
Bauunternehmen: Mayerhofer Hoch-, Tief- und Ingenieurbau
Ausführung: 2019

Member of Swiss Steel Group

30



Fazit

- ▶ Nach ZTV-ING wird die Dauerhaftigkeit über die Zuweisung von Betondeckungen und Expositionsklassen erreicht.
- ▶ Schäden zeigen, dass die Anforderungen für eine Lebensdauer von 100 Jahren nicht ausreichen!
- ▶ Die Kosten für die resultierenden Instandsetzungen sind sehr hoch.
- ▶ Baustoffe und Materialien zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit sind vorhanden, aber bei der Herstellung teurer als die Minimalvariante.
- ▶ **Aber:** Durch eine Erhöhung der Anfangsinvestition können die Lebenszykluskosten z.B. von Brückenmittelpfeilern oder -kappen stark reduziert werden (Faktor 10 - 20 bei Top12 vs. B500B).

„Unter Berücksichtigung der Gesichtspunkte: **Kosten, Dauerhaftigkeit, baupraktische Vorteile** schneidet **Top12** in der Lebenszykluskostenstudie des IB Schießl Gehlen Sodeikat am besten ab.“

Member of Swiss Steel Group

31



Fachpublikation: Beton- und Stahlbetonbau (10/2019)

Lebenszykluskostenbetrachtungen für chloridexponierte Bauteile von Brücken- und Tunnelbauwerken:



Schießl-Pecka A., Rausch A., Zintel M., Linden, C. (2019): Lebenszykluskostenbetrachtungen für chloridexponierte Bauteile von Brücken- und Tunnelbauwerken. Beton- und Stahlbetonbau 114, 10/2019, S.767-775. (Kostenloser Download unter: www.steelforconstruction.com/de/download-center)

Member of Swiss Steel Group;



Save as contact

Optimierte Lebenszykluskosten für chloridexponierte Bauteile von Brücken- und Tunnelbauwerken

Dr.-Ing. Marc Zintel

Member of Swiss Steel Group



Südtangente Koblenz: Rollverschlüsse in der Sanierung und im Neubau (DE)

Dipl. Ing. (FH) Stefan Adam

Geschäftsführer mageba GmbH, Im Rinschenrott 3A 37079 Göttingen, Deutschland

Zusammenfassung

Die Südtangente Koblenz überführt die B 327 mit der Südbrücke, der linksrheinischen Hochstraße Oberwerth sowie der rechtsrheinischen Hochstraße Horchheim über den Rhein. Die Hochstraße Oberwerth sowie die Hochstraße Horchheim stellen die Vorlandbrücken der Südbrücke dar. Die im weiteren linksrheinischen Verlauf Richtung Hunsrück vorhandene Hangbrücke Laubachtal überführt die B 327 über das Tal des Laubachs. [1]

Aufgrund des Alters des Bauwerkes und der zunehmenden Verkehrsbelastung ist es erforderlich, das Brückenbauwerk umfangreich instand zu setzen.

Drei bestehende Teilbauwerke der Hochstraße Koblenz-Oberwerth (Teilbauwerke G1 und G2/J) und die Hangbrücke Laubachtal aus dem Jahre 1974 müssen grundhaft instandgesetzt werden. Hierbei handelt es sich um die Brückenbauwerke oberhalb der Parkplatzflächen der Sportstätten in Koblenz Oberwerth, welche die B 327 Richtung Hunsrück führen. Die jetzt anstehenden Arbeiten umfassen ausschließlich die Bauwerke beginnend an der Südbrücke bis Koblenz-Karthause. [1]

Auf Basis umfangreicher Voruntersuchungen und Probeinstandsetzungen, die an den unterschiedlichen Bauteilen anliegen, konnte eine in mehreren Bauphasen gegliederte Instandsetzung der Bauwerke geplant werden. Aufgrund der verkehrlichen Bedeutung für die Stadt Koblenz waren und werden sämtliche Arbeiten unter Teilsperren durchgeführt.

Im ersten Bauabschnitt war es erforderlich, die bestehende Rollverschlusskonstruktion der großen Rheinbrücke B 327 (Südbrücke Seite Oberwerth TBW G1/G2 linksrheinisch) komplett zu überarbeiten und die Verschleißteile auszutauschen. Im Zuge der Bauwerksinstandsetzung wurden die bestehenden Rollverschlusskonstruktionen an der Hochstraße Oberwerth SHR 7; SHR 23; HRS 26 ausgebaut und durch neue Nachbauten ersetzt.

1. Einleitung

Die Südbrücke ist insgesamt 442 m lang. Die Voutenträger Balkenbrücke aus Stahl überspannt mit einer längsten Spannweite von 236 m den Rhein. Auf beiden Brückenseiten sind Rollverschlusskonstruktionen mit einer Bewegungskapazität von 500 mm verbaut. An die Strombrücke schließt auf der linksrheinischen Seite die ca. 1.500 m lange Hochstraße Oberwerth an.

Diese Rampenbrücke ist durch zwei Bewegungsfugen in Achse 0 und Achse 130 unterbrochen. Die Fugen in Achse 130 sind für eine Bewegungskapazität von bis zu 650 mm ausgelegt. In den Auf- und Abfahrtsrampen sind kleinere Rollverschlusskonstruktionen mit einer Bewegungskapazität von bis zu 300 mm verbaut. Die Gesamtmaßnahme wurde in der Zeit 1969 bis 1975 in 3 Bauabschnitten realisiert. Die Baukosten beliefen sich auf 104 Millionen DM. Im Jahr 2019 begann eine umfassende Grundinstandsetzung des Brückenzuges [3a].

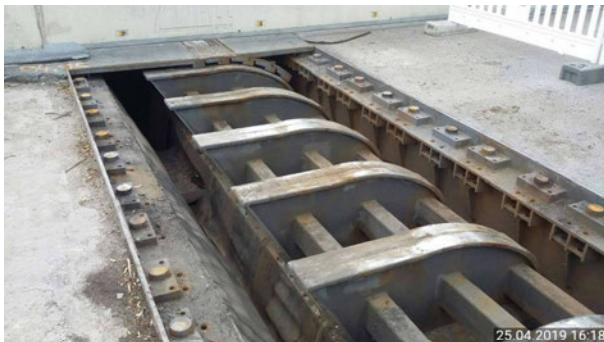


[2] Südtangente Koblenz mit Strombrücke

2. Aufgabenstellung und Besonderheiten

Aufgrund erheblicher Schäden an der Bauwerkssubstanz muss der über 45 Jahre alte Brückenzug umfassend saniert werden. Im Folgenden werden die an den Bauwerken auszuführenden Instandsetzungsmaßnahmen bzw. die für diese Aufgabenstellungen erforderlichen Anforderungen an den Nachbau der Fahrbahnübergangskonstruktionen vorgestellt.

Die zum Zeitpunkt der Errichtung der Bauwerke eingebauten Rollverschlusskonstruktionen waren aufgrund der hohen Belastung, verbunden mit Feuchtigkeitstritt, sehr stark verschlissen.



[3] Südbrücke Seite Oberwerth TBW G1

Südbrücke:

Die Rollverschlüsse an der Südbrücke sind im Jahr 2008 komplett umgebaut und überarbeitet worden.

Im Zuge einer in den folgenden Jahren geplanten grundhaften Instandsetzung des Bauwerks ist vorgesehen die Rollverschlussübergänge gegen moderne lärmgeminderte Lamellenübergänge auszutauschen. Aus dem Grund sollte ursprünglich nur der Korrosionsschutz an den Plattensätzen erneuert werden und die Dichtlippen getauscht werden.



[4] Hochstraße Oberwerth SHR 7

Hochstraße Oberwerth:

Nach umfangreicher Voruntersuchung hat sich der Brückenlastträger dazu entschlossen die alten Konstruktionen komplett auszubauen und durch neue baugleiche Rollverschlusskonstruktionen zu ersetzen. Grund für diese Entscheidung war die Robustheit und die geringen Unterhaltskosten der bis dato ca. 45 Jahre alten Konstruktionen.

3.0 Funktion u. Konstruktion von Rollverschlüssen

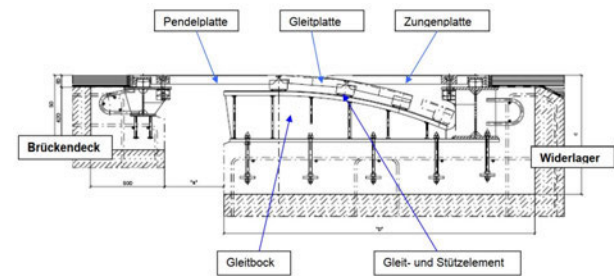


Abb. 1 Komponenten des Fahrbahnübergangs

Rollverschlüsse sind Mehrplattensysteme, bestehend aus

3.0.1 Platten

- Pendelplatte, i.d.R. auf der Überbauseite angeordnet, wird vor allem auf Biegung beansprucht. Diese sind am einbetonierten Querträger mittels Auflagernocken gelenkig gelagert und werden durch eine Niederhalterung bestehend aus einem Federtopf mit Elastomerlager und entsprechender Spannschraube gegen den Unterbau vorgespannt.
- Gleitplatte(n) sind als Vierpunktplatten berechnet. Die Krümmung der Platten wird durch Kaltverformung mittels Walzen oder durch mechanische Bearbeitung erzeugt. Blechdicken zwischen 50-60 mm. Die Gleitplatten sind untereinander und mit der Pendelplatte gelenkig verbunden und durch Gleitelemente auf den Gleitböcken gestützt, auf denen sie bei Bauwerksverschiebungen entsprechend gleiten.
- Zungenplatte, i.d.R. auf der Widerlagerseite angeordnet, liegt mit der spitzen Seite („Zunge“) auf der Gleitplatte. Die Lagerung auf dem einbetonierten Querträger sowie die Niederhalterung erfolgt in gleicher Weise, wie bei den Pendelplatten.

3.0.2 Verbindung

- Plattenverbindungen durch zweischnittige Bolzen. (Abb. 2)
- Übertragung der horizontalen Kräfte aus Bremsen/Beschleunigen über die Haltenocken in die einbetonierten Querträger

3.0.3 Gleit- und Stützelemente

- Funktion „Vertikale Unterstützung der Platten auf den Gleitböcken“ und
- „Gleiten auf dem oberen Flansch der Gleitböcke“



[9] Gleitelement UHMWPE, Lagergehäuse; Dichtring
Die alten Gelenkbuchsen und -bolzen waren abgängig.
Die Gelenkverbindungen wurden komplett erneuert.



[10] Neue Buchsen und Gleiteinheit



[11] Zusammengebauter Plattensatz

Als rutschfeste Oberfläche ist eine grobkörnige Epoxidharzbeschichtung aufgebracht worden.

Die Unterbauten am Bauwerk sind sandgestrahlt und anschließend mit einem neuen Korrosionsschutzsystem ausgestattet worden. Ebenso sind einige Horizontalaussteifungen (Hohlträger) der Gleitböcke ausgetauscht worden.



[12] Südbrücke Seite Oberwerth TBW G1

Die Montage der fertigen Plattensätze erfolgte in umgekehrter Reihenfolge zum Ausbau. Hierbei war es wichtig, dass alle 4 Lagerpunkte der jeweiligen Platten gleichmäßig und vollflächig aufliegen.



[13] Südbrücke Seite Oberwerth TBW G1

3.2 Austausch der Bestandsfahrbahnübergänge

Hochstraße Oberwerth:

Die Rollverschlüsse an den Bauwerken SHR 7; SHR 23; HRS 26 waren noch im Originalzustand. Hier war von Beginn an der Austausch dieser Konstruktionen geplant. Aufgrund der noch vorhandenen Bestandszeichnungen war es möglich, eine exakte CAD Zeichnung in Anlehnung an den Bestand zu erstellen. Da diese Konstruktionen nicht nach TLTP/FÜ regelgeprüft sind, musste eine statische Berechnung erstellt werden. Die Gelenkverbindung wurde entsprechend dem System „Lange“ verbessert.

Aufgrund der Verkehrsführung während der Bauarbeiten wurden die neuen Rollverschlüsse in 2 Bauabschnitten eingebaut.



[14] Hochstraße Oberwerth SHR 7

Die Betonage erfolgte in 2 Abschnitten. Zuerst wurden die Gleitböcke mit einem fließfähigen Betonersatzsystem ausbetoniert. Im Anschluss wurde der Gefällebeton zwischen den Böcken und die Rückverankerung zum Bauwerk mit Transportbeton ausbetoniert.



[15] neue Plattensätze in der Farbgebung



[16] Betonage der neuen Übergangskonstruktion

Zum Abschluss wurde die neue Abdichtungsbahn welche das Oberflächenwasser abführt eingebaut.



[17] Neue Übergangskonstruktion mit Asphaltanschluss

Je nach Wunsch und Notwendigkeit kann der während der Reparatur freiliegende Bauwerksspalt, mit einem sogenannten Fly-over-System überbrückt werden, der eine weitgehend uneingeschränkte Befahrbarkeit des Brückenbauwerks erlaubt.



[18] Fly-over im Einsatz

4.0 Zusammenfassung und Ausblick

Bei diesem Projekt war es der Wunsch des Bauherren, die bestehenden Rollverschlusskonstruktionen zu ertüchtigen und zugleich drei neue Rollverschlusskonstruktionen einzubauen.

In den kommenden Bauphasen sollen wiederum neuen Rollverschlüsse eingebaut werden.

Literaturverzeichnis

- [1] Landesbetrieb Mobilität Rheinland-Pfalz
- [2] Marc Zeitler copyright
- [3a] Wikipedia
- [3-18] mageba

Prioritätenreihung und Risikomanagement bei Stützbauwerken im Landesstraßennetz

Matthias J. Rebhan, Roman Marte, Stefan S. Grubinger

Technische Universität Graz, Institut für Bodenmechanik, Grundbau und Numerische Geotechnik, Graz, Österreich

Franz Nöhner, Bernhard Saurug

Amt der Steiermärkischen Landesregierung, A16 Verkehr und Landeshochbau – Referat Bauwerkserhaltung und Geotechnik, Graz, Österreich

Zusammenfassung

Die aktuellen normativen Forderungen für die Erhaltung und Überwachung von Bestandsobjekten durch die RVS-Richtlinien, welche für die österreichischen Bundesländer als Infrastrukturerhalter zum Stand der Technik zählen, führen vor allem im Umgang mit bestehenden Stützbauwerken zu einem erheblichen Aufwand. Dies resultiert zum einen aus dem steigenden Bauwerksalter und zum anderen aus einer aktuellen Sensibilisierung aufgrund vermehrter Schadensfälle bei Stützbauwerken in jüngster Vergangenheit.

Der vorliegende Beitrag beschäftigt sich mit der Umsetzung eines Systems für das Risikomanagement bzw. die Prioritätenreihung bei bestehenden Stützbauwerken, welche durch das Bundesland Steiermark betrieben und erhalten werden. Das Konzept basiert auf einer einfachen, systematischen und nachvollziehbaren Herangehensweise zur Erfassung des von einem Einzelbauwerk oder Straßenzug ausgehenden Risikos, welches durch eine Risikomaßzahl definiert wird. Als Grundlage dienen hierzu Kriterien, welche sich zum einen auf das Bauwerk und dessen Erhaltungszustand beziehen und zum anderen die Umgebung bzw. die Lage und Wichtigkeit des Bauwerkes mitberücksichtigen. Somit ist für die Feststellung der Priorität der zu prüfenden Objekte eine Vorgehensweise gegeben, die eine Berücksichtigung der wesentlichen Einflussfaktoren hinsichtlich Gefährdungspotential erlaubt. Auf Basis dieser Priorisierung kann sodann eine gesamtheitliche Aufnahme und Beurteilung der Objekte garantiert werden und darauf aufbauend eine Aussage über den Erhaltungszustand getätigt werden. Die verwendeten Kriterien können hierzu in die drei Bereiche Rang der Straße, Unterlagen zum Bauwerk und Kriterienkatalog unterteilt werden. Mit der Umsetzung dieses Konzeptes ist es möglich, den Aufwand für die Durchführung von Bauwerksprüfungen zu reduzieren und somit einen effizienten Mitteleinsatz sicherzustellen.

1. Bauwerksprüfung

Aufgrund der geografischen Lage und Topografie Österreichs sind Stützbauwerke zur Errichtung von Infrastruktureinrichtungen wie Straßen- oder Schienentrassen oftmals erforderlich. Hieraus resultiert, dass die Durchführung von laufenden Kontroll- und Prüftätigkeiten unerlässlich für die Sicherheit und Verfügbarkeit dieser Trassen ist. Ein Hauptbestandteil dieser Tätigkeiten stellt die Erfassung des Erhaltungszustands dar. In Österreich gelten für die öffentlichen Bauwerkserhalter – ÖBB und ASFINAG sowie die Bundesländer – die Richtlinien für Verkehr und Straße (RVS – vgl. [1]) als Stand der Technik. Diese regeln in welchem Umfang und zeitlichen Abständen Kontroll- und Prüftätigkeiten (Bauwerksinspektionen) durchzuführen sind.

Generell wird dabei in Österreich eine Erfassung des „Erhaltungszustandes“ vorgenommen, das heißt es werden Veränderungen, meist in Form von Schäden am Objekt,

durch das Prüfpersonal erfasst. Darauf aufbauend findet eine Beurteilung des Objektes statt. Schäden an Stützbauwerken können in unterschiedlichen Ausprägungen, Erscheinungsformen und Schweregraden vorliegen [2]. In Abhängigkeit des Bauwerkstyps, des Errichtungszeitpunkts und der vorliegenden Schäden stellt die Prüfung von bestehenden Stützbauwerken eine große Herausforderung sowohl für Bauwerkserhalter als auch das Prüfpersonal (vgl. [3]) dar.

Neben diesen RVS-Richtlinien gibt es in Österreich noch weitere Prüfdokumente wie beispielsweise die ÖGG Empfehlungen zur vertieften Prüfung und Beurteilung bestehender, unverankerter Stützbauwerke (vgl. [2]) bzw. interne Dokumente und Handlungsanweisungen der einzelnen Bauwerkserhalter.

2. Bestandsbauwerke

Das österreichische Streckennetz im niederrangigen Verkehr (ohne Autobahnen und Schnellstraßen) weist eine Gesamtlänge von ca. 34.200 km (vgl. [4]) auf. Mit 5.000 km liegt ungefähr ein Siebtel dieser Strecke im Verwaltungs- und Aufgabenbereich des Landes Steiermark. Damit ist das Amt der Steiermärkischen Landesregierung nach den Bundesländern Nieder- und Oberösterreich Verwalter und Erhalter des drittgrößten Landesstreckennetzes in Österreich. Aus einer Erhebung der Bestandsdaten aller öffentlichen Bauwerkserhalter (vgl. [4]) geht hervor, dass in Österreich ca. 100.000 Stützbauwerke im niederrangigen Straßennetz und weitere ca. 40.000 im hochrangigen Straßennetz bzw. entlang der Schienentrassen der Österreichischen Bundesbahnen vorhanden sind. Auf das Streckennetz im Land Steiermark verteilen sich ca. 4.800 Stützbauwerke. Wie Abb. 1 zeigt, werden diese zur Hälfte durch Gewichtsmauern gebildet. Weitere 44 % sind in Form von Steinmauerwerk vorhanden, welche ebenfalls als eine Form der Schwergewichtsmauern betrachtet werden können. Lediglich 6 % (274 Stützbauwerke) werden durch Sonstige Konstruktionen wie Winkelstützmauern, Gabionenkonstruktionen oder Bewehrte Erde Konstruktionen gebildet. Lediglich 1 % (61 Bauwerke) werden, durch die in dieser Darstellung nicht angeführten, geankerten Konstruktionen gebildet.

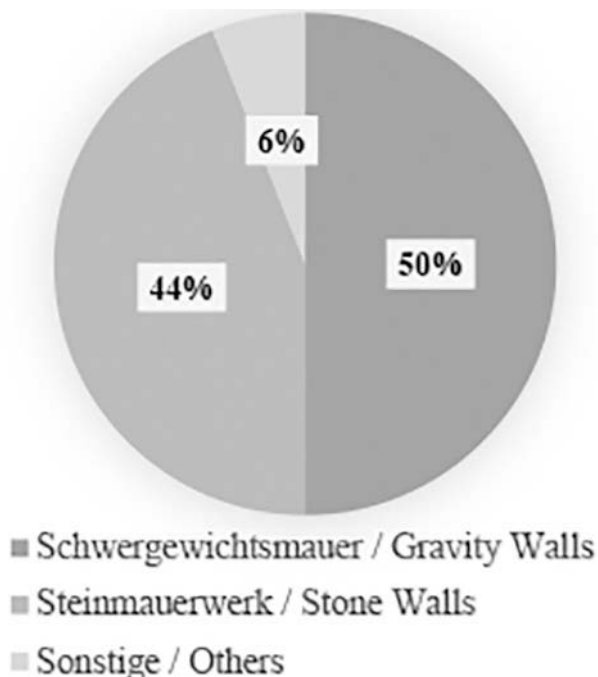


Abb. 1: Stützbauwerke im Streckennetz des Landes Steiermark (vgl. [3])

Diese Aufteilung zeigt, dass rund 94 % des Bauwerksbestandes durch Bauwerkstypen gebildet werden, welche dem Typ der Gewichtsmauern zugeordnet werden können, welche im Allgemeinen durch ein gutmütiges und

sich ankündigendes Versagen (vgl. [2] & [4]) gekennzeichnet sind.

3. Risikomanagement Land Steiermark

Die obigen Ausführungen zu den Bestandsbauwerken im Streckennetz des Landes Steiermark und die Ausführungen zu den vorhandenen Bauwerkstypen lassen erkennen, dass das hier vorliegende Streckennetz grundsätzlich durch sich eher gutmütig verhaltende und ein Versagen ankündigende Stützbauwerke gekennzeichnet ist. Aus diesem Grund wurde in Zusammenarbeit zwischen dem Land Steiermark und der Technischen Universität Graz ein Konzept (vgl. [5]) erarbeitet, welches ein Risikomanagement bzw. eine Prioritätenreihung im Zusammenhang mit der Inspektion und Prüfung von bestehenden Stützbauwerken ermöglicht.

Die Möglichkeit ein derartiges System zu implementieren wird in den RVS-Richtlinien (vgl. [1]) durch eine Anpassung des Anwendungsbereiches gegeben. Dieser besagt, dass „*der Erhaltungsverpflichtete eine Risikobewertung der nicht geankerten Stützbauwerke durchführen und basierend auf dem Ergebnis den Anwendungsbereich anpassen kann.*“

Ein mögliches Konzept für eine derartige Risikobewertung (vgl. [5]) wird nachfolgend vorgestellt.

3.1 Konzept des Risikomanagements

Das Konzept basiert im Wesentlichen auf der Ermittlung und Bestimmung einer Risikomaßzahl. Diese beruht auf den Randbedingungen des Bauwerkes welche in Form eines Kriterienkataloges (vgl. Kapitel 3.2 sowie) in die Beurteilung einfließen.

Begonnen wird hierzu mit der Erhebung der Bauwerksdaten (i in Abb. 2), welche zu Folge einer vor Ort Begehung oder der Aufbereitung der Daten aus einer Bauwerksdatenbank von Statten gehen kann. Im Anschluss werden die Randbedingungen des Bauwerkes mit den Inhalten eines Kriterienkataloges (ii in Abb. 2) verglichen und die Bestimmung der Risikomaßzahl RMZ (iii in Abb. 2) kann durchgeführt werden.

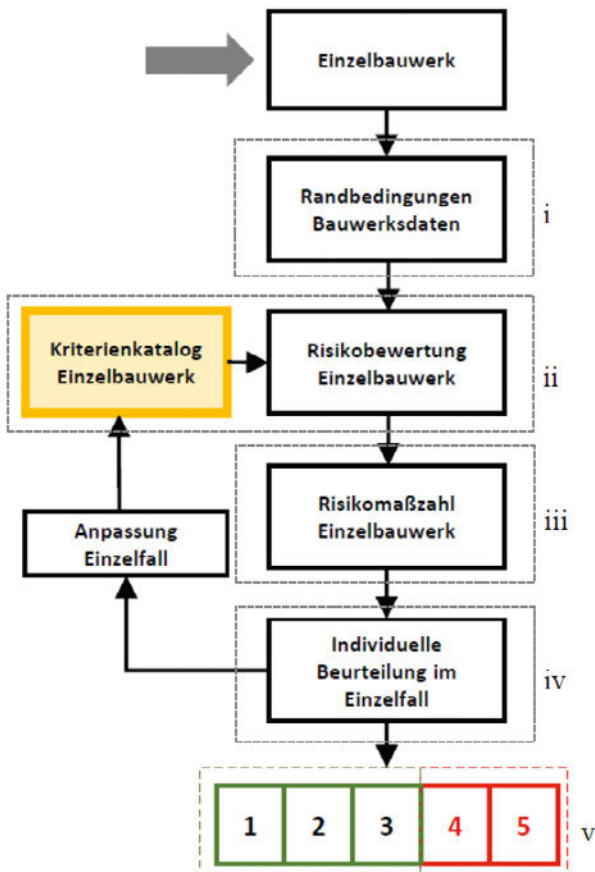


Abb. 2: Flussdiagramm zur Umsetzung der Methode der Risikobewertung bei Stützbauwerken [6]

Die Ermittlung der Risikomaßzahl findet laut Formel (1) statt, welche durch die Gleichung in Formel (2) mit dem Grenzwert von 1,75 limitiert wird. Diese Limitierung ist damit begründet, dass bei Überschreitung des Grenzwertes eine derart große Schädigung des Bauwerkes vorliegt, dass die Anwendung dieser Methode nicht mehr zweckmäßig ist. Die Terme A und B setzen sich aus den beiden zahlenmäßig größten Faktoren des Kriterienkataloges zusammen und sollen den Einfluss der maßgebenden Schäden aufzeigen. Die restlichen Kriterien (in Form von Mängeln und Schäden am Bauwerk) fließen durch Mittelwertbildung (Term C in Formel (1) und (2)) in die Ermittlung der Risikomaßzahl ein. Einige Beispiele für den Inhalte des Kriterienkataloges sind in Tab. 1 aufgelistet.

$$RMZ = \left[(A * B) + \frac{\sum C_i}{\#C} \right] * D * E \quad (1)$$

$$RMZ = \left[(A * B) + \frac{\sum C_i}{\#C} \right] \leq 1,75 \quad (2)$$

Neben den Schäden und Mängeln am Objekt finden zwei weitere Parameter bei der Ermittlung der Risikomaßzahl Berücksichtigung. Durch den Term D wird das Vorhandensein von Unterlagen zu einem Objekt mit einbezogen, was eine genauere Bewertung des Bauwerkes ermöglicht. Somit wird der Kenntnisstand über das Bauwerk, wie z.B. das Vorliegen von Planunterlagen zum Bauwerk, Kenntnisse über die Untergrund- und Grundwasser-

hältnisse, Vorliegen von Prüf- und Überwachungsunterlagen, Statische Berechnungen etc. bei der Ermittlung der Risikomaßzahl berücksichtigt. Weiters werden neben Informationen zum Objekt auch dessen Standort sowie der Rang der Straße (Term E) ebenfalls zur Bestimmung der Risikomaßzahl herangezogen. Dies basiert auf dem Regionalem Verkehrskonzept Obersteiermark West (vgl. [7]) und bildet die Relevanz und die Anforderungen an die Verfügbarkeit des Straßennetzes in der Steiermark ab. Die ermittelte Risikomaßzahl (RMZ) ist ein Maß für das Bauwerksrisiko, in das sowohl die Wahrscheinlichkeit des Eintrittes eines Schadens, wie auch die Folgen eines Schadens eingehen. Dieses basiert, ähnlich den RVS-Richtlinien, auf einem Schulnotensystem zwischen 1 (sehr geringes Risiko) und 5 (sehr hohes Risiko). Die Bandbreite der RMZ reicht generell von 0,025 bis 2,00, was auch die Bandbreite der Beurteilung zu Folge der RMZ (Abb. 3) definiert.

RMZ	< 0,50	0,50 – 0,75	0,75 – 1,25	1,25 – 1,50	1,50 – 2,00
Risiko	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch
Beurteilung	1	2	3	4	5

Abb. 3: Bewertungsschema zur Bestimmung des Risikos anhand der Risikomaßzahl

3.2 Kriterienkatalog & Bauwerksparameter

Wie aus der Erläuterung zur Ermittlung der RMZ zu erkennen ist, basiert der erste Term in Formel (1) auf den Inhalten eines Kriterienkataloges. Mit diesem wird eine große Bandbreite an unterschiedlichen Schadensbildern, Mangelerscheinungen und auch Versagensmechanismen aufbereitet. Der Inhalt dieses Kataloges (vgl. [5]) reicht dabei von gravierenden Mängeln wie dem Fehlen einer Absturzicherung, defekten Entwässerungen oder nicht frostbeständigen Steinmaterialien bis hin zu kleineren Schäden wie oberflächlichen Abplatzungen des Betons oder dem Ausrieseln der Verfüllung bei Raumgitterkonstruktionen. Um vergleichbare und standardisierbare Ergebnisse bei der Ermittlung der RMZ zu erhalten, wurde im Zuge der Ausarbeitung des Konzeptes ein Kriterienkatalog definiert und aufbereitet. Ein Auszug aus diesem ist in Tab. 1 gegeben.

Neben der Betrachtung der Inhalte des Kriterienkataloges und der Berücksichtigung der Abgrenzung nach Formel (2) wurden auch Drop-Out Kriterien als ergänzende Regularien in das Konzept eingearbeitet. Diese berücksichtigen besonders kritische Versagensmechanismen (z.B. Korrosion bei Winkelstützmauern vgl. [4]) oder sehr schwierig zu beurteilende Bauwerke, wie beispielsweise geankerte Konstruktionen, ab. Derartige Drop-Out-Kriterien sind im Kriterienkatalog gekennzeichnet und führen zu einem Ausschluss aus der Nutzung des be-

schriebenen Konzeptes für das betrachtete Objekt. Folglich ist für dieses Objekte eine Kontroll- und Prüftätigkeit nach RVS 13.06.61 durchzuführen.

Tab. 1: Auszug Kriterienkatalog

Kriterium	C _i
Winkelstützmauer Höhe über 2,50 m	1,00
Fehlende Absturzsicherung	1,00
Talseitig, direkt an die Straße angrenzendes Bauwerk	1,00
Talseitig, in einem Verhältnis Abstand zur Straße zu Höhe größer als 1,50	0,50
Nachverdichtungseffekte im Straßenbereich (z.B. Absackungen) ersichtlich	0,50
Ausrieselungen großer Mengen an Füllmaterial aus den Silozellen der Raumgitterkonstruktion	0,50

3.3 Adaptierung und Anpassung

Abschließend wird noch angemerkt, dass es sich bei diesem Konzept um ein möglichst einfach anzuwendendes, dennoch adaptier- und anpassbares Verfahren handelt. Am Ende der Beurteilung eines Bauwerkes findet laufend eine Aktualisierung der Inhalte des Kriterienkataloges und der Kontrollzyklen statt. So kann sichergestellt werden, dass zukünftig wiederkehrend eine erneute Validierung der Beurteilung des Bauwerkes stattfindet, und dass neue Erkenntnisse eingearbeitet werden. Letzteres ist vor allem in Bezug auf den Kriterienkatalog erforderlich. In diesen werden somit laufend neue Erkenntnisse aus Bauwerksprüfungen oder auch aus Schadensfällen eingearbeitet. Damit wird neben einer einfachen und raschen Beurteilung des Bauwerkes auch eine Weitergabe von Informationen aber auch die Einbeziehung neuer Kenntnisse und Erfahrungen sichergestellt.

4. Praktische Umsetzung & Beispiele

In Kapitel 3 dieses Beitrages wurde ein Konzept zu einem Risikomanagement vorgestellt, welches die Randbedingungen der Bauwerksprüfung und Inspektion in Österreich berücksichtigt und zudem zu einer Vereinfachung bzw. wirtschaftlicheren Handhabung der Ressourcen bei öffentlichen Bauwerkserhaltern führt. Nachfolgend wird – neben der wirtschaftlichen Aufarbeitung dieses Konzeptes – die praktische Anwendung und Umsetzung anhand von Beispielen behandelt. Dazu werden einleitend die aus der Bestimmung der Risikomaßzahl abzuleitenden Handlungsanweisungen beschrieben. Anschließend werden zwei Beispiele zur Anwendung des Konzeptes gezeigt. Weitere Beispiele sind in [5] und [6] zu finden.

4.1 Handlungsanweisung

Aufbauend auf der Beurteilung des Risikos kann in weiterer Folge auch eine Ableitung von erforderlichen Tätigkeiten in Form von Inspektionstätigkeiten (vgl. Abb. 4) stattfinden. Hierbei wird zwischen „Betrieblichen Maßnahmen“, einer Laufenden Überwachung sowie Kontroll- und Prüftätigkeiten unterschieden.

Beurteilung	erforderliche Tätigkeit
1	Betriebliche Maßnahmen zur Sicherstellung des Erhaltungszustandes
2	Laufende Überwachung – verstärkter Zyklus
3	Laufende Überwachung – einmal jährlich
4	Kontroll- bzw. Prüftätigkeit gemäß RVS mit einem verkürzten Prüfintervall
5	Kontroll- bzw. Prüftätigkeit gemäß RVS mit einem normalen Prüfintervall

Abb. 4: Abgeleitete Handlungsanweisungen

Unter „Betrieblichen Maßnahmen“ werden im Zusammenhang mit diesem Konzept jene Tätigkeiten verstanden, welche zur Sicherstellung des Erhaltungszustandes beitragen. Generell kann darunter die Fortführung der Tätigkeiten des Streckendienstes (z.B. Sicherstellung der Entwässerung, Entfernen von Bewuchs) verstanden werden, sofern keine weiteren Mängel oder Schäden im Zuge einer visuellen Besichtigung durch das Personal zu erkennen sind. Sollte dies der Fall sein, ist eine erneute Beurteilung des Risikos erforderlich.

Die Laufende Überwachung stellt die in den RVS-Richtlinien angeführten Aufgaben des Streckendienstes dar. Dabei wird die „Feststellung von groben Schäden und auffälligen Veränderungen, soweit sie beim Befahren vom Fahrzeug aus sichtbar sind“ (vgl. [1]) vorgenommen. Generell sind diese einmal jährlich (mittleres Risiko) durchzuführen, können jedoch auch durch einen verstärkten Zyklus einer Überwachung (geringes Risiko) umgesetzt werden.

Erst ab einem hohen bzw. sehr hohen Risiko findet eine Einordnung des Bauwerkes in das „RVS-System“ und die damit einhergehenden Inhalte einer Kontrolle und Prüfung sowie die damit verbundenen Termine zur Durchführung statt.

Um die Anwendbarkeit dieses Konzeptes bzw. auch die Möglichkeiten aufzuzeigen werden nachfolgend zwei Beispiele gezeigt, ehe in Kapitel 4.4 auf die mögliche Reduktion des Aufwandes – sowohl personell als auch monetär – eingegangen wird.

4.2 Beispiel 1 - Steinschlichtung

Bei der in Abb. 5 abgebildeten Stützmauer handelt es sich um eine trocken vermörtelte Steinschlichtung, wel-

che zur Herstellung eines Einschnittes im Zuge der Trassierung einer Straße errichtet wurde. Die Steinschlichtung weist einen geringen Abstand zu Straße auf und ist entsprechend hoch. Zudem sind am gesamten Bauwerk kleinere Schäden vorhanden und die Mauer weist in der Mitte – im höchsten Bauwerksbereich – bereits eine große Ausbauchung auf. Weiters liegt an der Vorderseite des Bauwerkes ein dichter, das gesamte Bauwerk abdeckende Bewuchs vor, welcher die visuelle Prüfung des Bauwerkzustandes entsprechend schwierig gestaltet. Zudem sind unzureichende Entwässerungsmaßnahmen vorhanden. Zum einen ist keine Drainage im Bauwerksbereich ersichtlich und die Ableitung der Hang- und Straßenwässer an der Vorderseite des Bauwerkes ist mangelhaft und für die anfallenden Wässer zu klein dimensioniert.



Beschreibung Faktor	#
Abstand <<	1,00
kleinere Schäden / Mängel	0,50
Ausbauchungen	1,00
Drainage / Hangwasser	0,75
keine Unterlagen vorhanden	1,00
mittlerer Rang der Straße	0,60
RMZ - Risikomaßzahl	1,05
zusätzlich „einziges Zufahrt“	1,00
RMZ - Risikomaßzahl	1,75

Abb. 5: Beispiel einer Steinschlichtung

In der ersten Betrachtung wurde berücksichtigt, dass sich diese Steinschlichtung an einer Straße mit mittelhohem Rang befindet. Daraus resultiert eine RMZ von 1,05, welche ein mittleres Risiko widerspiegelt. Daraus folgend findet eine Einstufung dieses Objektes in die Laufende Überwachung nach RVS mit einer jährlichen Periode statt.

Wird bei der Betrachtung dieses Bauwerkes die Tatsache berücksichtigt, dass diese Steinschlichtung die „einziges Zufahrt“ zu einem besiedelten Talende darstellt, so er-

höht sich die RMZ von 1,05 auf 1,75 zufolge der höheren Gewichtung der Straße. Diese große Risikomaßzahl führt dazu, dass das Bauwerk durch die Prüftätigkeit nach RVS und den darin definierten Prüfintervallen zu inspizieren ist.

4.3 Beispiel 2 - Gewichtsmauer

Die in Abb. 6 dargestellte Gewichtsmauer weist ebenfalls einer großen Bauwerkshöhe auch einen geringen Abstand zur Straße auf. Zudem sind bereits massive Schäden am Bauwerk zu erkennen. Es liegt großflächiger Bewuchs vor und die Funktion der Entwässerung ist augenscheinlich eingeschränkt.

Aufgrund der angeführten Schäden am Bauwerk, den fehlenden Unterlagen sowie der Lage des Bauwerkes an einer ranghohen Straße, ergibt die Risikobewertung dieses Objektes eine RMZ von 1,75. Daraus folgend ist die Beibehaltung der Prüfzyklen nach RVS 13.03.61 erforderlichlich.



Beschreibung Faktor	#
Abstand <<	1,00
Bauwerkshöhe	1,00
kleinere Schäden / Mängel	0,50
Schäden Vorsatzschale	0,75
Entwässerung defekt	1,00
Bewuchs / Gelände	0,75
Keine Unterlagen vorhanden	1,00
ranghohe Straße	1,00
RMZ - Risikomaßzahl	1,75

Abb. 6: Beispiel Gewichtsmauer

4.4 Reduktion des Aufwandes

Bei Einhaltung der aktuellen Prüfperioden nach RVS 13.03.61 (vgl. [1]) für die Prüfung von bestehenden Stützbauwerken wären im Streckennetz des Landes

Steiermark jährlich rund 1.495 Kontrollen sowie ca. 370 Prüfungen durchzuführen. Um den Aufwand für die Prüftätigkeit nach RVS zu verdeutlichen wird nachfolgend eine Betrachtung dieser Inspektionstätigkeiten vorgenommen. Die für die Tätigkeiten angenommenen Stunden und die dazugehörigen Kosten beziehen sich auf Schätzungen und sind in [5] detaillierter ausgeführt.

Wie die Aufbereitung in Abb. 7 erkennen lässt, werden die Kontrollen durch eine Reduktion der Bauwerksanzahl deutlicher in der absolut benötigten Zeit beeinflusst, als dies bei den Prüfungen der Fall ist. Dies ist auf die größere Anzahl an erforderlichen Kontrollen im Vergleich zur Prüfung zurückzuführen.

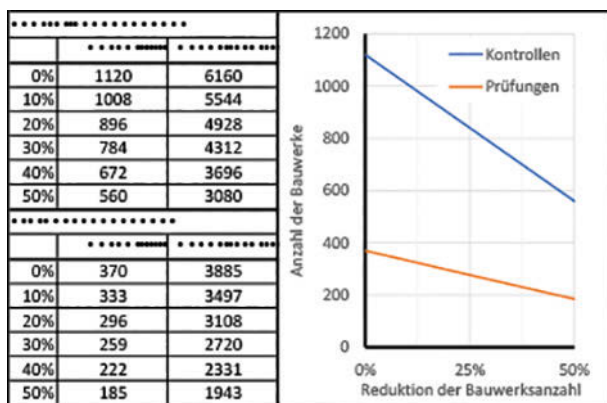


Abb. 7: Einfluss der Bauwerksanzahl

Demzufolge erscheint es sinnvoll, die Anzahl der nach RVS zu prüfenden Bauwerke zu reduzieren – und diese lediglich durch die Maßnahmen der „betrieblichen Erhaltung“ zu inspizieren. Dies ist jedoch auch damit verbunden, dass ein gewisses Restrisiko von diesen Bauwerken ausgehen wird. Dies kann jedoch im Regelfall nie ausgeschlossen werden. Vielmehr kann mit einer derartigen Priorisierung der Inspektionstätigkeiten – hin zu den Bauwerken mit einem größeren Risiko – im besten Fall sogar von einer Erhöhung der Streckensicherheit und Verfügbarkeit ausgegangen werden, da ein effizienterer Mitteleinsatz für die Erhaltung und auch Prüfung der Bauwerke sichergestellt wird.

5. Zusammenfassung & Ausblick

Mit dem hier vorliegenden Beitrag wurde ein Konzept zum Risikomanagement bzw. der Prioritätenreihung bei Stützbauwerken gezeigt. Dieses kann in Österreich auf Grund der rechtlichen und dem Stand der Technik entsprechenden Rahmenbedingungen der RVS-Richtlinien durchgeführt werden.

Das Konzept basiert auf der Ermittlung einer Risikomaßzahl für die zu prüfenden Objekte und der darauf aufbauenden Maßnahmeneinleitung. Ermöglicht wird eine einfachere Herangehensweise an die Inspektion von bestehenden Stützbauwerken sowie eine maßgeschneiderte und individuelle Anpassung an die Anforderungen des Bauwerkserhalters.

Das hier vorgestellte Konzept kann nicht nur für Stützbauwerke angewendet werden. Durch eine Anpassung des Kriterienkataloges und der erforderlichen Maßnahmen können die Prüfvorschriften der RVS-Richtlinien für Ingenieurbauwerke (Reihe RVS 13.03ff) erweitert werden. Beispiele hierfür sind:

- Brücken mit einfachen statischen Verhältnissen und eingeschränkter Stützweite;
- Lärmschutzbauwerke;
- Überkopfwegweiser.

Mit der Anlehnung des Konzeptes an die geltenden RVS-Richtlinien kann darüber hinaus zum einen die rechtliche Lage der Anwendung sichergestellt werden und zum anderen auch eine Überführung der Ergebnisse in bestehende Prüfsysteme sichergestellt werden.

Neben der Reduktion der Bauwerksanzahl, wie in Kapitel 4.4 angeführt, lässt sich aus wirtschaftlicher Sicht auch erkennen, dass durch eine generelle Reduktion des Aufwandes für die Prüfung ein massives Einsparungspotential ermöglicht wird. Hierzu können beispielsweise Maßnahmen der Digitalisierung (vgl. [5] & [6]) beitragen, umfangreiche Einsparungen sowohl in personeller als auch monetärer Sicht zu erzielen.

6. Danksagung

Das in diesem Beitrag vorgestellte Konzept zu einem Risikomanagement bzw. einer Prioritätenreihung bei Stützbauwerken wurde in Zusammenarbeit mit dem Land Steiermark – der Abteil A16, dem Referat für Bauwerkserhaltung und Geotechnik – erarbeitet. Die Inhalte dieses Beitrages sind der Diplomarbeit von Stefan S. Grubinger mit dem Titel „Risikomanagement bei bestehenden Stützbauwerken im Streckennetz des Landes Steiermark“ (vgl. [5]) entnommen und dort in größerer Tiefe ausgearbeitet.

Der besondere Dank für ihre Mitwirkung, die Einbringung ihrer Ideen, Vorschläge und Anforderungen ergeht an die beiden Mitarbeiter des Landes Steiermark, Franz Nöhner und Bernhard Saurug, ohne deren Fachwissen in diesem Bereich die Umsetzung dieses Projektes nicht in dieser Form möglich gewesen wäre.

Quellen

- [1] RVS 13.03.61 (2014): Qualitätssicherung bauliche Erhaltung – Überwachung, Kontrolle und Prüfung von Kunstbauten – Nicht geankerte Stützbauwerke, Österreichische Forschungsgesellschaft Straße, Schiene, Verkehr, Wien.
- [2] ÖGG (2019): Empfehlungen zur vertieften Prüfung und Beurteilung bestehender, unverankerter Stützbauwerke. Österreichische Gesellschaft für Geomechanik, Salzburg.

- [3] Nöhner F., Rebhan M.J., Saurug B., Marte R., Grubinger S., Mauerhofer G. (2019): Risikomanagement bei Stützbauwerken im Streckennetz des Landes Steiermark, Geomechanics and Tunneling 12 (2019), No. 5, Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co KG, Berlin.
- [4] Rebhan M.J. (2019): Korrosionsschäden bei Winkelstützmauern, Dissertation, TU Graz, Institut für Bodenmechanik, Grundbau und Numerische Geotechnik, Graz.
- [5] Grubinger S. S. (2020): Risikomanagement bei bestehenden Stützbauwerken im Streckennetz des Landes Steiermark. Masterarbeit, TU Graz, Institut für Bodenmechanik, Grundbau und Numerische Geotechnik.
- [6] Rebhan M.J., Marte R., Grubinger S., Nöhner F., Saurug B. (2020): Risiko- und Prioritätenmanagement bei Stützbauwerken des Landes Steiermark, Disaster Research Days 2020, DCNA
- [7] Amt der Steiermärkischen Landesregierung, (2010): Regionales Verkehrskonzept Obersteiermark-West 2010, Folder Regionales Verkehrskonzept der Bezirke Knittelfeld, Judenburg und Murau, Fachabteilung A18, Dezember 2010.



Anhang

Programmausschuss

Der Programmausschuss für das Kolloquium Straßenbau in der Praxis setzt sich aus anerkannten Experten aus Forschung und Entwicklung, Industrie und Praxis zusammen. Zu seinen Aufgaben gehören die Formulierung der Zielsetzung und Festlegung der Themenschwerpunkte der Fachtagung, die Begutachtung und Auswahl der eingereichten Vortragsvorschläge für das Tagungsprogramm und die fachliche Beratung des Veranstalters.

Vorsitzender

Prof. Dr.-Ing. Florian Schäfer
Hochschule Biberach

Mitglieder

Dr.-Ing. Anne Benner
Regierungspräsidium Tübingen – Landesstelle für
Straßentechnik

Benjamin Butscher, MBA
Strabag GmbH, Langenargen

Prof. Dr.-Ing. Leyla Chakar
Hochschule für Technik Stuttgart

Dr.-Ing. Thomas Chakar
Tiefbauamt Stuttgart

Dipl.-Ing., Dipl.-Wirtsch.-Ing. Alexander Hofmann
HOCHTIEF PPP Transport Westeuropa GmbH,
Essen

Prof. Dr.-Ing. Christian Holldorb
Hochschule Karlsruhe Technik und Wirtschaft

Dr.-Ing. Dirk Jansen
Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt),
Bergisch Gladbach

DI (Univ.) Mario Krmek
ASFİNAG Baumanagement GmbH, Wien,
Österreich

Dipl.-Ing. Ulrich Noßwitz
brenner BERNARD ingenieure GmbH, Aalen

Prof. Dr.-Ing. Steffen Riedl
Fachhochschule Erfurt

Dr.-Ing. Wiebke Thormann
ADAC München

Prof. Dipl.-Ing. Hartmut Veigle
Hochschule Biberach

Dr. Wolf-Henrik von Loeben
ViaTec Basel AG, Schweiz

Dipl.-Ing. Manfred Wacker
VSVI Baden-Württemberg, Stuttgart

Autorenverzeichnis

A		Hesterkamp, Andreas	275	M	
Adam, Stefan	601	Heuberger, Daniel	499	Marte, Roman	607
Albers, Annette	53	Hinrichs, Reinhard	115	Mayer-Kreitz, Marion	21
Alexander Eichler	235	Hollatz, Andreas	17	Mielke, Philipp	539
Alte-Teigeler, Tim	521	Holldorb, Christian	71, 163	Miesem, Sebastian	155
Austin-Böhm, Peter	397	Hülsbömer, Manuel	481	Mollenhauer, Konrad	89
		Hüttner, Uwe	35	Müller, Marcus	501
B				Muschalla, Martin	391
Baur-Fewson, Christine	17	J			
Bednarek, Nathalie	47	Jakovljevic, Tanja	31	N	
Behrens, Ralf	385	Jimenez, Simon	115	Nahoujy, Mahdi Rahimi	419
Benner, Anne	21	Johannsen, Knut	143	Natzschka, Volker	501
Benning, Gregor	349			Nöhner, Franz	607
Best, Berthold 4	37	K		Nolle, Nicolai	561
Boll, Rudolf	19	Kamratowsky, Erik	135		
Bolz, Siegfried	239	Kellner, Christoph	41	O	
Burgetsmeier, Bernd	243	Klähnhammer, Jens	317	Oeser, Markus	67
Bürkle, Tobias	565	Klöpfer, Christian	457		
Buttgereit, Alexander	143, 299	Klumbach, Steffen	291	P	
		Knobling, Franz	227	Patzak, Jörg	329
C		Koch, Carsten	203	Probst, Rebecca	375
Carreño, Nicolás	67	Koch, Christian	533		
Carstens, Andreas	275	Köhler, Martin	203	R	
Cypra, Sonja	71	König, Benjamin	269	Rappold, Michael	115
		Koordt, Maria	143	Rebhan, Matthias J.	115
D		Kübler, Markus	285	Rebhan, Matthias J.	607
Dieterle, Andreas	265	Kulmala, Risto	305	Reisenbichler, David	361
		Künz, Simon Martin	491	Reiterer, Alexander	533
E		Kupfer, Tobias	379	Rienhoff-Gembus, Ottmar	507
Eckart, Jochen	191, 451			Roetner, Moritz	533
Ellinger, Andreas	427	L			
		Laber, Arnd	485	S	
F		Leischner, Markus	397	Saurug, Bernhard	607
Fesser, Jonas	191	Licht, Dieter	471	Schmidt, Vera	291
Forster, Christian	457	Lindenbauer, Karl-Heinz	515	Schönauer, Thomas	143
Frey, Carsten	533	Linsel, Stefan	415	Schramm, Burghardt	511
		Lorenzl, Holger	203	Schrode, Rainer	105
G				Seifert, Gerhard	295
Gayer, Lisa	437			Seitner, Martin	375
Gerdes, Andreas	573			Sesselmann, Steffen	53
Gider, Kemal	469			Singbeil, Rüdiger	211
Gipperich, Christof	463			Sommer, Viktoria	475
Gogolin, Daniel	143, 299, 481			Spengler, Dirk-Uwe	405
Gomolluch, Stefan	299			Stöckner, Markus	85, 445, 451
Grubinger, Stefan S.	115, 607			Stumberger-Fischer, Sven	485
H					
Hautz, Astrid	427				
Heijkoop, David	99				
Heine-Nims, Torsten	313				
Hemsath, Björn	33				
Herb, Hartmut	85				

T		V		Z	
Theurer, Edgar	171	Velten, Andreas	123	Zeißler, Alexander	329
Tilger, Klaus	251	von Olshausen, Philipp	533	Ziegler, Hartmut	61
Tintelnot, Götz	515	Vondenhof, Martin	81	Zintel, Marc	583
Traber, Fabian	395			Zwernemann, Philip	445, 451
U		W			
Uhlig, Wolf	339	Wachsmann, Amina	71		
Ulrich, Sandra	305, 361	Waeber, Jean-Marc	395		
		Weise, Christiane	475		
		Wellner, Frohmut	135		
		Weßelborg, Hans-Hermann	143		
		Winter, Marius	89		
		Wörner, Christian	427, 551		



Technische
Akademie
Esslingen
Ihr Partner für
Weiterbildung



BAUWESEN, ENERGIEEFFIZIENZ UND UMWELT

Besuchen Sie unsere Seminare,
Lehrgänge und Fachtagungen.

Bis zu
70%
Förderung
möglich!



Ein Großteil unserer Seminare wird unterstützt durch das Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg aus Mitteln des Europäischen Sozialfonds. Profitieren Sie von der ESF-Fachkursförderung und sichern Sie sich bis zu 70% Zuschuss auf Ihre Teilnahmegebühr. Alle Infos zur Förderfähigkeit unter www.tae.de/foerdermoeglichkeiten

SEMINARE, LEHRGÄNGE, FACHTAGUNGEN

Geotechnik

Verkehrswegebau und Wasserbau

Konstruktiver Ingenieurbau

Bautenschutz und Bausanierung

Umwelt- und Gesundheitsschutz

Energieeffizienz

Baubetrieb und Baurecht

Facility Management

Infos und Anmeldung: www.tae.de

Eine funktionierende und leistungsfähige Infrastruktur gehört zu den essentiellen Voraussetzungen eines erfolgreichen Wirtschaftsstandorts Deutschland. Der Entwurf, der Bau und die Erhaltung von Straßen für den Fahrzeugverkehr spielen dabei eine herausragende Rolle. Auch in Zukunft wird die Straßenverkehrsinfrastruktur der bedeutendste Verkehrsweg bleiben.

Neue Verfahren im Straßenbau, der Zwang zur wirtschaftlichen Bauausführung und gehobene Qualitätsanforderungen erleichtern und erschweren zugleich die Realisierung vorhandener Projekte. Hinzu kommen gesteigerte Ansprüche der Menschen an die Beteiligung in der Planungs- und Bauphase. Das moderne Umweltschutzrecht erfordert in der Anwendung die frühzeitige Berücksichtigung relevanter Belange und den umfassenden Ausgleich von Eingriffen. Auf Nachhaltigkeit wird sowohl während des Baus als auch bei der Nutzung der Infrastruktur geachtet.

Die Digitalisierung in den Planungs- und Bauprozessen schreitet voran. Unter dem Begriff Building Information Modeling (BIM) wird die ganzheitliche Betrachtung des Straßenbaus in einem integrierten Modell ermöglicht. So wird die Zusammenarbeit von Bauherren bzw. Behörden, Planern und Baufirmen auf eine völlig neue Basis gestellt.

Vor diesem Hintergrund findet das 2. Kolloquium „Straßenbau in der Praxis“ statt, in Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Straßenwesen, der Bauwirtschaft Baden-Württemberg e.V. und der Vereinigung der Straßen- und Verkehrsingenieure Baden-Württemberg.

Im Rahmen des Kolloquiums werden etwa 80 Beiträge aus Forschung, Industrie und Praxis in vier parallelen Sessions präsentiert.

Der Inhalt

- › Mobilität und Verkehr
- › Mobilitätsentwicklung
- › Kommunale Planung
- › Asphaltbauweisen
- › Asphaltmodifikation
- › Asphaltrecycling
- › Optimierte Asphaltoberflächen
- › Bitumen
- › Pflasterbauweisen
- › Baustoffrecycling
- › Betonsanierung
- › Oberbaudimensionierung
- › Erhaltungsmanagement
- › Vermessung 4.0
- › Zustandserfassung 4.0
- › Ingenieurbauwerke
- › Digitalisierungspotenziale
- › Digitale Prozesse
- › Digitalisierte Baustelle
- › BIM im Straßenwesen, in der Planung, Ausführung und Erhaltung

Das vorliegende Tagungshandbuch enthält die vorab eingereichten Beiträge zu den Vorträgen.

Die Zielgruppe

- › Ingenieurbüros
- › Baufirmen
- › Kommunen und Straßenbaubehörden
- › Projektsteuerer
- › Forschungseinrichtungen
- › Baustoffhersteller
- › Softwareentwickler



Technische Akademie Esslingen
Ihr Partner für Weiterbildung
www.tae.de

expert

ISBN 978-3-8169-3525-4



9 783816 935254