



Herausgegeben von
Jürgen Krieger



2. Fachkongress Digitale Transformation der Verkehrsinfra- struktur

Fachtagung über Planung, Bau, Betrieb, Unterhalt,
Rückbau von Brücken, Tunneln, Schienen, Straßen,
Wasserwegen digital

Tagungshandbuch 2023

2. Fachkongress
Digitale Transformation
der Verkehrsinfrastruktur
20. und 21. Juni 2023
Technische Akademie Esslingen

Herausgegeben von

DirProf. Dr.-Ing. Jürgen Krieger

2. Fachkongress Digitale Transformation der Verkehrsinfrastruktur

Fachtagung über Planung, Bau, Betrieb, Unterhalt, Rückbau von
Brücken, Tunneln, Schienen, Straßen, Wasserwegen digital

Tagungshandbuch 2023

Medienpartner:

STRASSEN-
& TIEFBAU

Internationales
Verkehrswesen

expert›

bauplaner

INGENIEUR
SCHIELE & SCHÖN **BAU**

Verkehrsblatt - Verlag

TAE weiterbilden
weiterkommen

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.

© 2023. Alle Rechte vorbehalten.

expert verlag
Ein Unternehmen der
Narr Francke Attempto Verlag GmbH + Co. KG
Dischingerweg 5 · D-72070 Tübingen
eMail: info@verlag.expert
Internet: www.expertverlag.de

Technische Akademie Esslingen e. V.
An der Akademie 5 · D-73760 Ostfildern
eMail: bauwesen@tae.de
Internet: www.tae.de

Printed in Germany

ISBN 978-3-8169-3554-4 (Print)
ISBN 978-3-8169-8554-9 (ePDF)

Vorwort

Der Bausektor, insbesondere der Straßen- und Tiefbau, gehört zu den Wirtschaftssektoren mit einer vergleichsweise geringen Digitalisierungsquote. Traditionell geprägte Arbeitsabläufe, die Struktur der am Bau beteiligten Unternehmen und Kommunen, die Komplexität von Infrastrukturanlagen, heterogene Datenbestände sowie fehlende finanzielle und personelle Mittel sind Gründe dafür. Dadurch werden Möglichkeiten zur Effizienzsteigerung nicht hinreichend genutzt. Die Digitale Transformation bietet Chancen, um diese Herausforderungen zu bewältigen und die Effizienz, Nachhaltigkeit und Sicherheit der Verkehrsinfrastruktur zu verbessern.

In diesem Kontext findet der 2. Fachkongress Digitale Transformation der Verkehrsinfrastruktur an der Technischen Akademie Esslingen statt. Der Fachkongress widmet sich dem Austausch aktueller Erkenntnisse aus Wissenschaft, Industrie, Kommunen und Praxis auf dem Gebiet der Digitalen Transformation der Verkehrsinfrastruktur. Dabei werden in ca. 40 Plenar- und Fachvorträge in parallelen Sessions sowohl Potenziale und Herausforderungen digitaler Technologien aufgezeigt als auch Konzepte zur Verknüpfung von (zukünftigen) digitalen Entwicklungen mit der Verkehrsinfrastruktur präsentiert. Die Gewährleistung von Sicherheit, Dauerhaftigkeit, Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit und Leistungsfähigkeit stehen dabei im Fokus eines ganzheitlichen Lebenszyklusmanagements von Verkehrsinfrastrukturen.

Themenschwerpunkte

- Asset Management
- Bauwerksdiagnostik
- Building Information Modeling (BIM)
- Digital Twin
- Geoinformationssysteme (GIS)
- Künstliche Intelligenz
- Monitoring
- Scan2BIM

Das vorliegende Tagungshandbuch enthält die vorab eingereichten Beiträge zu den Vorträgen und zeigt Potenziale und Herausforderungen digitaler Technologien und präsentiert Konzepte zur Verknüpfung von (zukünftigen) digitalen Entwicklungen mit der Verkehrsinfrastruktur. Darüber hinaus werden aktuelle Anwendungen vorgestellt und ihr Nutzen im Lebenszyklus betrachtet.

Weitere Informationen unter: www.tae.de/50051

Inhaltsverzeichnis

0.0	Plenarvorträge	
0.1	Nutzung von digitalen Werkzeugen für die nachhaltige Infrastrukturplanung Oliver Queck, M. Sc. Geologie	13
0.2	Infrastruktur vernetzt denken Dipl.-Ing. (FH) Rebecca Probst, MBA & Eng., Dipl.-Ing. (FH) Martin Seitner, M. Sc.	17
0.3	Die digitale Autobahn Dr.-Ing. Marion Mayer-Kreitz, Slavica Grosanic, Alen Kolarec	21
1.0	Asset Management	
1.1	Auf dem Weg zu einem ganzheitlichen Asset-Management für die Straßeninfrastruktur Dipl.-Ing. Kay Degenhardt	31
1.2	BIM zur Unterstützung eines effizienten Asset Managements der Straßeninfrastruktur Dr.-Ing. Tim Blumenfeld, Prof. Dr.-Ing. Markus Stöckner, Univ.-Prof. Dr. sc. techn. ETH Rade Hajdin, Dr. sc. ETH Dipl.-Ing. Frank Schiffmann, Prof. Dr.-Ing. Markus König	41
1.3	Die technische Realisierung echtzeitbasierter Mess- und Auswerteprozesse von Klima- und Verkehrsbelastungsdaten kommunaler Straßeninfrastruktur Dipl.-Inf. Uwe Reinhardt, Marko Tesic	51
1.4	Anwendung der BIM-Methode im Anlagen- und Instandhaltungsmanagement der Eisenbahninfrastruktur Cornelius Stehr, M. Eng., Prof. Dr.-Ing. Alexander Buttgerit	57
2.0	Monitoring	
2.1	Monitoring von Ingenieurbauwerke – aktuelle und zukünftige Anwendungsfälle Dr. Iris Hindersmann, Dr.-Ing. Matthias Müller, Felix Kaplan, M. Sc.	63
2.2	Standardisierung im Structural Health Monitoring (SHM) – Konzeptvorschlag Prof. Dr.-Ing. Thomas Braml, Johannes Wimmer, M. Eng., Fabian Seitz, M. Sc., Prof. Dr.-Ing. Max Spannaus, Norman Diersch, Iris Hilbricht, Dr.-Ing. Norbert Romen, Maximilian Reingruber, Jürgen Hamm, Martin Krettek, Dr. Michael Häuserer	71
2.3	Passive kabellose Sensorplattform am Beispiel eines Randbalkens Dipl.-Ing. Dr. techn. Dominik Mair, Dipl.-Ing. Julian Konzilia, Ph. D. Michael Renzler, Dipl.-Ing. Djordje Gunjic, Dr. techn. Moritz Fischer, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Ussmueller, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jürgen Feix	83

3.0	Scan2BIM	
3.1	Algorithmische Erkennung von Stützmauern aus 3D-Punktwolken der Straßenbefahrung	93
	Dr. sc. ETH Dipl.-Ing. Frank Schiffmann, Univ.-Prof. Dr. sc. techn. ETH Rade Hajdin, Lazar Rakić, M. Sc. ETH, Dr. rer. nat. Rico Richter, M. Sc.	
3.2	B90 Brückenensemble Lübeck 3D-Bestandserfassung	101
	Vermessungsingenieur Andreas Petter	
3.3	Scan2BIM: Einsatz künstlicher Intelligenz zur Generierung von BIM-Bestandsmodellen im Straßenbrückenbau	107
	Jennifer Bednorz, M. Eng., Prof. Dr. sc. techn. ETH Rade Hajdin, Dr. rer. nat. Rico Richter, M. Sc., Dipl.-Ing. Lazar Rakić, M. Sc. ETH, Dr. sc. ETH, Dipl.-Ing. Holger Diederich, Justus Hildebrand, M. Sc., Sebastian Schulz, M. Sc., Prof. Dr. Jürgen Döllner	
4.0	Geoinformationssysteme	
4.1	Geodateninfrastrukturen für Digitalisierungsprozesse bei der Autobahn GmbH des Bundes	117
	Nikolaus Kemper	
4.2	Integration der BIM-Methode in GIS für kommunale Infrastrukturanlagen	125
	Jonas Maibaum, M. Sc., Amina Wachsmann, M. Eng., Prof. Dr.-Ing. Markus König	
4.3	Straßenzustandserfassung: Geocodiert oder Netzknoten-Kanten-bezogen, was benötigen wir morgen?	133
	Dr.-Ing. Ute Stöckner, Prof. Dr.-Ing. Markus Stöckner	

5.0	Building Information Modeling (BIM)	
5.1	BIM in Betrieb und Unterhalt von Brücken – wer geht voran? Dr. sc. techn. Jörg-Martin Hohberg	139
5.2	Herausforderungen bei der Einführung der BIM-Methode in der kommunalen Anwendung Prof. Dr.-Ing. Markus Stöckner, Dr. sc. ETH Dipl.-Ing. Frank Schiffmann, Dr.-Ing. Ute Stöckner, Prof. Dr.-Ing. Alexander Buttgerit	147
5.3	BIM und Künstliche Intelligenz für den kommunalen Straßen- und Ingenieurbau Winona Grimsehl-Schmitz, Eva-Maria Stieglitz-Broll	159
5.4	Verkehrsanlagenplanung in BIM-Projekten Dipl.-Wirtschaftsinformatiker FH Volker Uminski, Dipl.-Mathematiker Jens Bartnitzek, Wahid Fazelly, M. Sc.	165
5.5	Umbau Autobahndreieck Funkturm, Berlin Dipl.-Ing. Wolfgang Strobl	167
5.6	BIM in der Betriebsphase von Ingenieurbauwerken Anna Bodencko, M. Sc.	173
5.7	Integrationsansätze von SHM-Messdaten in BIM-Modelle von Brückenbauwerken Martin Köhncke, M. Sc., Dr.-Ing. Francesca Marsili, Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Sascha Henke, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sylvia Keßler	179
5.8	Von der Grundlagenermittlung zum 3D-Bestandsmodell – Digitalisierung im Verkehrswasserbau Dipl.-Ing. (FH) Stephan Müller, Prof. Dr.-Ing. Jan Akkermann	183
5.9	Die deutschlandweit erste interaktive VR-basierte Schulungssoftware im Baugewerbe: TOUGH Berna Top, M. Sc.	189
6.0	Digital Twin	
6.1	Eine Plattform-Infrastruktur für Digital Twins Dr. Ilka May	197
6.2	Assetübergreifender Digitaler Zwilling für den Bestand Dipl.-Ing. Jens Kühne	203
6.3	KPI-basiertes Lebenszyklusmanagement von Infrastrukturbauwerken Prof. Dr. sc. techn. ETH Rade Hajdin, Dr.-Ing. Tim Blumenfeld, Dr. Dipl.-Bauingenieur UB Nikola Tanasić, Dr. sc. ETH Dipl.-Ing. Frank Schiffmann	209
6.4	Lösungsansätze zur Implementierung von Digitalen Zwillingen in BIM Prof. Dr.-Ing. Martin Herbrand	217
6.5	Ein Digitaler Zwilling für die Filstalbrücken entsteht Alex Lazoglu, M. Sc., Adrian Bartsch, M. Sc., Hubert Naraniecki, M. Sc., Dipl.-Ing. Daniel Oberhauser, Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx	225

7.0	Künstliche Intelligenz	
7.1	Maschinelles Lernen zur Zustandserkennung bei Ermüdungsversuchen an Spannbetonträgern	239
	Yasser Alshaban Alqasem, M. Sc., Dr.-Ing. Jens Heinrich, Dr.-Ing. Matthias Müller	
7.2	Halbautonome Schadenskartierung und -segmentierung mit Spot	247
	Patrick Herbers, M. Sc., Firdes Çelik, M. Sc., Marlena Block, M. Sc., Prof. Dr.-Ing. Markus König	
7.3	Die digital unterstützte Brückenprüfung am Beispiel des Einsatzes künstlicher Intelligenz und erweiterter Realität	251
	Jessica Steinjan, Stephan Embers, M. Sc., Jan-Derrick Braun, David Schammler, Sven Zentgraf, Patrick Herbers, M. Sc., Firdes Celik, M. Sc., Benedikt Faltin, Prof. Dr.-Ing. Markus König, Regierungsrätin Sonja Nieborowski, M. Sc., Regierungsdirektor Dipl.-Ing. Ralph Holst	
8.0	Bauwerksdiagnostik	
8.1	Digitalisierung der Bauwerksdiagnostik zur realitätsnahen Bewertung von Ingenieurbauwerken	261
	Chris Voigt, M. Eng., Christina Fritsch, M. Sc., Tina Hackel	
8.2	Digitale Prüfung von Infrastrukturbauwerken aus Sicht des Bauwerkserhalters, des Prüfpersonals und des Softwareherstellers	273
	Dipl.-Ing. Stefan S. Grubinger, BM, Dipl.-Ing. Simon Jimenez, MA, Dipl.-Ing. Dr. techn. Andreas Schüppel, Dipl.-Ing. Dipl.-Ing. Dr. techn. Matthias J. Rebhan, BM, Dipl.-Ing. Christoph Antony, Dipl.-Ing. Clemens Klass, Dipl.-Ing. Lukas Gruber	
8.3	Struktur und Arbeitsablauf zur Integration von bauwerksdiagnostischen Ergebnissen in digitale Bauwerksmodelle	283
	Dipl.-Ing. Martin Schickert, Mathias Artus, Chris Voigt, M. Eng., Manik Mehta	
9.0	Anhang	
9.1	Programmausschuss	293
9.2	Autorenverzeichnis	295



Plenarvorträge

Nutzung von digitalen Werkzeugen für die nachhaltige Infrastrukturplanung

Von der Theorie in die Praxis

Oliver Queck, M. Sc. Geologie
ORIS SAS Paris

Zusammenfassung

Materialien spielen eine entscheidende Rolle im Bau von Infrastruktur. Gesteinskörnungen, Asphalt und Beton machen den übergroßen Teil der eingesetzten Baustoffe in einem Straßen- und Gleisbau- Projekt aus. Gleichzeitig verursachen die Baustoffe ca. 85 % der Emissionen in einem Bauprojekt. Dabei fließen die Emissionen durch die Produktion der Baustoffe, den Transport und den Einbau in diese Zahl ein.

Um die verschiedenen Klimaziele der Regierung und die der Bauunternehmen, z. B. Nachhaltigkeitsberichte, zu erreichen, bedarf es einer besseren Nutzung der Baumaterialien.

Mit Hilfe digitaler Werkzeuge und der zur Verfügung stehenden Regelwerke zur Kalkulation von CO₂ können neue und optimierte Bauweisen sichtbar und vergleichbar gemacht werden. Mit der Digitalisierung der Regelwerke, Normen und Richtlinien und der Umwandlung in intelligente Algorithmen können schnell verschiedene Aufbauvarianten identifiziert und miteinander verglichen werden. Ziel muss es sein, in einer möglichst frühen Phase bereits die vor Ort verfügbaren Materialien in der Planung von Infrastrukturprojekten zu berücksichtigen und die Aufbauten, auf die lokal verfügbaren Materialien (sowohl Primärrohstoffe als auch Recyclingbaustoffe) zu optimieren. Reduktionen von CO₂ im Bereich von 25 % sind nicht ungewöhnlich und oft können die Kosten reduziert werden, weil Baustoffe vor Ort wiederverwendet und nicht kostspielig transportiert werden müssen.

Nur durch einen optimierten Einsatz von Baustoffen können die Klimaziele im Infrastruktursektor erreicht werden, da mit 85 % Anteil am CO₂ Fußabdruck die Baustoffe den mit Abstand größten Hebel besitzen.

1. Problemstellung

Der Druck aus der Politik und die ausgerufenen Ziele der CO₂ Reduktion, sowohl national als auch international, führen dazu, dass die Messung von CO₂ Emissionen immer mehr in den Fokus gerät.

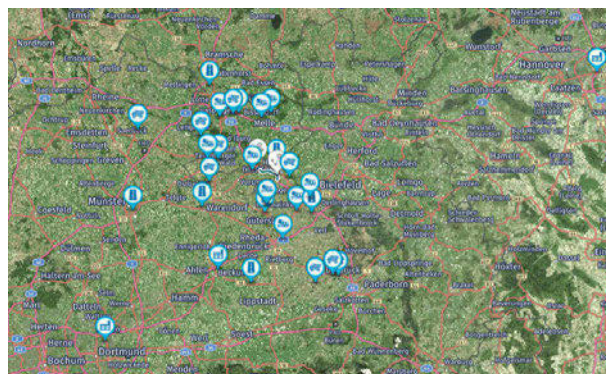
Um effektiv den CO₂- Fußabdruck in Straßen - und Gleisbau zu senken, bedarf es wissenschaftlich korrekter und nach den Regelwerken angepasster Kalkulationssysteme. Besonders die eingesetzten Baumaterialien haben hier den größten Hebel bei den Emissionen; sie verursachen insgesamt ca. 85 % der Gesamtemissionen eines Projektes. Es reicht jedoch nicht nur die Emissionen der Bauphase zu betrachten, entscheidend ist es, den gesamten Lebenszyklus zu betrachten (inklusive Nutzung, Wartung und Rückbau), um fundierte und zukunftsgerichtete Entscheidungen treffen zu können.

Bis vor kurzem gab es hier noch keine Lösung die diesen Ansprüchen entspricht; mit ORIS ist nun der Bauherr, der Planer und das Bauunternehmen in der Lage, diese Sichtbarkeit zu erhalten und vor allem auch gemeinsam und digital am Projekt zu arbeiten.

2. Methodik

Der lokale Kontext ist für die Optimierung eines Infrastrukturprojektes von entscheidender Bedeutung. Baustoffe werden in der Regel lokal produziert und vertrieben. Um diesen Kontext in ORIS herzustellen, wurde die

gesamte Landschaft der Materiallieferanten (Asphalt, Beton, Gesteinskörnung) kartiert und in ORIS integriert.



Die Lieferstandorte haben entweder die spezifischen Produktkataloge (wenn das Unternehmen bereits bei ORIS gelistet ist) hinterlegt oder aber es wurden Referenzprodukte ergänzt.

Um eine möglichst genaue Grundlage bei den Daten für den CO₂ Fußabdruck des Produktes zu haben, wurden entweder die EPD der Materialhersteller genutzt oder aber eine Anbindung an die ÖKOBAUDAT und ECOInvent Datenbank. Die ÖKOBAUDAT hat den Vorteil, dass sie aus den EPD, die durch das Institut für Bauen und Umwelt (EPD Programm Operator in Deutschland) ge-

neriert und gespeist werden und damit immer aktuelle Werte beinhalten. Zusätzlich zu den Materialdaten wurden auch alle relevanten Normen (Bsp.: DIN- EN1260, DIN- EN 13043) und Regelwerke (Bsp.: RDO Asphalt/ RDO Beton und RStO 12) in ORIS integriert.

Die relevanten Teile (Tabellen usw.) wurden in Algorithmen dem System hinterlegt, um automatisch Designoptionen vorschlagen zu können.

In der letzten und entscheidenden Stufe wurde das System den aktuell geltenden ISO und Standards angepasst und damit die größtmögliche Compliance geschaffen. ORIS ist konform mit den folgenden ISO/ Standards:

- ISO 14067: 2018 Verifizierung der CO₂-Billanz
- ISO 21930: 2017- 07 Nachhaltigkeit von Bauwerken - Grundregeln für die Umweltdeklaration von in Bauwerken verwendeten Bauprodukten und technischen Anlagen
- DIN EN 15804: 2022- 03 Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklarationen Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte

Um eine zusätzliche Ebene der Qualitätssicherung zu haben wird das System regelmäßig extern geprüft und validiert. Im Dezember 2022 erhielt ORIS über das weltweit agierende Unternehmen Intertek ein Assurance Statement für die Methodik, nach der das System arbeitet. Aktuell (Stand April 2023) lässt ORIS das System durch das Institut CRAIG (weltweit führend in LCA) prüfen.

Link: Assurance Statement:

<https://www.oris-connect.com/en/intertek-assurance>

Link: <https://craig.org/index.php/about/>

3. Lösung

Mit ORIS wurde ein System geschaffen, in dem der gesamte Lebenszyklus des Bauwerkes betrachtet werden kann. Auch nachträgliche Anpassungen, z. B. Veränderungen der Verkehrsbelastung, können später durchgeführt werden und das System kalkuliert automatisch die neuen Parameter mit ein.

Die Streckenführung eines Neubauprojektes oder einer Sanierungsmaßnahme kann über Anbindungen zu Civil3D (Autodesk), durch GPS Daten (KML Format) oder

aber auch Freihand in ORIS integriert werden. Der Nutzer wählt nun die Zufahrtspunkte zum Projekt, diese Wahl ist entscheidend, da das System die Transportdistanzen und Transport CO₂ Werte zu diesen Punkten berechnet.



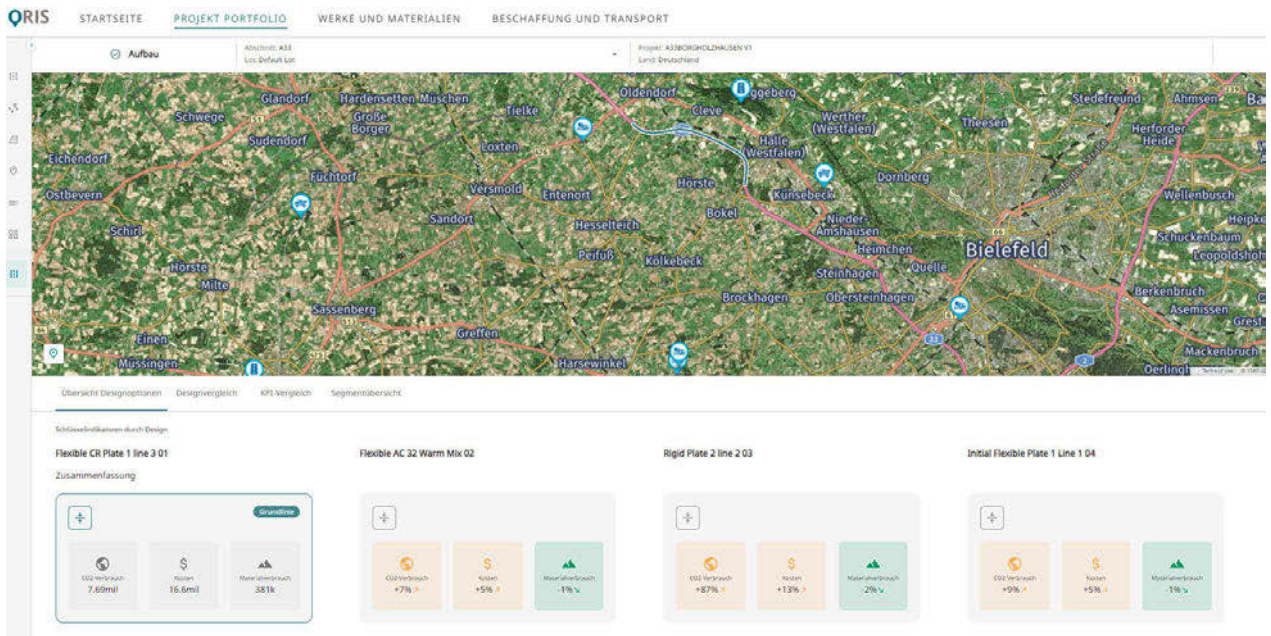
Im nächsten Schritt werden Parameter ergänzt; wie die zu erwartende Entwicklung der Verkehrsbelastung im gewünschten Zeitraum, die Untergrundbedingungen, Anzahl und Breite der Fahrbahnen je Richtung, Frostzonen, Grundwasserbedingungen und die gewünschte Bauklasse.

Nun ist das System in der Lage automatisch aus den verschiedenen Tabellen der relevanten Standards zu suchen und dann aus dem Designkatalog heraus Aufbauvorschläge zu machen. Die Integration alternativer Aufbauten ist ebenfalls möglich.

Da nun die Volumina der Schichten und die Aufbauvarianten bekannt sind, kann ORIS mit Hilfe der Produktkennwerte der einzelnen potenziellen Lieferwerke (Nutzer entscheidet in welchem Radius) die ersten Kalkulationen durchführen.

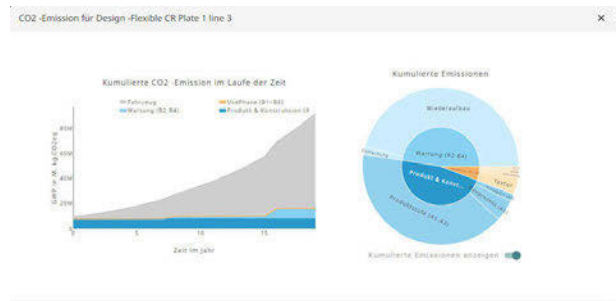
Der Nutzer erhält nun die Betrachtung des A Modul der Kreislaufwirtschaftsbetrachtung. Dieses Modul beinhaltet die Module A1 bis A3 Produktion, A4 Transport und A5 Einbau.

Zusätzlich bekommt der Nutzer Kennzahlen zum Verbrauch natürlicher Rohstoffe und den zu erwartenden Kosten, basierend auf marktüblichen Preisen.

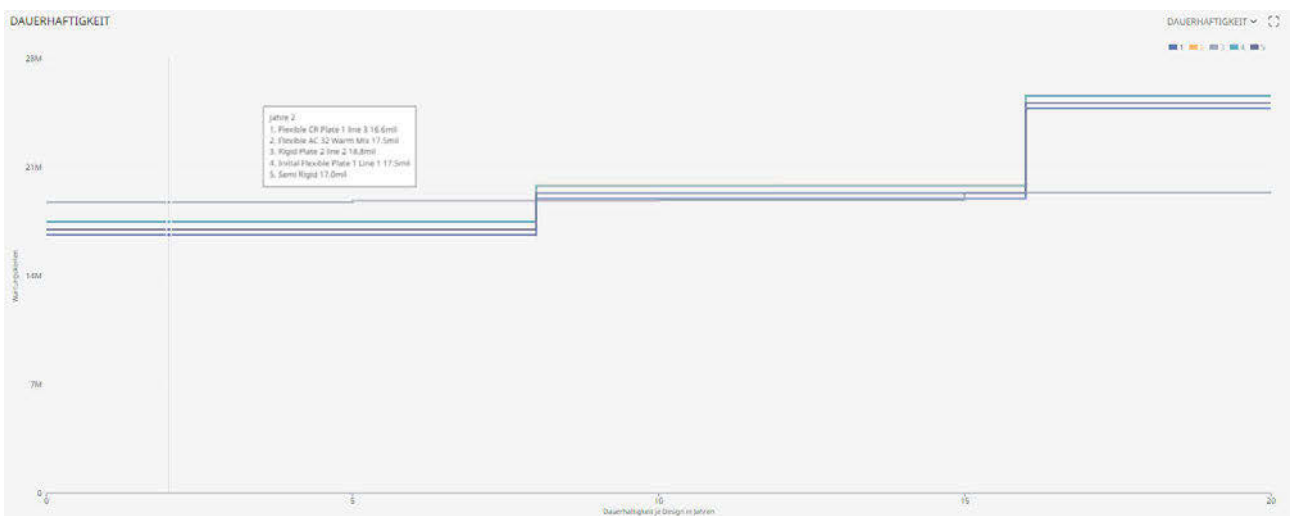


Um die Neutralität des Systems sicherzustellen gibt es in ORIS keine scharfen Preise. Alle Produkte einer Produktfamilie haben deutschlandweit den gleichen Preis zur Schaffung einer direkten Vergleichbarkeit. Zusätzlich werden die Preise individuell je Anbieter durch das anbietende Unternehmen kalkuliert und variieren in einer frühen Phase noch sehr stark.

Im nächsten Schritt werden über Standardverfahren die Emissionen durch die Nutzung der Straße (Modul B1 bis B6) für jede Variante berechnet. In dieser Phase werden unter anderem Reibungswiderstände der Fahrbahnbeläge, Lichtbrechungseffekte bis hin zu Emissionen in Verbindung mit der Beleuchtung der Fahrbahn berücksichtigt.



Ein entscheidender Faktor ist die Betrachtung der Aufwendungen für Wartung und Pflege über den definierten Lebenszyklus der Straßen oder Schienen. Der zusätzliche Verbrauch von Rohstoffen und der Einbau der benötigten Baustoffe müssen in einer Gesamtbetrachtung berücksichtigt werden, um ein ganzheitliches Bild für das jeweilige Projekt zu schaffen. Mitunter zeigt sich bei einer Betrachtung über den gesamten Lebenszyklus, dass eine vermeintlich nachhaltige Bauweise (A1 bis A5) am Ende wartungsintensiver und doch weniger nachhaltig ist.



Ein weiterer wichtiger Faktor, der in ORIS betrachtet wird und einen maßgeblichen Einfluss auf den Aufbau eines Straßen- oder Schienenbauwerkes hat sind die klimatischen Faktoren. Besonders der Einfluss durch Hitze kann zu einer starken zusätzlichen Beanspruchung des Material seiner Fahrbahndecke führen und eine beschleunigte Alterung hervorrufen. Dies führt im Umkehrschluss dazu, dass Fahrbahndecken früher erneuert werden müssen. Ein weiterer Aspekt ist die Häufigkeit von Starkregenereignissen. Eine ausreichende Drainierung ist unabdingbar, um die Dauerhaftigkeit eines Bauwerkes sicherstellen zu können. Die letzten verheerenden Hochwasserereignisse in der Eifel und an der Mosel haben gezeigt, dass Starkregen, neben dem tragischen Verlust von Menschenleben, auch zu erheblichen Schäden der Infrastruktur führen kann und damit die Versorgung solcher geschädigten Gebiete zusätzlich erschwert oder behindert.

Der dritte wichtige klimatische Faktor sind die Frost- Tauwechselzyklen. Durch den häufigen Wechsel von Frost und Tau- Phasen kann es zu einer erheblichen Schwächung der Straßenoberflächen kommen. Die Entstehung von u.a. Mikrorissen führt zum Eindringen von Wasser und Salzen und damit zu Frost und Salz Sprengungen im Material selbst.

In ORIS können diese oben genannten Parameter mit modelliert werden, um ein möglichst genaues Bild der Beanspruchungen entlang der Lebensphase darstellen zu können.

4. Ergebnis

Mit ORIS haben wir ein Werkzeug geschaffen, das die Baumaterialien in den Fokus der frühen Straßen und Gleisplanung rückt, um möglichst effizient, nachhaltig und ressourcenschonend bauen zu können.

Der Einfluss von Baumaterialien in einem Bauprojekt ist mit ca. 85 % erheblich und die abgeschlossenen Projekte zeigen ein Einsparungspotenzial von im Durchschnitt 25 % bei einer zusätzlichen Reduktion von Kosten (ca. 20 %) und dem Einsatz natürlicher Rohstoffe (ca. 25 %). Digitale Werkzeuge in Verbindung mit Fachwissen können bei der nachhaltigen Planung einen großen Mehrwert generieren. Auch im Hinblick auf die demographische Entwicklung in Deutschland ist es unabdingbar, Schritte in der Planung zu automatisieren, um leistungsfähig zu bleiben und den Ansprüchen an die Investition in die Infrastruktur der nächsten Jahrzehnte gerecht zu werden.

Infrastruktur vernetzt denken

Herausforderungen und Lösungsansätze der Verkehrsinfrastruktur der Zukunft

Dipl.-Ing. (FH) Rebecca Probst, MBA & Eng.
Konstruktionsgruppe Bauen AG, Kempten

Dipl.-Ing. (FH) Martin Seitner, M. Sc.
Konstruktionsgruppe Bauen AG, Kempten

Zusammenfassung

Um den künftigen Bedürfnissen der Gesellschaft und der vernetzten Welt gerecht zu werden, muss die Infrastruktur in Deutschland und Europa bereits heute vernetzt gedacht und geplant werden. Dabei geht es nicht nur um den Ausbau der digitalen Infrastruktur, sondern vor allem um die Integration von intelligenten Verkehrs-, Energie- und Kommunikationssystemen. Neben den Faktoren der Neo-Ökologie, der Urbanisierung und der damit einhergehenden Veränderung der Verkehrsströme, des Klimawandels und dem Wachstum aber auch der Alterung der Gesellschaft wird die Verkehrsinfrastruktur künftig auch von den Entwicklungen der Konnektivität beeinflusst. Zudem verstärken sich die Forderungen hinsichtlich Inklusion, Sicherheit, Flexibilität und Multimodalität. Grundlage für die Vernetzung aller Faktoren bildet die Digitalisierung.

1. Einführung

Die fortschreitende Digitalisierung und Vernetzung von Wirtschaft, Gesellschaft und Infrastruktur stellt auch die Verkehrsinfrastruktur vor große Herausforderungen. Die Veränderungen, die mit den Entwicklungen einhergehen, betreffen nicht nur den Ausbau der digitalen Infrastruktur, sondern auch die Integration von intelligenten Verkehrs-, Energie- und Kommunikationssystemen. Es geht darum, die Infrastruktur vernetzt zu denken und so den künftigen Bedürfnissen der Gesellschaft und der vernetzten Welt gerecht zu werden.



Abb. 1: Infrastruktur vernetzt denken (Konstruktionsgruppe Bauen AG)

2. Herausforderungen der Verkehrsinfrastruktur

Die Verkehrsinfrastruktur ist ein integraler Bestandteil unserer modernen Gesellschaft und hat einen direkten Einfluss auf unsere Mobilität, unsere Wirtschaft und unser tägliches Leben. Sie umfasst Straßen, Brücken, Eisenbahnen, Flughäfen und öffentliche Verkehrsmittel und ist entscheidend für die Mobilität von Menschen und Gütern. Die fortschreitende Digitalisierung und Vernetzung von Wirtschaft, Gesellschaft und Infrastruktur stellt auch die Verkehrsinfrastruktur vor große Herausforderungen, die es zu bewältigen gilt.

Der Bau und die Instandhaltung von Straßen, Brücken und anderen Verkehrseinrichtungen erfordern erhebliche finanzielle Ressourcen, die oft nicht ausreichend vorhanden sind. Dies führt oft zu einem Investitionsstau und einer Verschlechterung der Verkehrsinfrastruktur.

Des Weiteren haben die steigende Bevölkerungszahl und die zunehmende Mobilität zu einem Anstieg des Verkehrsaufkommens auf Straßen und anderen Verkehrswegen geführt. Dies führt zu Verkehrsüberlastungen und Staus, die die Mobilität einschränken und die Produktivität beeinträchtigen können. Dazu führt die zunehmende Alterung der Gesellschaft neben einer dadurch bedingten Zunahme der Mobilität zu veränderten Bedürfnissen hinsichtlich dieser, angepasst an die ältere Gesellschaft. Auch die zunehmende Urbanisierung bedingt veränderte Verkehrsströme, welche bewältigt werden müssen.

Wesentlich ist auch die Sicherheit, da Unfälle auf Straßen und anderen Verkehrswegen schwerwiegende Folgen haben können und ein erhebliches Risiko für die öffentliche Gesundheit und Sicherheit darstellen. Eine weitere Herausforderung ist die Umweltbelastung durch den Verkehr.

Der Verkehr ist ein bedeutender Verursacher von Luftverschmutzung und Treibhausgasemissionen. Durch die zunehmende Bedeutung von Nachhaltigkeit und Umweltverträglichkeit muss die Verkehrsinfrastruktur umweltverträglicher gestaltet werden. Nicht zuletzt wegen der zunehmenden extremen Wetterbedingungen wie Starkregen und Hitzeperioden aufgrund des Klimawandels muss die Verkehrsinfrastruktur angepasst werden.

Auch die gesellschaftliche Forderung nach höherer Flexibilität hinsichtlich Verfügbarkeiten von Mobilität zugeschnitten auf die individuellen Bedürfnisse nimmt zu. Schließlich ist die Verkehrsinfrastruktur auch mit technologischen Herausforderungen konfrontiert. Neue Technologien wie selbstfahrende Autos und alternative Kraftstoffe erfordern eine Anpassung der Infrastruktur, um diese Technologien effektiv nutzen zu können.

Insgesamt ist die Verkehrsinfrastruktur mit einer Vielzahl von Herausforderungen konfrontiert, die bewältigt werden müssen, um eine effektive und nachhaltige Mobilität zu gewährleisten.

lichst nahtlose und bequeme Mobilität ermöglichen. Das Ziel der Multimodalität ist es, die Nutzung von umweltfreundlichen Verkehrsmitteln zu fördern und gleichzeitig den Verkehr zu optimieren, um Staus, Unfälle und Verspätungen zu vermeiden. Dies kann durch eine verbesserte Verkehrsplanung und -steuerung sowie durch die Schaffung von umsteigefreundlichen Verbindungen und entsprechenden Infrastrukturen wie Fahrradwegen, Park-and-Ride-Anlagen und multimodalen Verkehrsknotenpunkten erreicht werden.

Ein wichtiger Aspekt der vernetzten Infrastruktur ist die Nutzung von Daten. Durch die Vernetzung von Infrastrukturen, mobilen Daten und Fahrzeuginformationen können multimodale Verkehrsinfrastrukturen geschaffen werden. Hierbei ist es wichtig, dass die verschiedenen Datenquellen miteinander verbunden und verknüpft werden, um so ein umfassendes Bild der aktuellen Verkehrssituation zu erhalten. Ein Beispiel hierfür ist das sogenannte „Smart Parking“, bei dem durch die Vernetzung von Sensoren und Parkplätzen eine dynamische Park-



Abb. 2: Einwirkungen der Megatrends auf die Verkehrsinfrastruktur (Konstruktionsgruppe Bauen AG in Anlehnung an Zukunftsinstitut)

3. Multimodalität der Verkehrsinfrastruktur

Um der Herausforderungen begegnen zu können, wird es erforderlich sein, ein Verkehrssystem so zu gestalten, dass verschiedene Verkehrsträger und Verkehrsmittel miteinander verknüpft werden können, um den Personen- und Güterverkehr effizienter und nachhaltiger zu gestalten. Dabei sollen die verschiedenen Verkehrsmittel wie z. B. Busse, Bahnen, Fahrräder und Autos optimal aufeinander abgestimmt werden und so eine mög-

raumbewirtschaftung ermöglicht wird. Autofahrer können so in Echtzeit sehen, wo es freie Parkplätze gibt und somit Staus und Parkplatzsuche vermeiden.

Dabei muss auch die Förderung von Sharing-Konzepten und der Einsatz von elektrischen und autonomen Fahrzeugen betrachtet werden. Durch die Integration von Sharing-Konzepten und dem Einsatz von E-Fahrzeugen kann der Individualverkehr reduziert werden. Zudem können autonome Fahrzeuge dazu beitragen, die Verkehrssicher-

heit zu erhöhen, da sie beispielsweise situationsbedingt schneller und sicherer reagieren können als ein menschlicher Fahrer. Auch der Einsatz von Drohnen zur Lieferung von Waren und Paketen könnte dazu beitragen, den Verkehr zu entlasten und die Lieferung von Waren schneller und effizienter zu gestalten.

4. Optimierte Geometrien

Bei diesem Ansatz geht es darum, den Verkehr effizienter, sicherer und umweltfreundlicher zu gestalten, um die Lebensqualität in Städten und Gemeinden zu verbessern. Um auf die erforderliche Flexibilität zu reagieren, können auch bauliche Anpassungen vorgenommen werden. Optimierte Straßenquerschnitte und neue Wegeführungen können dabei helfen, den Verkehr effizienter zu gestalten und die Verkehrssicherheit zu erhöhen. Auch innovative Konzepte wie intelligente Verkehrsleitsysteme und automatisierte Fahrzeuge können dazu beitragen, den Verkehr flüssiger und sicherer zu gestalten.

Neue Materialien

In der vernetzten Infrastruktur spielen auch neue Materialien eine wichtige Rolle, denn eine nachhaltige und zukunftsfähige Infrastruktur benötigt auch nachhaltige Baumaterialien. Dazu zählen zum Beispiel Materialien aus nachwachsenden Rohstoffen oder auch recycelte Materialien. Darüber hinaus können neue Materialien, wie beispielsweise leitfähige Betone, eingesetzt werden, um den Energiebedarf zu senken. Auch selbstheilende Materialien könnten zukünftig in der Infrastruktur Verwendung finden und so zu einer längeren Lebensdauer der Gebäude und Straßen beitragen. Ein weiteres Beispiel sind Materialien, die speziell für den Einsatz in intelligenten Verkehrssystemen entwickelt werden und beispielsweise zur Herstellung von Verkehrssensoren dienen.

5. Nachhaltige Infrastruktur

Ein zentraler Aspekt der vernetzten Infrastruktur ist die Integration von Energie- und Verkehrssystemen. So können beispielsweise Elektrofahrzeuge als mobile Stromspeicher dienen und die Netzstabilität unterstützen. Auch die Nutzung erneuerbarer Energien wie Solar- oder Windenergie zur Versorgung von Verkehrssystemen wird immer wichtiger. Eine intelligente Vernetzung von Energie- und Verkehrssystemen kann so zu einer effizienteren und nachhaltigeren Infrastruktur beitragen.

6. Digitalisierung

Die Digitalisierung ist dabei die Grundlage bei der Entwicklung einer vernetzten Infrastruktur. Sie bildet die Basis für die Verbindung und Integration der verschiedenen Verkehrssysteme sowie für die effektive Nutzung der verfügbaren Ressourcen. Ohne die digitale Vernetzung der Infrastrukturen und Verkehrsträger, wäre eine opti-

male Steuerung und Überwachung der Verkehrsströme sowie der Energie- und Kommunikationssysteme nicht möglich. Durch den Einsatz von Sensoren und Kameras können zudem Daten in Echtzeit erfasst und über andere intelligente Systeme ausgewertet und weiter genutzt werden, um eine effiziente und zielgerichtete Steuerung des Verkehrs zu ermöglichen. Dadurch lassen sich Engpässe vermeiden und Verkehrsströme intelligent und flexibel steuern. Hierbei spielt auch die Vernetzung von mobilen Daten und Fahrzeuginformationen eine entscheidende Rolle. Die Digitalisierung bietet auch die Möglichkeit, Verkehrsdaten zu nutzen, um vorausschauend zu planen und das Verkehrsangebot bedarfsgerecht zu gestalten. Darüber hinaus trägt die Digitalisierung auch zur Verbesserung der Sicherheit im Verkehr bei. Durch den Einsatz von intelligenten Verkehrssystemen können Unfälle vermieden werden, indem z. B. vorausschauend auf Gefahrensituationen reagiert wird oder durch die Integration von Notrufsystemen schnelle Hilfe im Ernstfall gewährleistet wird. Die Digitalisierung ermöglicht auch die Integration von Elektromobilität und erneuerbaren Energien in die vernetzte Infrastruktur. So können beispielsweise Ladesäulen für Elektrofahrzeuge mit erneuerbaren Energien betrieben werden oder Stromverbrauch und -erzeugung in Echtzeit gesteuert und optimiert werden. Insgesamt ist die Digitalisierung ein entscheidender Faktor für die Entwicklung einer vernetzten Infrastruktur, die den zukünftigen Bedürfnissen der Gesellschaft gerecht wird. Sie ermöglicht die effektive Nutzung der verfügbaren Ressourcen und bietet neue Möglichkeiten zur Steuerung und Überwachung der Verkehrssysteme.

7. Voraussetzungen

Ein entscheidender Faktor für die erfolgreiche Umsetzung einer vernetzten Verkehrsinfrastruktur ist die Zusammenarbeit zwischen den unterschiedlichen Akteuren. Politik, Wirtschaft und Gesellschaft müssen zusammenarbeiten, um die nötigen Voraussetzungen für eine vernetzte Verkehrsinfrastruktur zu schaffen.

Literatur

- [1] „Digitale Transformation der Infrastruktur: Smart Mobility, Smart Energy, Smart City“, Managementberatung Oliver Wyman
- [2] <https://www.innocam.nrw/vernetzte-mobilitaet-die-infrastruktur-gehört-dazu/>
- [3] <https://www.iis.fraunhofer.de/de/ff/kom/automotive/vernetzte-mobilitaet.html>
- [4] <https://www.verkehrsforum.de/>
- [5] <https://bmdv.bund.de/DE/Themen/EU-Politik/Uebergreifende-EU-Themen/Verkehrsstrategie-Europaeischen-Kommission/verkehrsstrategie-europaeische-kommission.html>
- [6] <https://www.zukunftsinstitut.de/>

Die digitale Autobahn

Von der Schilderbrücke zu kooperativen Systemen

Dr.-Ing. Marion Mayer-Kreitz

Die Autobahn GmbH des Bundes, Niederlassung Südwest, Stuttgart

Slavica Grosanic

Die Autobahn GmbH des Bundes, Niederlassung Südwest, Stuttgart

Alen Kolarec

Die Autobahn GmbH des Bundes, Niederlassung Südwest, Stuttgart

Zusammenfassung

Auf den deutschen Autobahnen ist seit Januar 2021 die Autobahngesellschaft des Bundes zuständig für Planung, Bau und Betrieb der Straßen. Im Bereich „Betrieb“ gehört dazu auch das Verkehrsmanagement, das vor dem Hintergrund von Sicherheits- und Umweltaspekten einen wesentlichen Beitrag zur Verkehrslenkung und -steuerung darstellt.

Die für das Verkehrsmanagement relevanten Daten werden vorwiegend von straßenseitig installierten Sensoren erfasst und an die Verkehrsleitzentralen weitergegeben. Hier bieten Daten aus der Fahrzeugflotte mittlerweile einen wesentlichen Mehrwert, indem diese in den Systemen der Verkehrsleitzentralen mitgenutzt werden können. Dies betrifft einerseits Angaben zu beispielsweise Geschwindigkeiten und Reisezeitverlusten, es können aber auch Fahrzeugdaten mit weiteren Informationsinhalten verwendet werden, die einen Mehrwert für einen sicheren Betrieb unserer Autobahnen ermöglichen. Die Weitergabe von Informationen, z. B. Lkw-Stellplatzbelegung, und verkehrsrechtlichen Geboten, z. B. zulässigen Höchstgeschwindigkeiten, erfolgt derzeit noch auf straßenseitig montierten Schildern. Auch hier geht der Trend hin zur Nutzung virtueller Informationsmedien, z. B. der Autobahn-App.

Es werden die Potenziale dieser Vorgehensweise und die in dieser Hinsicht bereits umgesetzten Anwendungen innerhalb der Autobahngesellschaft, Niederlassung Südwest, aufgezeigt.

1. Einführung

Auf unseren Autobahnen werden zukünftig zunehmend vernetzte Fahrzeuge unterwegs sein, die untereinander sowie mit der Verkehrsinfrastruktur kommunizieren und interagieren können. Manche Modelle z. B. des Herstellers Volkswagen bieten diese Möglichkeiten bereits heute. Grundlage hierfür bildet die C2X-Kommunikation, welche einen Informationsaustausch zwischen einzelnen Fahrzeugen (Car to Car bzw. C2C) sowie zwischen Fahrzeugen und Infrastrukturen (Car to Infrastructure bzw. C2I) ermöglicht. Road-Side-Units (RSU) stellen die Kommunikation zwischen Fahrzeugen und Infrastruktur sicher. Sie dienen der Erfassung und Bereitstellung von Daten und Informationen von bzw. an Fahrzeuge und den ortsgebundenen C2X-Teilnehmern (Infrastruktur, Verkehrszentralen). [1]

Die entsprechenden Spezifikationen wurden in verschiedenen Forschungsprojekten erarbeitet und in Testanwendungen überführt. [2], [3], [4], [5]

Der Beitrag intelligenter Kommunikationssysteme zur Verbesserung der Verkehrssicherheit und Mobilität wurde im Rahmen des Projektes simTD im bisher weltweit größten Feldversuch gemeinsam mit Stakeholdern untersucht. [2]

Die Verständigung mit Navigationsdienstleistern ist ein wichtiger Baustein, um ein abgestimmtes, nicht an indi-

viduellen Interessen ausgerichtetes Verkehrsmanagement betreiben zu können. Ein entsprechendes Konzept zur Erweiterung des heute standardmäßig verwendeten DATEX II Format zum Datenaustausch u. a. zwischen kooperativen Systemen und Verkehrszentralen zur dynamischen Routenempfehlung wurde zunächst in LENA4ITS erprobt und entwickelt. [3]

In Vorbereitung zum automatisierten Fahren (Level 4) bieten Forschungsergebnisse wie bspw. aus KoMoDnext wichtige Hinweise für das Zusammenspiel zwischen infrastrukturseitigen Anforderungen und der fahrzeugseitigen Sensorik. [4]. U. a. stellt die BAB A9 mit dem Digitalen Testfeld Autobahn ein „Labor unter Realbedingungen“ zur Verfügung, um innovative Anwendungen zum automatisierten, vernetzten Fahren und intelligenter Infrastruktur zu erproben. [5]

Außerdem werden von den Fahrzeugherstellern mittels entsprechender Übertragungseinrichtungen (CCU) Daten aus ihrer jeweiligen Fahrzeugflotte gesammelt und in Fahrerassistenzsystemen im Sinne der Verkehrssicherheit verwendet. Diese Daten können Aufschluss geben über verschiedene Aspekte der Verkehrssituation, z. B. Witterungsbedingungen, Straßenzustand, Gefahrensituationen.

Der Anspruch der VerkehrsteilnehmerInnen an den Straßenbaulasträger besteht in der Bereitstellung einer Ver-

kehrsinfrastruktur, die ein sicheres und flüssiges fahren ermöglicht. Verkehrsleitzentralen spielen dabei eine zentrale Rolle.

Bisher wurde der Straßenverkehr vorwiegend auf „konventionelle“ Art und Weise gesteuert und gelenkt. Informationen, Warnungen und verkehrsrechtlich bindende Anordnungen wurden vorwiegend „in Blech“ oder über dynamische Anzeigen vermittelt. Hier kommt den neuen Möglichkeiten der Informationsvermittlung zukünftig eine tragende Rolle zu.

Interessant ist an dieser Stelle auch der Kostenvergleich zwischen konventionellen Medien und kooperativen Systemen.

2. Nutzung von Daten des C-ITS im Verkehrsmanagement

2.1 Grundlagen der Kommunikation

Kooperative Systeme (C-ITS) bieten neue Möglichkeiten der Verkehrssteuerung, aber auch der Datenanalyse, der Störfallerkennung und der Identifikation potenzieller Schwachstellen im Verkehrsnetz.

Moderne Fahrzeuge erfassen über fahrzeugeigene Sensoren kontinuierlich diverse Daten, die über die bordeigenen Systeme ausgewertet werden. Dies sind beispielsweise folgende Informationen: die aktuelle Fahrzeugposition, die Fahrgeschwindigkeit, die Längs- und Querbewegung, die Fahrtrichtung, der Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug, der Fahrbahnzustand, die Außentemperatur, die Beleuchtungsverhältnisse, der Zustand des Airbags. [1]

Zur Kommunikation zwischen den Fahrzeugen bzw. zwischen Fahrzeugen und Infrastruktur wurden verschiedene Message-Formate definiert, u. a.:

- Cooperative Awareness Message (CAM, [ETSI EN 302 637-2]): Nachrichtentyp zur Schaffung und Aufrechterhaltung der Awareness zwischen C-ITS Stationen. CAM-Meldungen werden kontinuierlich versendet. [6]
- Dezentrale Umweltbenachrichtigung (DENM, [ETSI EN 302 637-3]): DENM-Meldungen werden anlassbezogen versendet. Es handelt sich um eine Nachricht, die hauptsächlich von C-ITS-Anwendungen verwendet wird, um Verkehrsteilnehmer vor einem erkannten Ereignis zu warnen. [7]
- Fahrzeuginterne Informationen (IVI, [ETSI TS 103 301]): IVI-Meldungen übermitteln Informationen über die Infrastruktur an Fahrzeuge, z. B. Informationen über vorhandene, feste und dynamische Verkehrszeichen. [8]

Diese Nachrichten und Informationen werden pseudonymisiert in Echtzeit in einem Umkreis von mehreren hundert Metern übermittelt und können von Fahrerassistenzsystemen in den Fahrzeugen verarbeitet werden.

Eine CAM-Meldung übermittelt u. a. Position, Fahrtrichtung und Geschwindigkeit eines Fahrzeuges. CAM-Meldungen werden von Fahrzeugen ausgesendet und von den sich in Reichweite befindlichen Stationen (Fahrzeu-

ge oder RSU) empfangen. Die Informationen werden nur direkt zwischen den Teilnehmern in Reichweite ausgetauscht und nicht an weitere Teilnehmer weitergeleitet, vgl. Abbildung 1.

CAM-Meldungen können u. a. dafür verwendet werden, Störfälle und Ereignisse zu erkennen und dann eine DENM-Meldung auszusenden.

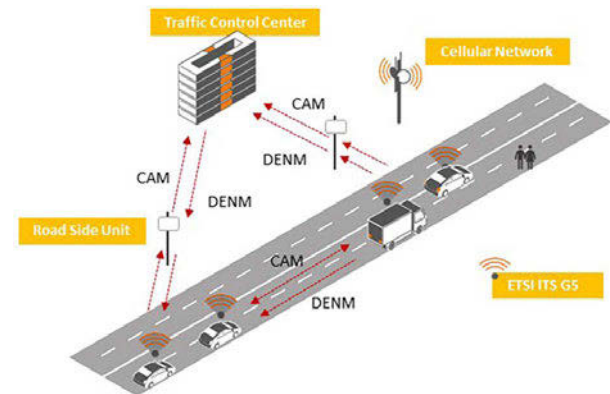


Abb. 1: Schema der Meldewege für CAM- und DENM-Meldungen

Eine DENM übermittelt u. a. Event, Position und Zeitstempel. DENM werden nicht nur von den Fahrzeugen, sondern auch von stationären ITS-Stationen, wie beispielsweise den RSU (Beispiel s. Abbildung 2), gesendet.

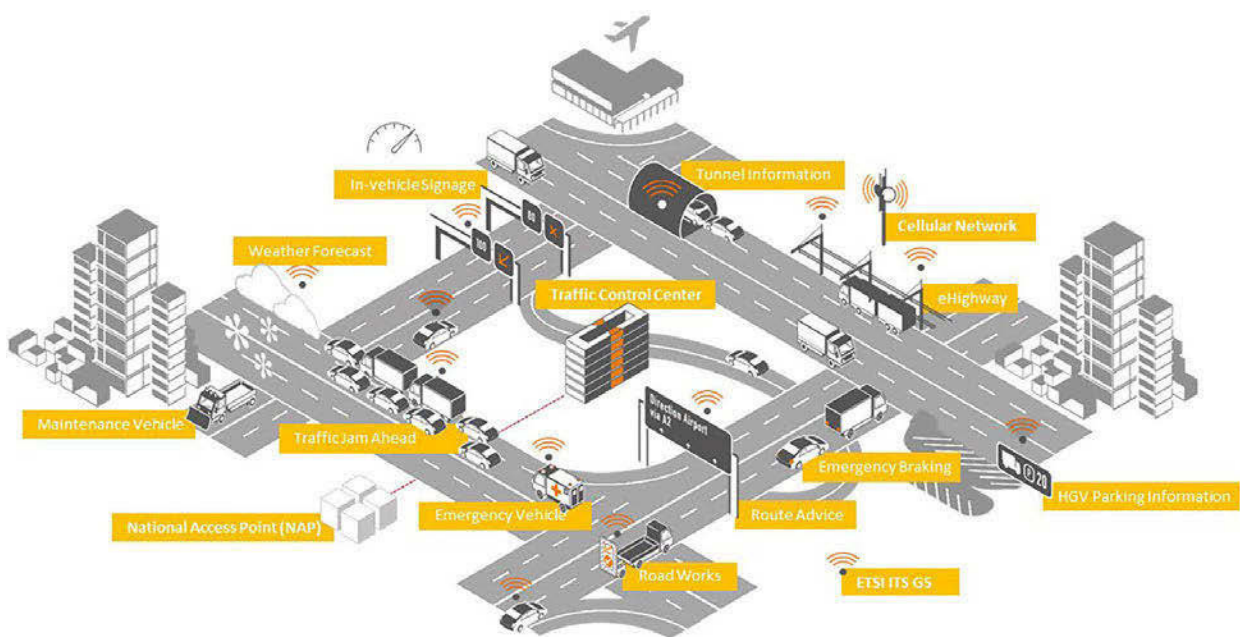


Abb. 2: Beispiel für eine RSU (Quelle: Yunex Traffic)

Über die RSU erhalten Verkehrs- und Tunnelleitzentralen die Meldungen. CAM und DENM können dort verarbeitet und z. B. zur Verkehrslage- oder Störungserkennung verwendet werden. Daraus können Maßnahmen des Verkehrsmanagements generiert werden, die dann von der Zentrale aus über die RSU als DENM direkt an die Fahrzeuge übermittelt werden.

DENM-Meldungen könnten sofort in die Schaltung von Streckenbeeinflussungsanlagen (SBA) umgesetzt werden, indem vor der erkannten Gefahr gewarnt und ggf. die zulässigen Höchstgeschwindigkeiten reduziert und/oder Fahrstreifen gesperrt werden. Die geschalteten dynamischen Anzeigen können als IVI-Meldung an die Fahrzeuge übermittelt werden.

Im Korridormanagement kann mit dieser Kenntnis frühzeitig auf alternative Routen umgeleitet werden, damit die Gesamtauslastung im Netz besser verteilt wird.



Quelle: nach Verkehrszentrale Deutschland

Abb. 3: Kooperatives System Autobahn

Ob und wie auf eine CAM oder DENM reagiert wird, entscheidet der Empfänger der Nachricht. I. d. R. trifft diese Entscheidung der Fahrzeughersteller für alle Fahrzeuge seiner Flotte.

Im Verkehrsmanagement bringt C-ITS eine Vielzahl möglicher sicherheitsfördernder Anwendungen mit sich, s. Abbildung 3.

Bereits umgesetzt ist die Ausrüstung fahrbarer Absperrtafeln (FAT) mit C-ITS. [9] Die FAT warnen sich nähernde Fahrzeuge vor einer Baustelle. Der deutschlandweite Roll-Out wird in den nächsten Monaten abgeschlossen. Die Meldung wird direkt in die Fahrzeuge gesendet und in den Displays angezeigt. Für das Aussenden dieser DENM-Meldungen war es erforderlich, eine Public Key Infrastructure (PKI) zu generieren, damit der Aussender der Meldung als vertrauenswürdig erkannt und eingestuft werden kann. Dies ist mittlerweile erfolgt.

Der nächste Schritt ist die Warnung vor Einsatzfahrzeugen, z. B. als zusätzliche Aufforderung für das Bilden einer Rettungsgasse.

2.2 Regularien der Datenbereitstellung

Die Richtlinie 2010/40/EU des europäischen Parlaments und des Rates vom 7. Juli 2010 zum Rahmen für die Einführung intelligenter Verkehrssysteme im Straßenverkehr und für deren Schnittstellen zu anderen Verkehrsträgern (IVS-Richtlinie) regelt seit 2010 die Einführung von intelligenten Verkehrssystemen (ITS) in der EU. Sie legt fest, dass die Mitgliedstaaten der Europäischen Union, sofern sie vorrangige Maßnahmen einführen, die von der Kommission erlassenen Spezifikationen anzuwenden haben. Vorrangige Bereiche im Sinne der Richtlinie sind

- I. die optimale Nutzung von Straßen-, Verkehrs- und Reisedaten,
- II. die Kontinuität der Dienste Intelligenter Verkehrssysteme in den Bereichen Verkehrs- und Frachtmanagement,
- III. die Anwendungen Intelligenter Verkehrssysteme für die Straßenverkehrssicherheit sowie
- IV. die Verbindung zwischen Fahrzeug und Verkehrsinfrastruktur.

Als vorrangige Maßnahmen für die Ausarbeitung und Anwendung von Spezifikationen und Normen in den vorrangigen Bereichen gelten:

- a. die Bereitstellung EU-weiter multimodaler Reise-Informationendienste;
- b. die Bereitstellung EU-weiter Echtzeit-Verkehrsinformationendienste;
- c. Daten und Verfahren, um Straßennutzern, soweit möglich, ein Mindestniveau allgemeiner für die Straßenverkehrssicherheit relevanter Verkehrsmeldungen unentgeltlich anzubieten;
- d. Harmonisierte Bereitstellung einer interoperablen EU-weiten eCall-Anwendung;
- e. Bereitstellung von Informationsdiensten für sichere Parkplätze für Lastkraftwagen und andere gewerbliche Fahrzeuge;
- f. Bereitstellung von Reservierungsdiensten für sichere Parkplätze für Lastkraftwagen und andere gewerbliche Fahrzeuge.

Aktuell wird diese Richtlinie hinsichtlich der Einführung und des Betriebs kooperativer ITS-Systeme (C-ITS) und der Bereitstellung von statischen und dynamischen Infrastrukturdaten überarbeitet. Ein entsprechender Vorschlag liegt bereits vor. Er ist technologieoffen und ermöglicht die Kommunikation sowohl über ITS-G5 WLAN/802.11p

Technologien als auch Mobilfunkkommunikation der 5. Generation (5G). [10]

Straßenverkehrsbehörden und Betreibergesellschaften von Straßen sollen für das transeuropäische Straßennetz (TEN-V) ab Januar 2025 mehr Echtzeit-Verkehrsdaten zur Verfügung stellen. Für das gesamte Straßennetz sollen die Vorschriften ab Januar 2028 gelten. [11]

Betroffen sind laut Kommissionsvorschlag Daten, die in digitalem, maschinenlesbarem Format vorliegen. Ab Januar 2025 soll das TEN-V Straßennetz übermittelt werden. Ab Dezember 2025 sind weitere Daten dieses Netzes betroffen, u. a.

- statische und dynamische Straßenverkehrsvorschriften (z. B. Zufahrtsbedingungen für Tunnel und Brücken, Geschwindigkeitsbegrenzungen, Beschränkungen von Gewicht und Abmessungen (Länge/Breite/Höhe)),
- Daten zum Zustand des Netzes (z. B. Straßen- oder Fahrstreifensperrungen, Straßenbauarbeiten, befristete Verkehrsmanagementmaßnahmen, Angaben zum Straßenzustand),
- Tankstellen, Ladestationen und Wasserstofftankstellen,
- Daten zu sicheren Parkplätzen für Lastkraftwagen und andere gewerbliche Fahrzeuge (z. B. Sicherheit und Ausrüstung des Parkplatzes, dynamische Daten über freie Stellplätze).

Diese Daten können in Deutschland über den nationalen Access Point (NAP), die Plattform Mobilithek, ausgetauscht werden. Unterschiedliche Betreiber können hier ihre Daten zentral und in Echtzeit zum Abruf bereitstellen, s. Abbildung 4.

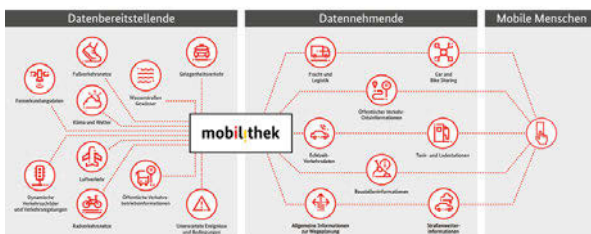


Abb. 4: Aufbau Mobilithek [12]

2.3 Nutzung von Vehicle Probe Data im Verkehrsmanagement

In einer Kooperation mit Mercedes-Benz werden von der Niederlassung Südwest seit 2021 Daten aus der Fahrzeugflotte bezogen und analysiert.

Die Daten können für verschiedene Anwendungen im Bereich Verkehr und Betrieb verwendet werden.

Analysiert werden derzeit:

- Wetterdaten
- Verkehrszeichen
- Gefahrenmeldungen.

Wetterdaten

Vor allem in den Wintermonaten, in denen der Betriebsdienst Streu- und Räumearbeitspläne erstellt, werden mehrere Datenquellen herangezogen, um eine genaue Übersicht über die Straßenverhältnisse zu erlangen. Hochgenaue Sensorik erfasst punktuell entlang der Strecke wichtige Kenngrößen, wie z. B. die Fahrbahnoberflächentemperatur, Taupunkttemperatur, Wasserfilmdicke oder den Fahrbahnzustand. Da die Erfassung nur an markanten Punkten im Streckenverlauf und etwa alle 2–3 km erfolgt sind weitere Datenquellen erforderlich. Hier werden derzeit vor allem Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) verwendet, die neben der flächenhaften Darstellung der Temperaturverhältnisse oder einem Niederschlagsradar auch eine Prognose der zu erwartenden Witterungsbedingungen enthalten, aus denen sich eine Glättemeldung ableiten lässt.

Die flotteneigenen Streufahrzeuge sind z.T. mit Sensoren ausgestattet, die während der Fahrt kontinuierlich die Temperatur und die ausgebrachte Streusalzmenge erfassen. Durch nachträgliche Analyse der Einsatzfahrten lässt sich die Streusalzmenge weiter optimieren, so dass ein sicherer Straßenzustand umwelt- und ressourcenschonend (Material, Zeit und Geld) erreicht werden kann.

Durch die Kooperation mit Mercedes-Benz stehen der Niederlassung Südwest für einige Streckenabschnitte Informationen aus den Fahrzeugen zur Verfügung. Auf einer Karte werden die Temperatur, Regenintensität und Zustand der Fahrbahn den Autobahnmeistereien als Entscheidungsgrundlage zur Verfügung gestellt.

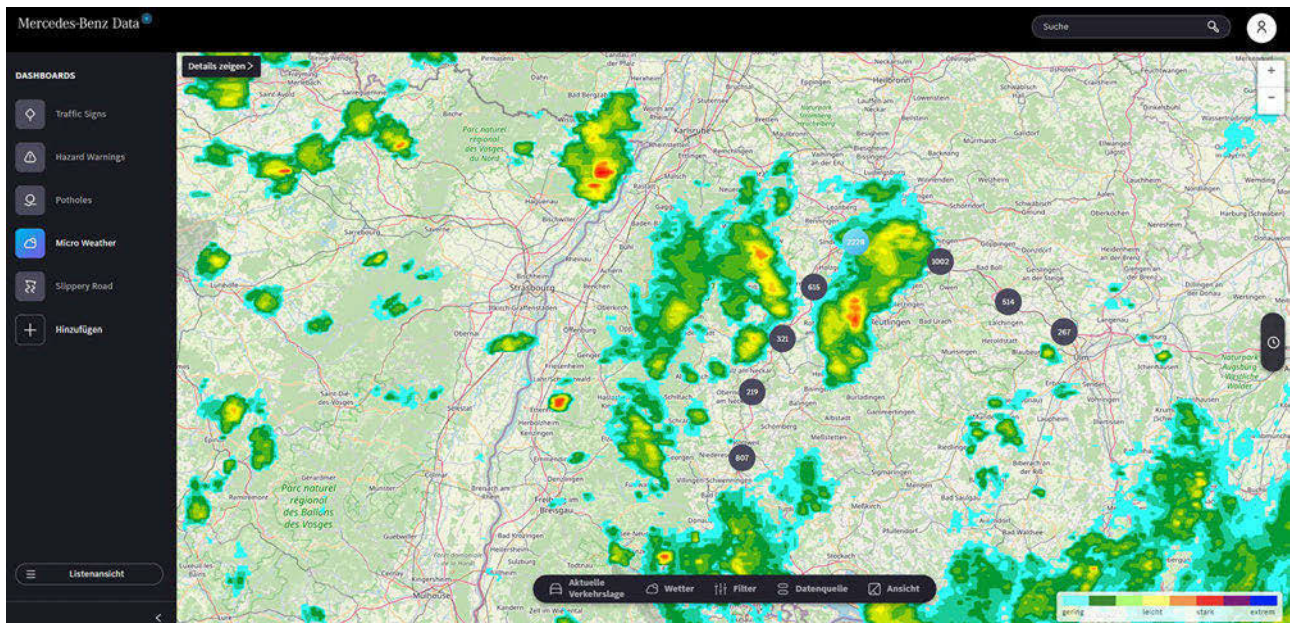


Abb. 5: Dashboard Mercedes-Benz (Quelle: Mercedes Benz AG)

Abbildung 5 zeigt das Dashboard von Mercedes-Benz, in dem man durch Klicken auf die einzelnen Punkte an die Inhalte der vom Fahrzeug übermittelten Werte gelangt. In der Karte sind des Weiteren die Regenradardaten des DWD dargestellt.

Informationen aus einer großen Fahrzeugflotte zur Temperatur und dem Fahrbahnzustand (Informationen zum Reibwert) können einen weiteren Mehrwert im Betriebsdienst bieten. Durch die Vielzahl an Datenpunkten aus dem Fahrzeug lässt sich die Witterungssituation zwischen den präzisen punktuellen Messungen ableiten, so dass ein ganzheitliches Bild entstehen kann. Kritische Streckenabschnitte, die z. B. einen höheren Streubedarf haben, können so leicht identifiziert werden. Eine Nachrüstung der Infrastruktur mit stationärer Sensorik oder eine angepasste Einsatzplanung sind die Konsequenzen, die mit Hilfe der Daten der Fahrzeugflotte erlangt werden können.

Derzeit sind die unterschiedlichen Datenquellen nicht in einem gemeinsamen System gebündelt, sondern werden im jeweiligen System für sich dargestellt. Eine Verschneidung der unterschiedlichen Datenquellen mit anschließender Clusterung und Gewichtung könnte die Potenziale der unterschiedlichen Quellen berücksichtigen und so eine ganzheitliche Übersicht über die räumlich-zeitliche Witterungssituation darstellen. Es sind noch viele Schritte erforderlich, um die Daten in Echtzeit in einer gemeinsamen Datenbank zu bündeln und daraus Strategien abzuleiten. Die gemeinsame Kooperation ist ein wichtiger Schritt in die Zukunft der Nutzung von Fahrzeugdaten. Die aus der Fahrzeugflotte generierten Informationen zur Witterung könnten zukünftig auch in der Steuerung

von Verkehrsbeeinflussungsanlagen (VBA) genutzt werden. Auch hier werden die Witterungsverhältnisse punktuell entlang der Streckenbeeinflussungsanlagen (SBA) erfasst. Die Ergänzung durch Informationen aus dem Fahrzeug über den gesamten Streckenverlauf wären sehr hilfreich, da Wetterereignisse auch plötzlich und räumlich zwischen der stationären Sensorik auftreten können. Diese Situationen werden derzeit erst mit Verzögerung erfasst, wenn sie an der entsprechenden Sensorik detektiert werden können. Durch die schnellere und geographisch feinere Detektion von kritischen Witterungsereignissen durch die Fahrzeuge wäre eine schnellere Gefahrenwarnung möglich.

Eine direkte Einbindung solcher „extended“ Floating Car Data (FCD) in die Steuerungsalgorithmik von SBA ist noch nicht erfolgt. An diesem Thema arbeiten u. a. unterschiedliche Arbeitskreise der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV). Problematisch ist u. a., dass die Daten aus Datenschutzgründen mit einer großen Latenz übermittelt werden. Daher ist derzeit eine Nutzung für die Verkehrssteuerung nur bedingt möglich. Eine flächendeckende Unterstützung der lokalen VBA-Sensorik kann in dieser Form leider noch nicht erzielt werden.

Erste Analysen zeigen das Potenzial des Vergleiches der beiden Datenquellen aus Fahrzeugdaten und stationären Wetterstationen. Abbildung 6 zeigt den Erwartungswert der Übereinstimmung der erfassten Fahrbahntemperatur aus beiden Datenquellen. Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Positionierung der Temperaturfühler und weiterer Einflussfaktoren ist eine weitere Verschneidung der beiden Datenquellen möglich.

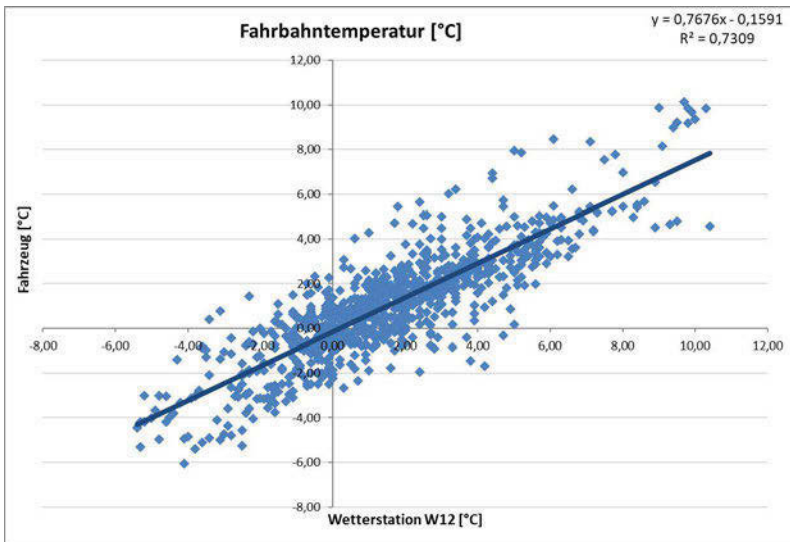


Abb. 6: Regressionsanalyse: Fahrzeugdaten – stationäre Wetterstation

Untersuchungen aufeinander folgender Sensoren lassen ebenfalls Rückschlüsse auf die Qualität und Funktionsweise der VBA-Sensorik zu, s. Abbildung 7.



Abb. 7: Fahrbahntemperatur (22.01.2023, 8:00–8:15 Uhr, Messwerte im Umkreis von SBA-Sensoren)

Verkehrszeichen

Von den Fahrzeugen können die Standorte und Typen der statischen und dynamischen Verkehrszeichen übermittelt werden. Dadurch können verschiedene Anwendungsfälle generiert werden.

Zum einen können die Verkehrszeichen für ein tagesaktuelles Verkehrszeichenkataster verwendet werden. Ein solches Kataster ist zukünftig eine Grundvoraussetzung des automatischen Fahrens.

Darüber hinaus können die Daten das bereits im Aufbau befindliche Kataster im autobahneigenen System TIM-Geo [13] unterstützen.

Eine weitere Anwendung, die gerade in der Niederlassung Südwest verfolgt wird, ist der teilautomatisierte Abgleich der von den Fahrzeugen erfassten Verkehrszeichen in Baustellenbereichen mit der verkehrsrechtlich angeordneten Beschilderung. Dies unterstützt den Baustel-

lenkoordinator bei der Kontrolle räumlich weiter entfernt liegender Baustellen.

Gefahrenmeldungen (Hazards)

Hazard-Meldungen werden von den Fahrzeugen in Echtzeit übertragen.

Die Meldungen betreffen sowohl witterungsbedingte Zustände (z. B. Starkregen) als auch fahrbahnseitige Zustände (z. B. verminderte Griffbarkeit). Außerdem wird das Ansprechen des Notbremsassistenten gemeldet, also Gefahrenbremsungen.

Mit diesen Daten kann die Steuerung von SBA unterstützt werden. Ein großer Vorteil ist, dass die Daten flächendeckend vorliegend und nicht nur, wie fest installierte SBA-Sensoren, an relativ wenigen Standorten vorhanden sind. Die Erkennung von Störfällen kann schneller und unter genauer Kenntnis der Lokalisierung erfolgen. Gehäufte Gefahrenbremsungen können auf ein Stauende hinweisen. Durch eine zielgenaue Schaltung der Geschwindigkeit und Gefahrenzeichen wird die Verkehrssicherheit weiter erhöht und der Verkehrsfluss stabil gehalten.

Eine statistische Auswertung der Hazards bringt Erkenntnisse für die Unfallkommissionen und Sicherheitsaudits, da sicherheitstechnisch verdächtig erscheinende Punkte im Straßennetz erkannt und einer genaueren Untersuchung unterzogen werden können.

2.4 Ausgewählte Kosten im Vergleich

Ein Vergleich der Kosten des Verkehrsmanagement mittels konventioneller VBA (z. B. SBA) mit einer Datenbereitstellung über RSU kann einen Hinweis auf die Wirtschaftlichkeit der Systeme geben.

Zu beachten ist, dass eine konventionelle Anlage so lange nicht entfallen kann, bis virtuelle Verkehrszeichen rechtssicher und vollständig an die Fahrzeuge übertragen werden.

Das setzt zum einen noch nicht vorhandene rechtliche Grundlagen, zum anderen eine nahezu vollständigen

Ausstattungsgrad der Fahrzeugflotte voraus. Beides ist noch nicht gegeben.

Wäre dies der Fall, ließen sich die Kosten über den Lebenszyklus vergleichend wie folgt abschätzen.

Über eine angenommene Lebensdauer von 30 Jahren einer SBA fallen Installations- sowie Wartungs-/Instandhaltungs-/Reparaturkosten an, die – pro km SBA, abhängig vom Abstand der Schilderbrücken im Streckenabschnitt – einen mittleren sechsstelligen Betrag [€] erreichen können.

Die Kosten für eine entsprechende Ausstattung mit RSU betragen lediglich ca. 5 % dieser Summe. Dabei wurde angenommen, dass die Geräte nach 10 Jahren ersetzt werden müssen.

Für eine Netzbeeinflussungsanlage mit 2 dWiSta-Standorten betragen die Kosten einer RSU ca. 7 % einer konventionellen Anzeige, verglichen über die erwartete Lebensdauer.

Vermutlich werden beide Systeme zur Datenerfassungen noch so lange koexistieren, bis konventionelle VBA vollständig durch virtuelle Schilder abgelöst werden können.

2.5 Weitere Nutzung digitaler Anwendungen

Durch den stetig wachsenden Schwerverkehr und gleichzeitig nicht kontinuierlich ansteigender Anzahl an Lkw-Stellplätzen entlang der Autobahnen ist ein Defizit entstanden. Ein Informationssystem über freie Parkstände soll dazu beitragen, die vorhandenen Kapazitäten besser auszunutzen und in Echtzeit über freie Parkstände zu informieren. Dazu ist eine hochgenaue Erfassung der aktuellen, tatsächlichen Situation erforderlich. Sensoren erfassen dabei die gesamte Fläche der Rastanlage und ermitteln die Anzahl und Lage der freien und belegten Parkstände. Die eingesetzte Technologie ermöglicht es, sämtliche Parkvorgänge zu erfassen, auch die in Fahrgassen sowie nicht StVO-konform abgestellte Lkw, s. Abbildung 8.

Die Angaben zu freien Stellplätzen werden über die Autobahn-App und über die Mobiltheke Dritten zur Verfügung gestellt. Sie können auch für die anlageninterne Verkehrsführung genutzt werden.

An vielen Rastanlagen und auch Parkplätzen ist der Parkdruck so hoch, dass Lkw bereits im Zufahrtsbereich der Anlage parken, damit die FahrerInnen ihre Ruhezeiten einhalten können. Dies stellt ein hohes Gefahrenpotenzial für ankommende Fahrzeuge, insbesondere schnell fahrende Pkw dar.

Um frühzeitig vor dieser Gefahrenstelle zu warnen, wurde ein Pilotprojekt gestartet, in welchem sich mit Hilfe der vorhandenen Sensorik verkehrswidrig abgestellte Lkw erfasst werden. Auf die Anlage zufahrende Verkehrsteilnehmer werden bereits auf der Autobahn frühzeitig vor der Gefahrenstelle gewarnt.

Auch telematische Parkverfahren wie Kolonnen- und Kompaktparken, die zu einer deutlichen Kapazitätssteigerung ohne zusätzlichen Flächenverbrauch beitragen können, benötigen eine hochgenaue Lkw-Stellplatzerfassung. Das vorher beschriebene flächenhafte Erfassungssystem kann auch dort Anwendung finden.

3. Ausblick

Intelligente Verkehrssysteme bieten das Potenzial, die Mobilität sicherer, effizienter und nachhaltiger zu gestalten.

Als Straßenbaulastträger und Straßenbetreiber muss die Autobahngesellschaft sicherstellen, dass die Infrastruktur den zukünftigen Anforderungen an sie gewachsen ist. In naher Zukunft wird der Verkehr aus einer Mischung aus hochautomatisierten Fahrzeugen und Fahrzeugen mit geringem Automatisierungsgrad bestehen. Um die Möglichkeiten der intelligenten Verkehrssysteme auszunutzen, müssen diese Fahrzeuge Kenntnis voneinander sowie von der sie umgebenden Infrastruktur haben und

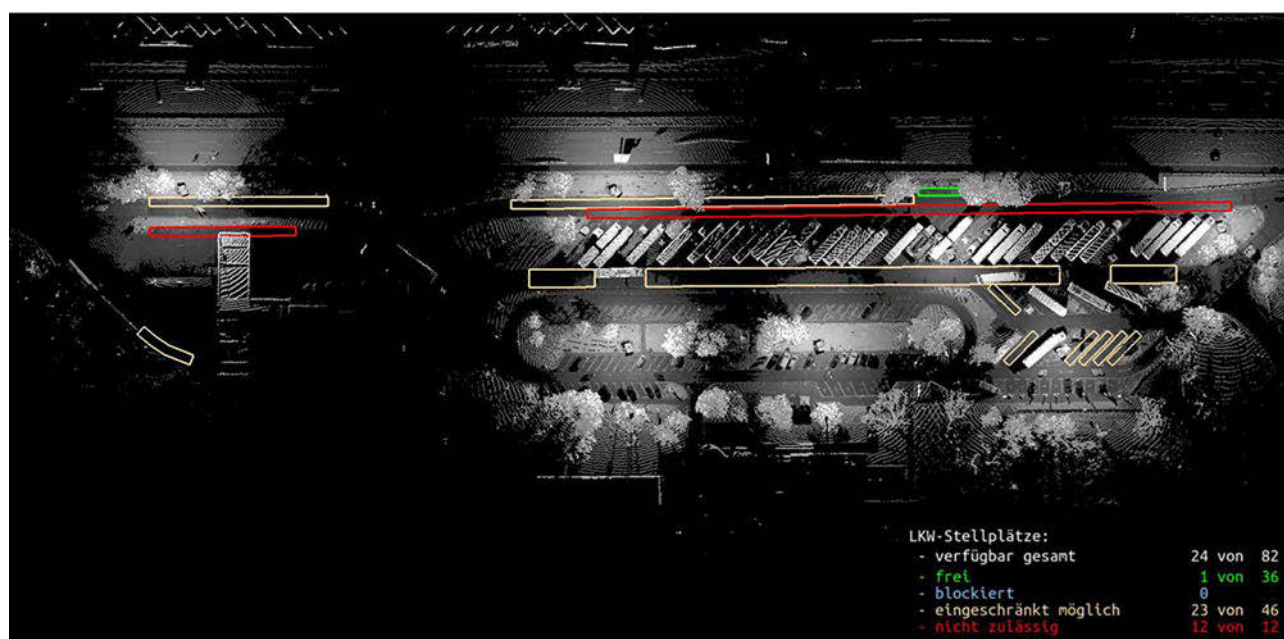


Abb. 8: Stellplatzerfassung an der T+R Bruchsal West (Quelle: TelarTec)

den sie erreichenden Meldungen und Vorgaben unbedingt vertrauen können.

Dieser Weg kann nur gemeinsam mit den Fahrzeugherstellern und weiteren Stakeholdern wie beispielsweise Navigationsdienstleistern beschrritten werden. Das Geschäftsmodell der individuellen Information und Routenführung ist zu überdenken. Regionale Einzellösungen sind in diesem Zusammenhang nicht sinnvoll, eine – idealerweise – EU-weite Standardisierung und ein einheitlicher Zugang zu den jeweiligen NAPs sind erforderlich. Derzeit stellen die Mitgliedstaaten Daten an den NAP in unterschiedlichen Formaten zur Verfügung.

Besonders der zunehmende Güterverkehr kann von der Nutzung dynamischer Angaben, z. B. zu freien und sicheren Stellplätzen oder Lade- bzw. Tankmöglichkeiten profitieren.

Aber der Verkehr ist nicht nur auf Autobahnen beschränkt. Im Sinne des regionalen Verkehrsmanagements ist sowohl der Datenaustausch sowie die Abstimmung zwischen den verschiedenen Straßenbulasträgern als auch zwischen den Verkehrsträgern sinnvoll, bis hin zur Einrichtung multimodaler digitale Mobilitätsdienste. Einen ersten Schritt in diese Richtung bedeutet in der Region Stuttgart die Einrichtung der „Ringzentrale“/regionalen Mobilitätsplattform [14]. Hier werden Schaltstrategien der VBA und Lichtsignalanlagen zwischen den Straßenbulasträgern der Autobahn und des nachgeordneten Netzes abgestimmt.

Mittels intelligenten Verkehrssystemen können die Sicherheit und die Kapazitäten der bestehenden Infrastruktur durch eine höhere Interoperabilität und eine bessere Ausnutzung erhöht werden. Dies bringt – gesamtwirtschaftlich gesehen – finanzielle und ökologische Vorteile mit sich.

Literatur

- [1] Dr.-Ing. Georg Mayer, Regierungsrätin Dipl. Wirt.-Ing. Anne Lehan, Kooperative Systeme in Straßentunneln – Potentiale aus der Nutzung der C2X-Kommunikation für die Tunnelüberwachung, 1. Fachkongress Digitale Transformation im Lebenszyklus der Verkehrsinfrastruktur, TAE, Juni 2021.
- [2] SIM-td, simTD Deliverable D13.2, <https://www.eict.de/fileadmin/redakteure/Projekte/simTD/Deliverables/simTD-Deliverable-D13.2Test-undVersuchsspezifikationHauptdokument.pdf>, 2010.
- [3] BAST (2015), Interoperabilität zwischen öffentlichem Verkehrsmanagement und individuellen Na-

vigationsdiensten, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe F: Fahrzeugtechnik (108).

- [4] KoMoDNext, https://www.duesseldorf.de/fileadmin/Amt13/presseanhang/2203/220321Praesentation_KoMoDnext-Abschluss.pdf
- [5] BAST, Fachthemen Verkehrstechnik, Digitales Testfeld Autobahn, <https://www.bast.de/DE/Verkehrstechnik/Fachthemen/V5-digitales-Testfeld.html#:~:text=Mit%20dem%20Digitalen%20Testfeld%20Autobahn,entwickeln%20und%20testen%20zu%20k%C3%B6nnen>
- [6] ETSI TS 102 637-2: Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic set of applications; Part 2: Specification of cooperative awareness Basic Service.
- [7] ETSI TS 102 637-3: Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular communications; Basic set of applications; Part 3: Specification of decentralized environmental notification basic service.
- [8] ETSI TS 103 301 V1.3.1 (2020-02) Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Facilities layer protocols and communication requirements for infrastructure services.
- [9] S. Schulz, Inbetriebnahme von C-ITS bei der Autobahn GmbH – Meilensteine und Herausforderungen, Kolloquium Intelligentes Verkehrsmanagement, April 2023, Koblenz.
- [10] Die Chancen der Digitalisierung in der Straßenverkehrsinfrastruktur und die Nutzung innovativer ITS-Systeme zur Unterstützung des Ziels „VISION ZERO“ zur Verbesserung der Sicherheit im Straßenverkehr, Gemeinsames Positionspapier des Bundesverband Verkehrssicherheitstechnik e.V. (BVST) und des Bundesverbands der Wirtschaft und Wissenschaft für Verkehrstechnologien und intelligente Mobilität e.V. (ITS Germany e.V.).
- [11] EU-Verkehrsteilnehmer sollen mehr Zugriff auf Echtzeit-Daten bekommen, Deutsche Verkehrs-Zeitung, <https://www.dvz.de/rubriken/politik/detail/news/eu-verkehrsteilnehmer-sollen-mehr-zugriff-auf-echtzeit-daten-bekommen.html>
- [12] BMDV, Mobilithek, <https://bmdv.bund.de/DE/Themen/Digitales/Mobilithek/mobilithek.html>
- [13] Kemper et al., TIM-GeO – Technisches Informationsmanagement der Autobahn GmbH des Bundes, zfv 4/2021 146. Jg.
- [14] A. Albers, Regionales Verkehrsmanagement in der Region Stuttgart, Kolloquium Intelligentes Verkehrsmanagement, April 2023, Koblenz.



**Asset
Management**