

# Jahresbericht 2021

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Allgemeines Heft A 46



**bast**

## **Bundesanstalt für Straßenwesen**

Die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) wurde 1951 gegründet. Ihre Arbeit begann damals mit Forschungen im Straßenbau. 1965 erhielt sie den Auftrag, über den eigentlichen Straßenbau hinaus, auf die Erhöhung der Leistungsfähigkeit der Straßen und auf die Sicherheit des Verkehrs hinzuwirken. 1970 wurde sie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages als zentrale Stelle für die Unfallforschung bestimmt. Heute ist die BASt die praxisorientierte, technisch-wissenschaftliche Forschungseinrichtung des Bundes auf dem Gebiet des Straßenwesens und widmet sich den vielfältigen Aufgaben, die aus den Beziehungen zwischen Straße, Mensch und Umwelt resultieren. Ihr Auftrag ist es, die Sicherheit, Umweltverträglichkeit, Wirtschaftlichkeit und Leistungsfähigkeit der Straßen zu verbessern.

Dem Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) gibt die BASt in fachlichen und verkehrspolitischen Fragen wissenschaftlich gestützte Entscheidungshilfen. Sie arbeitet führend im Netzwerk der Spitzenforschungsinstitute auf dem Gebiet des Straßenwesens und wirkt weltweit maßgeblich bei der Ausarbeitung von Vorschriften und Normen mit. Zu ihren Aufgaben gehören darüber hinaus Beratungs- und Gutachtertätigkeiten, außerdem prüft und zertifiziert sie und ist zudem Begutachtungsstelle für das Fahrerlaubniswesen

Sie hat seit 1983 ihren Sitz in Bergisch Gladbach auf einem rund 20 Hektar großen Gelände mit 10 Versuchshallen und teils weltweit einzigartigen Großversuchsständen. Im Autobahnkreuz Köln-Ost betreibt die BASt zudem seit 2017 das Demonstrations-, Untersuchungs- und Referenzareal duraBASt.

# Jahresbericht 2021

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Allgemeines Heft A 46

**bast**

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen.

Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines

B - Brücken- und Ingenieurbau

F - Fahrzeugtechnik

M - Mensch und Sicherheit

S - Straßenbau

V - Verkehrstechnik

Nachdruck und fotomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen können direkt beim

Fachverlag NW in der  
Carl Ed. Schünemann KG,  
Zweite Schlachtpforte 7,  
D-28195 Bremen,  
Telefon 0421 36903-53, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in Kurzform im Informationsdienst Forschung kompakt berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos abgegeben; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Kommunikation.

**Herausgeber:**

Bundesanstalt für Straßenwesen  
Brüderstraße 53  
D-51427 Bergisch Gladbach  
Telefon 02204 43-0  
www.bast.de  
info@bast.de

**Konzept, Redaktion und Gestaltung:**

Stabsstelle Presse und Kommunikation

**Redaktionsschluss:** Januar 2022

**Bildnachweis:**

Bundesanstalt für Straßenwesen, Guido Rosemann (BASt) und wie ausgewiesen,  
Umschlag: Bild oben von thyssenkrupp Infrastructure,  
Autorenbilder: BILDKRAFTWERK/Zöhre Kurc und Guido Rosemann

**Druck und Verlag:**

Fachverlag NW in der  
Carl Ed. Schünemann KG  
Zweite Schlachtpforte 7  
D-28195 Bremen  
Telefon 0421 36903-53  
Telefax 0421 36903-48  
www.nw-verlag.de

ISSN 0943-9285

ISBN 978-3-95606-675-7

Bergisch Gladbach, April 2022

## Geschätzte Leserin, geschätzter Leser,

1950 fuhren auf deutschen Straßen etwas mehr als eine halbe Million Pkw und ungefähr 2 Millionen Motorräder. Beinahe 6.500 Menschen verloren ihr Leben im Straßenverkehr. Ein Jahr später wurde die Bundesanstalt für Straßenbau gegründet. Die Zahl der Fahrzeuge stieg ebenso wie die Zahl der Verkehrstoten. 1965 erhielt die Bundesanstalt den Auftrag, sich neben den Belangen des Straßenbaus auch um die Leistungsfähigkeit der Straßen und die Sicherheit im Verkehr zu kümmern. Damit rückte das gesamte Straßenwesen in das Zentrum der BAST-Forschung.

1970 gab es bereits mehr als 21 Millionen Fahrzeuge und über 21.000 Verkehrstote in Deutschland. Ein trauriger Rekord. Im gleichen Jahr wurde die Bundesanstalt für Straßenwesen zur zentralen Stelle für die Unfallforschung bestimmt.

In den 70er Jahren avancierte der Sicherheitsgurt zum Lebensretter Nr. 1 – erst recht als das Anschnallen Pflicht wurde und das Zuwiderhandeln mit einem Bußgeld geahndet wurde. In den 80er Jahren hielt das Antiblockiersystem (ABS) Einzug in die Großserie. In den 90ern folgte der serienmäßige Airbag und dann kamen die elektronischen Stabilitätsprogramme wie ESP auf den Markt.

Aktuell fahren etwa 45 Millionen Fahrzeuge auf deutschen Straßen und die Statistiker der BAST prognostizieren für 2021 etwa 2.500 Verkehrstote, ein historischer Tiefststand. Welch eine Erfolgsgeschichte – würde es nicht um Menschenleben gehen und wäre der Verlust jedes einzelnen Lebens nicht eines zu viel.

Heute sind es nicht länger einzelne technische Entwicklungen, die bahnbrechende Erfolge in der Verkehrssicherheitsarbeit erzielen. Es sind viele große und kleine Bausteine, die in ihrem Zusammenwirken das Straßenwesen prägen, den Verkehr leichter und flüssiger und mithin auch sicherer und umweltverträglicher machen.

Lassen Sie sich mit dem folgenden Bericht in den vielfältigen Alltag der BAST-Mitarbeiterinnen und -Mitarbeiter im Jahr 2021 mitnehmen. Sie werden erfahren, wie wir die Herausforderungen des Straßenwesens im 21. Jahrhundert angehen und welche Lösungsbeiträge wir leisten können.

Ihre Stabsstelle Presse und Kommunikation der BAST



*Autobahn in den 70er Jahren*



## Einleitung

Das Fahren – die Fortbewegungsform, die der Mensch zur Überwindung des Raumes derzeit am stärksten nutzt – hat – anders als das Laufen, Schwimmen und Fliegen – kein Vorbild in der Natur! Erst die Entwicklung des Rades in der Mitte des 4. vorchristlichen Jahrtausends hat das Fahren ermöglicht. Diese Fortbewegungsform konnte aber nur in einer künstlichen, vom Menschen geschaffenen Umwelt ihren vollen Nutzen entfalten. Voraussetzungen sind ausreichend ebene Flächen und Zugmittel. Der Bau und die Erhaltung dieser vom Menschen geschaffenen Umwelt, die wir heute Verkehrsinfrastruktur nennen, ging Hand in Hand mit der Weiterentwicklung des Rades und der Zugmittel. So entstand nach und nach ein weitverzweigtes Netz an befahrbaren Wegen und Straßen.

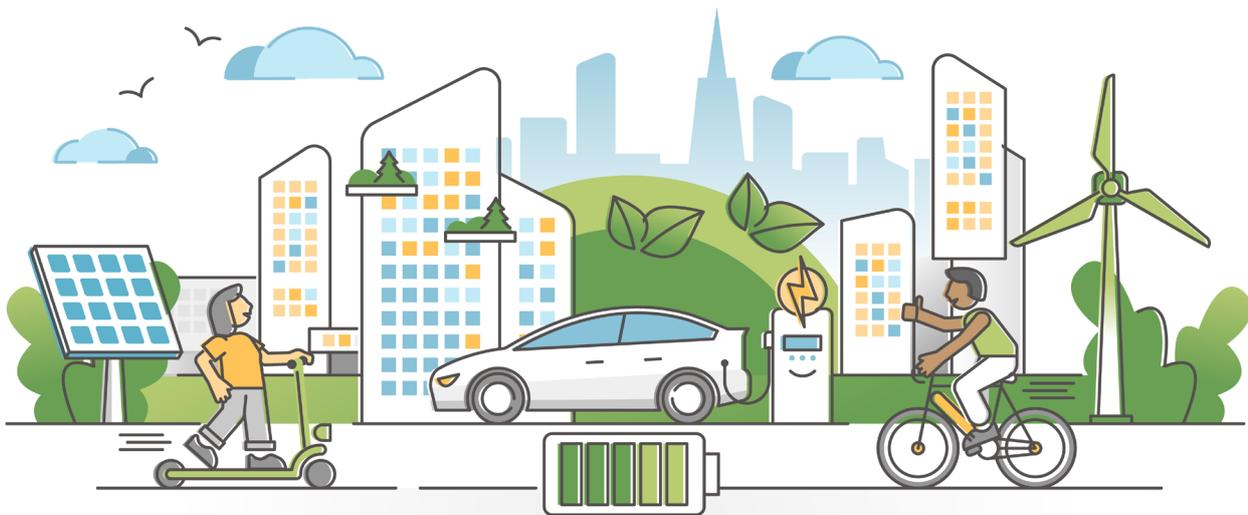
In Bezug auf die Nachhaltigkeit konkurrieren die Straße und der Straßenverkehr heute mit anderen Verkehrsträgern und Verkehrsarten, aber die Straße hat gute Chancen.

Warum bin ich dieser Meinung? Straßen verbinden jedes Haus mit jedem anderen Haus, mit jedem Geschäft, mit jedem Kindergarten, mit jeder Schule, mit jedem Krankenhaus, mit jeder Firma, mit jedem Bahnhof, mit jedem Flughafen... Das Straßennetz steht fast allen Nutzern zur Verfügung, gleichgültig ob Fußgänger, Rollstuhlfahrer, Radfahrer, Auto, Bus, Lkw, Krankenwagen, Baufahrzeug, Ver- oder Entsorgungsfahrzeug. Straßen bilden ein Netz höchster Belastbarkeit und Resilienz. Für den relativ kleinräumigen Güterverkehr, der für viele moderne Industrieländer typisch ist, ist die Straße der beste Transportweg. Das Straßennetz und der Individualverkehr sind in ländlichen Regionen oft das einzige Mittel der Wahl.

In Städten und urbanen Regionen verursacht der motorisierte Verkehr jedoch große Probleme. Lärm, Luftverschmutzung und Zerschneidungseffekte mindern die Lebensqualität. Motorisierte Straßenfahrzeuge sind für einen relativ hohen Anteil an CO<sub>2</sub>- und NO<sub>x</sub>-Emissionen verantwortlich und verbrauchen sehr viel Energie.

Versiegelte Verkehrsflächen in Städten führen zu einem hohen Oberflächenwasserabfluss und verstärken den städtischen Wärmeinsel-Effekt. Der Straßenverkehr ist nicht ungefährlich. Zahlreiche Unfälle passieren auf den Straßen. Viele Straßen, Brücken und Tunnel sind zudem in die Jahre gekommen und müssen nun unter Verkehr saniert werden.





Das sind die Herausforderungen. Wie sieht die Welt von morgen aus?

In Zukunft wird der Bau, Betrieb und die Erhaltung des Straßennetzes zum größten Teil klimaneutral und im hohen Maße ressourcenschonend sein. Der motorisierte Personen- und Güterverkehr wird nahezu ohne fossile Kraftstoffe auskommen und eine viel höhere energetische Effizienz aufweisen. Unfälle mit Getöteten oder Schwerverletzten werden der Vergangenheit angehören. Eine optimale Kombination aus öffentlichem Verkehr, individualisiertem öffentlichen Verkehr und Individualverkehr – ob motorisiert, zu Fuß oder mit dem Fahrrad – wird bedarfsgerecht angeboten. Der Verkehrsraum wird neu aufgeteilt, zugeparkte Städte sind ferne Erinnerungen aus der Vergangenheit. Es entsteht Raum für aktive Mobilitätsformen und für ein gesundes urbanes Leben. Das Bedürfnis der Menschen nach Mobilität wird im Einklang mit einem nachhaltigen Lebensstil stehen.

Die BAST arbeitet an diesen Zielen und zwar mit Hochdruck und größtem Engagement und das bereits seit über 70 Jahren. Zahlreiche Erfolge belegen regelmäßig, dass wir auf dem richtigen Weg sind. Ich wage sogar die kühne Behauptung, dass wir 2021 ohne die Forschung der BAST nicht den historisch niedrigsten Stand der Getöteten- und Verletztetenzahlen bei Straßenverkehrsunfällen seit Beginn der Statistik vor knapp 70 Jahren erreicht hätten. Doch angesichts von heute immer noch über 300.000 verunglückten und rund 2.500 getöteten Verkehrsteilnehmern werden wir uns auf den erzielten Erfolgen nicht ausruhen, sondern uns den Herausforderungen der Zeit stellen.

Seit November 2021 bin ich als neuer Präsident der Bundesanstalt für Straßenwesen Teil dieses großartigen BAST-Teams. Uns verbindet eine langjährige Forschungskooperation. Bereits als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der TU Dresden war ich in Projekten der BAST tätig und seit meiner Berufung an die RWTH Aachen im Jahr 2011 konnte ich diese Kooperation vertiefen.

Aus meinen Erfahrungen heraus weiß ich, dass die BAST wichtige *Basisarbeiten* für die Gewährleistung einer modernen Mobilität leistet. Die BAST befördert *Innovationen* im Bereich des Straßen- und Verkehrswesens, unterstützt den *Technologietransfer* zwischen Forschung und Industrie, konzentriert sich auf die *Politikberatung*, ist aktiv in der *Regelwerkssetzung* und erarbeitet gemeinsam mit ihren Partnern Lösungen für wichtige gesellschaftliche Fragen wie die *Mobilität der Zukunft*. Mit einem umfassenden *Vorlauforschungsprogramm* bereitet sich die BAST auf die Herausforderungen im Bereich des Straßen- und Verkehrswesens vor, um auch in Zukunft die richtigen Antworten geben zu können. Eine solche Organisation zu leiten, finde ich ausgesprochen spannend und motivierend.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Markus Oeser, Präsident der BAST

# Inhalt

<b>Schlaglichter</b> .....	<b>8</b>
70 Jahre BAST und Abschied von Präsident Strick .....	8
Neuer BAST-Präsident .....	8
Ausgezeichnetes Familienbewusstsein der BAST.....	9
Veranstaltungen – digital oder hybrid .....	10
Treffen mit der Autobahn GmbH .....	10
Umorganisation der Abteilung Straßenbautechnik.....	11
Referatsleitungen neu besetzt .....	11
<b>Digitale Infrastruktur, Rückbau und Wassereinsatz</b> .....	<b>12</b>
Digitale Transformation im Brücken- und Ingenieurbau .....	14
BIM in der Betriebsphase von Brücken .....	15
BIM in der Betriebsphase von Tunneln .....	16
Erweiterte virtuelle Realität bei der Bauwerksprüfung.....	17
Intelligente Brücke und digitaler Zwilling.....	18
Rückbau von Brücken .....	20
600 Tage unter Wasser – Kunststoffdichtungsbahnen in Straßentunneln .....	22
Geothermie im Tunnel – Schnee- und Eisfreihaltung mit Bergwasser.....	23
<b>Nachhaltiger und klimaresistenter Straßenbau</b> .....	<b>24</b>
„Wir denken nachhaltig“ – Nachhaltigkeit im Straßenbau .....	26
Messungen auf hochwassergeschädigten Autobahnabschnitten .....	28
Hitzeschäden an Betonfahrbahndecken .....	30
Asphaltoberbau mit HiMA.....	32
Doppelumhüllung – vermischt sich frisches Bitumen vollständig mit altem? .....	34
Asphalt aus der Nähe betrachtet .....	36
<b>Effizient und sicher, ökologisch und digital – Verkehrstechnik heute</b> .....	<b>38</b>
Autobahnen liefern saubere Energie.....	40
Umgang mit invasiven Pflanzenarten auf Straßenbegleitgrün – Praxishilfe für die Betriebsdienste .....	41
Lärmschutz, Naturschutz und Landschaftspflege mit Lehm .....	42
Wildunfallprävention – Analyse deutschlandweit gesammelter Wildunfalldaten.....	43
Bäume an Straßen und Verkehrssicherheit.....	44

Verkehrsrechtliche Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen – neue Richtlinien .....	45
Bundesweite Verkehrsdaten 2019 – Ergebnisse unbeeinflusst von Pandemie und Flutkatastrophe .....	46
Testfeldmonitoring und Digitales Testfeld Autobahn .....	48
Grünes Licht für nachhaltige Mobilität .....	50
Anforderungen automatisierter Fahrzeuge an Fahrbahnmarkierungen und Verkehrsschilder ....	51
<b>Automatisierte, schützende, intelligente und umweltbewusste Fahrzeugtechnik .....</b>	<b>52</b>
Automatisiertes Fahren – Ergebnisse aus L3Pilot .....	54
EU-Forschungsprojekt OSCCAR .....	56
Passiver Schutz ungeschützter Verkehrsteilnehmer bei Euro NCAP .....	57
PIONEERS – Sicherheitsequipment für Motorradfahrer .....	58
Navigationsdienste werden kooperativ.....	59
European ITS Platform – Intelligentes Verkehrsmanagement für Europa.....	60
Notbremsassistenten für schwere Nutzfahrzeuge – Anpassung internationaler Vorschriften.....	62
Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung .....	64
Green NCAP .....	65
<b>Verkehrssicherheit im Fokus der Forschung.....</b>	<b>66</b>
Sicheres Radfahren in einem gemeinsam genutzten Straßenraum .....	68
Pedelec: neue Chancen – neue Risiken .....	70
Kinderunfallatlas 2015 bis 2019 .....	72
Verkehrsklima 2020 .....	74
Optimierung der Fahrschulausbildung .....	76
<b>Ausbildung in der BASt .....</b>	<b>78</b>
<b>BASt Zahlen und Fakten 2021 .....</b>	<b>80</b>
<b>Lehraufträge und Promotionen .....</b>	<b>82</b>
<b>Organisation der BASt .....</b>	<b>84</b>

# Schlaglichter

## 70 Jahre BASt und Abschied von Präsident Strick

Das Bundesverkehrsministerium gründete die BASt 1951 zunächst als Bundesanstalt für Straßenbau mit Standort in Köln. Über die Jahre wurde ihr Auftrag mehrfach erweitert und so den Herausforderungen des stetig wachsenden Straßenverkehrs angepasst.

Im Sommer 2021 war eine große Veranstaltung geplant, um das 70-jährige Bestehen zu feiern und das mittlerweile sehr breite Aufgabenspektrum der BASt der Öffentlichkeit zu präsentieren. Aufgrund

des unerwarteten Todes von BASt-Präsident Stefan Strick im Februar 2021, haben wir beschlossen, auf diese Feierlichkeiten zu verzichten. Stefan Strick verstarb im Alter von 61 Jahren nach kurzer schwerer Krankheit.

Der Jurist leitete die BASt seit 2011 und hat ihr Ansehen als innovative Ressortforschungseinrichtung maßgeblich geprägt. Seine Erfahrung und Kompetenz, die er auch in viele Gremien eingebracht hat, wurde im In- und Ausland sehr geschätzt.



## Neuer BASt-Präsident

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Markus Oeser ist neuer Präsident der BASt. Am 22. September 2021 überreichte

Andreas Scheuer, Bundesverkehrsminister a. D., die Ernennungsurkunde in Berlin.

Am 1. November 2021 trat Prof. Dr. Oeser offiziell die Nachfolge von Stefan Strick an. Der Abteilungs-



Urkundenüberreichung im Bundesverkehrsministerium in Berlin – von links nach rechts, vorne: Prof. Dr. Markus Oeser, Bundesverkehrsminister a.D. Andreas Scheuer, Reinhard Klingens (BMDV); hinten: Dr. Stefan Krause (BMDV), Dr. Kirstine Lamers (BASt), Staatssekretär Dr. Michael Güntner (BMDV) (Bild: BMDV)

leiter Bundesfernstraßen des BMDV, Dr. Stefan Krause, führte ihn am 2. November 2021 in sein neues Amt als Präsident der BAST ein. Pandemiebedingt gab es keine übliche Einführungsveranstaltung. Ein sehr kleiner Personenkreis konnte bei dem Festakt vor Ort dabei sein und mehrere hundert Gäste verfolgten stattdessen digital Reden und Grußworte, die anlässlich seines Amtsantritts gehalten und übermittelt wurden.

Prof. Dr. Oeser war seit 2011 Leiter des Lehrstuhls für Straßenwesen und Direktor des Instituts für Straßenwesen sowie seit 2015 Dekan an der Fakultät für Bauingenieurwesen der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen (RWTH). Seine wissenschaftliche Expertise als promovierter Bauingenieur bringt er in Forschungsgremien, Fachverbände und -vereinigungen ein – beispielsweise in der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV). Nach seinem Studium an der Technischen Universität Dresden im Fach Bauingenieurwesen mit Schwerpunkt im Konstruktiven Ingenieurbau promovierte Oeser in Dresden mit dem Thema „Numeri-



*Amtseinführung am 2. November 2021 in Bergisch Gladbach – von links: Dr. Kirstine Lamers, Leiterin der Zentralabteilung der BAST, Sabine Fürneisen, Vorsitzende des Personalrats, Prof. Dr. Markus Oeser und Dr. Stefan Krause, Abteilungsleiter Bundesfernstraßen des Bundesverkehrsministeriums*

sche Simulation des nicht-linearen Verhaltens mehrschichtiger flexibler Verkehrswegebefestigungen“. 2010 folgte seine Habilitation mit dem Thema „Nichtlineare numerische Simulationsmodelle für Verkehrswegebefestigungen unter Berücksichtigung von mechanischen, thermischen und hydraulischen Einwirkungen“. 2006 war Markus Oeser

Forschungsmitglied der Technischen Universität Delft, Niederlande. Von 2007 bis 2011 war er Universitätsdozent (Lecturer) am Institut für Geotechnik, Straßenbau und Verkehrswesen der University of New South Wales (UNSW) in Sydney, Australien. Seit 2015 ist er Gastprofessor am Harbin Institute of Technology (HIT), in Harbin, Heilongjiang, China.

## Ausgezeichnetes Familienbewusstsein der BAST

Die BAST hat für die strategische Gestaltung ihrer familien- und lebensphasenbewussten Personalpolitik im Juni das Zertifikat zum audit berufundfamilie erhalten. Das Zertifikat, das als Qualitätssiegel für eine betriebliche Vereinbarkeitspolitik gilt, wird vom Kuratorium der berufundfamilie Service GmbH erteilt. Beim Begriff Familie orientiert sich die BAST an der Vielfalt der Lebenssituationen ihrer Beschäftigten. Familie ist da, wo Zugehörigkeit empfunden und Verantwortung für andere Menschen übernommen wird.



*Dr. Kirstine Lamers, Leiterin der Zentralabteilung (links), und Dr. Franka Tauscher, Gleichstellungsbeauftragte der BAST, mit dem Zertifikat vom Kuratorium der berufundfamilie Service GmbH*

## Veranstaltungen – digital oder hybrid

Wie im vorangegangenen Jahr war es auch in 2021 pandemiebedingt nicht möglich, Veranstaltung in gewohnter Weise durchzuführen: Kongresse und Workshops wurden geplant, abgesagt und umgeplant.

Seit Beginn der Corona-Pandemie finden Meetings und Veranstaltungen in der BAST nahezu ausschließlich digital oder in hybridem Format statt. Um hierfür gut gerüstet

zu sein, entschloss sich die BAST, im Haus ein eigenes Studio aufzubauen.

Mit dem ersten komplett live gestreamten Symposium „Nachrechnung bestehender Brücken – Neue Entwicklungen“ feierte das digitale Studio der BAST am 9. September 2021 seine Premiere auf dem haus-eigenen YouTube-Kanal. Mehr als 300 registrierte Teilnehmer waren

dabei. Die Veranstaltung wurde aufgezeichnet und stand 3 Wochen auf der Homepage der BAST bereit. In diesem Zeitraum wurde sie fast 2.000 Mal aufgerufen.

Seit November wird das Studio auch genutzt, um Webinare durchzuführen, die anschließend ebenfalls auf dem YouTube-Kanal der BAST abrufbar sind. Auftakt war ein Webinar zu BIM im Brückenbetrieb.



## Treffen mit der Autobahn GmbH

Kurz nach Amtsantritt des neuen BAST-Präsidenten Prof. Dr. Oeser trafen sich Mitte Dezember die Führungsebenen der Autobahn GmbH und der BAST. Die hochkarätigen Vertreter aus Wissenschaft und Praxis legten gemeinsam die

Themenbereiche der zukünftigen Zusammenarbeit fest. Erklärtes Ziel beider Partner ist ein effizientes, umweltfreundliches und zukunftsorientiertes Straßenwesen, das sich an den Bedürfnissen der Nutzer orientiert.

Praxis und Wissenschaft gesehen. Die 4 Themenkomplexe „Nutzungs- und zukunftsorientierte Straßeninfrastruktur“, „Kreislaufwirtschaft und Klimaneutralität“, „Resiliente und agile Infrastruktur“ sowie „Funktionalisierung von Straßen“ stehen hier zunächst im Fokus. Verbunden sind diese über die Querschnittsthemen „Nachhaltigkeit“ und „Digitalisierung“.

Autobahn GmbH und BAST wollen sich künftig regelmäßig austauschen sowie gegenseitig in ihren Beratungsgremien mitwirken.

Elemente der Kooperation sind beispielsweise die beidseitige Datenbereitstellung sowie die enge Zusammenarbeit in Forschungsprojekten. Als entscheidend für den Erfolg wird insbesondere der fachliche Austausch zwischen



## Umorganisation der Abteilung Straßenbautechnik

Im Oktober wurde die Abteilung „Straßenbautechnik“ aufgrund neuer Schwerpunkte inhaltlich und organisatorisch neu ausgerichtet. Sie umfasst nun 7 Referate: Nachhaltigkeit, Ressourcenschutz und Erdbaustoffe im

Straßenbau; Betonbauweisen; Asphaltbauweisen, Chemische Grundlagen, Umweltschutz; Zustandserfassung und -bewertung; Management der Straßenerhaltung; Analyse und Entwicklung von Straßenoberbauten.

## Referatsleitungen neu besetzt



Dr. Markus Schumacher, der bisherige kommissarische Leiter des Referats „Sicherheitskonzeptionen, Sicherheitskommunikation“, wurde im März 2021 zum Leiter des Referats ernannt. Er ist Psychologe und seit 2007 in der BAST beschäftigt.



Dr. Verena Rosauer leitet seit September das Referat „Asphaltbauweisen“. Sie ist Wirtschaftsingenieurin/Fachrichtung Bauingenieurwesen und war zuletzt selbstständig tätig mit Gutachten und Beratung zum Straßenbau. Sie ist öffentlich bestellte und vereidigte Sachverständige.



Die bisherige stellvertretende Leiterin der „Begutachtungsstelle Fahrerlaubniswesen“, Dr. Astrid Bartmann, leitet seit August die Begutachtungsstelle. Sie ist Psychologin und seit 2001 in der BAST tätig.



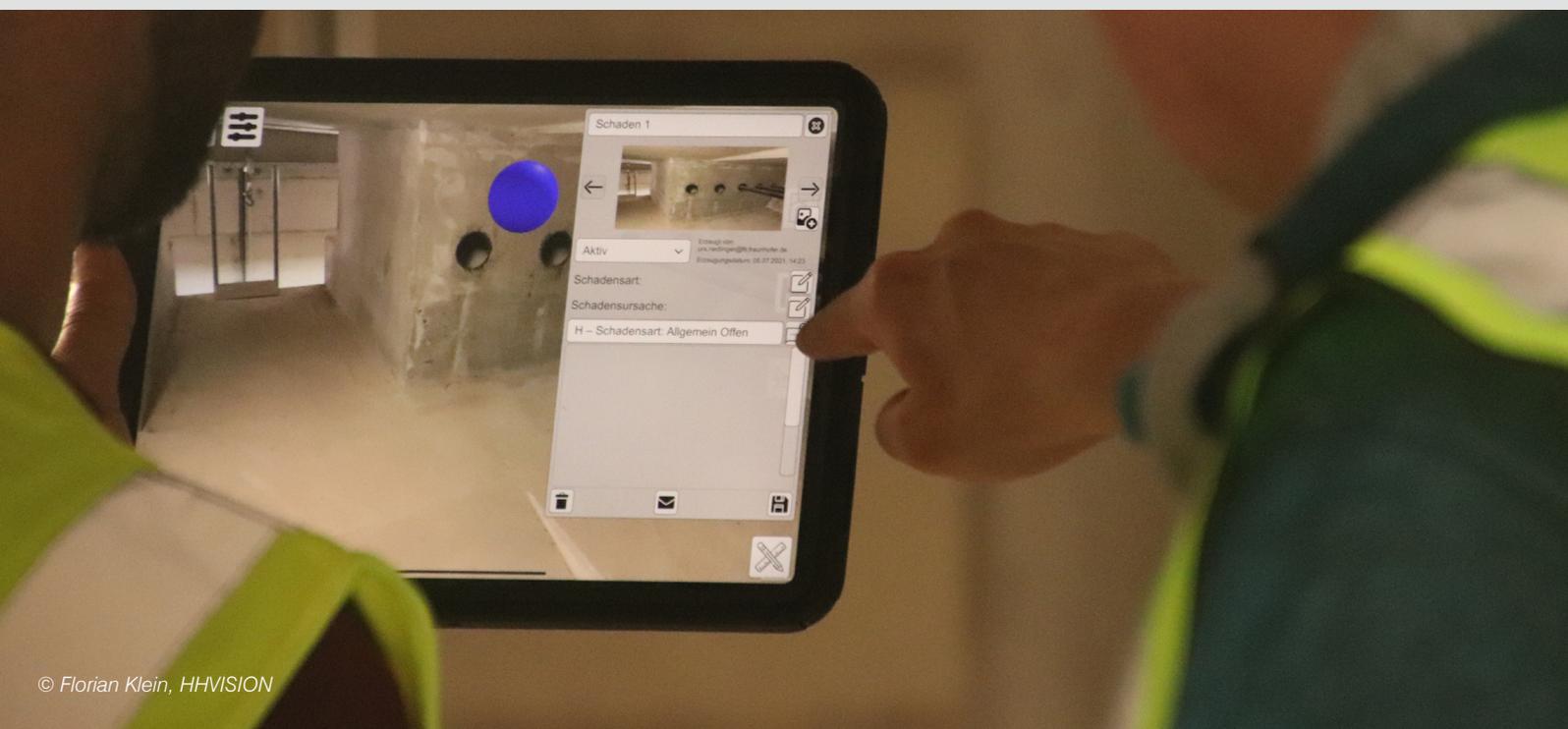
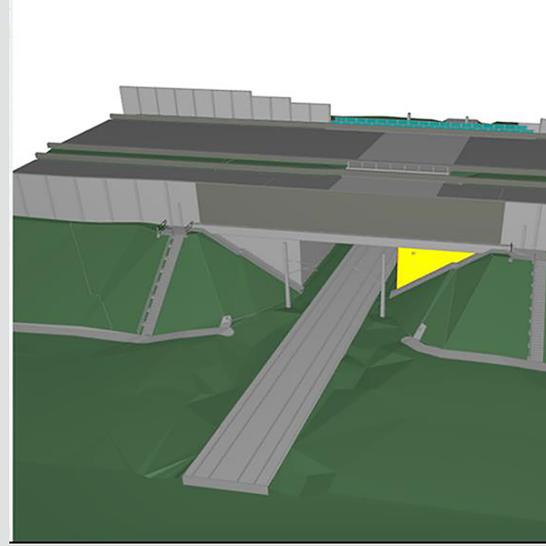
Der bisherige stellvertretende Leiter des Referats „Straßenentwurf, Verkehrsablauf, Verkehrsregelung“, Dr. Marco Irzik, übernahm im November 2021 die Leitung. Der Bauingenieur arbeitet seit 2006 in der BAST.



Ralph Holst, bisheriger stellvertretender Referatsleiter „Grundsatzfragen der Bauwerkserhaltung“, wurde im September zum Referatsleiter ernannt. Der Bauingenieur ist seit 2002 in der BAST beschäftigt.



Dr. Matthias Müller war bisher stellvertretender Leiter des Referats „Betonbau“. Im Januar 2022 wurde er Leiter des Referats „Stahlbau, Korrosionsschutz, Brückenausstattung“. Er ist Bauingenieur und seit 2012 in der BAST tätig.



# Digitale Infrastruktur, Rückbau und Wassereinsatz

Digitale Transformation im Brücken- und Ingenieurbau

BIM in der Betriebsphase von Brücken

BIM in der Betriebsphase von Tunneln

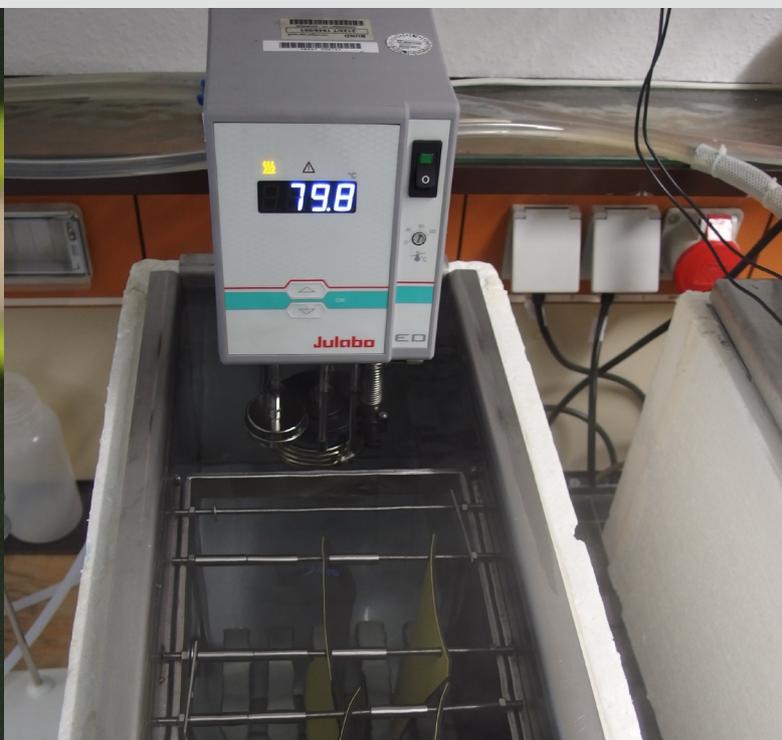
Erweiterte virtuelle Realität bei der Bauwerksprüfung

Intelligente Brücke und digitaler Zwilling

Rückbau von Brücken

600 Tage unter Wasser – Kunststoffdichtungsbahnen in  
Straßentunneln

Geothermie im Tunnel – Schnee- und Eisfreihaltung mit  
Bergwasser



# Digitale Transformation im Brücken- und Ingenieurbau

Dr. Iris Hindersmann, Geografin, Jennifer Bednorz, Bauingenieurin, Sarah Windmann, Maschinenbauingenieurin, Referat „Stahlbau, Korrosionsschutz, Brückenausstattung“, Anne Lehan, Wirtschaftsingenieurin, Referat „Tunnel- und Grundbau, Tunnelbetrieb, Zivile Sicherheit“ und Sonja Nieborowski, Maschinenbauingenieurin, Referat „Grundsatzfragen der Bauwerkserhaltung“

Die Entwicklungen auf dem Gebiet der Digitalisierung ermöglichen auch eine digitale Transformation zur Verbesserung von Effizienz und Effektivität im Bereich der Erhaltung und des Betriebs von Brücken und Ingenieurbauwerken. Neben den Herausforderungen und deutlichen Veränderungen, die damit verbunden sind, bietet die Digitalisierung zugleich zahlreiche Potenziale und Chancen zur Betrachtung des gesamten Lebenszyklus eines Ingenieurbauwerks.



Von links: Jennifer Bednorz, Sonja Nieborowski und Anne Lehan

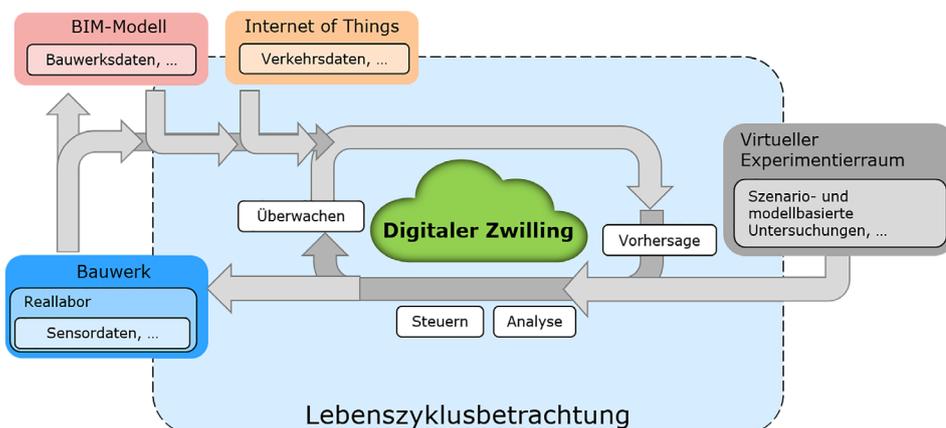
Im Mittelpunkt dieser Entwicklung steht der digitale Zwilling, der Potenziale hinsichtlich Überwachung, Steuerung, Analyse und Vorhersage für den gesamten Lebenszyklus eines Ingenieurbauwerks aufweist. Mit der Einführung des Masterplans BIM Bundesfernstraßen stellt das Bundesverkehrsministerium eine weiterführende Implementierungsstrategie zum flächendeckenden Einsatz der Methode des Building Information Modelling (BIM) bereit und definiert das Zukunftsbild des langfristigen Einsatzes der BIM-Methode im Bundesfernstraßenbau. Das Zu-

kunftsmodell umfasst den gesamten Lebenszyklus und legt den Fokus besonders auf den Betrieb der Bundesfernstraßeninfrastruktur, der zukünftig auf Basis voll integrierter digitaler Zwillinge erfolgen soll.

Aufgabe eines digitalen Zwillinges soll es sein, Echtzeit-Informationen aus dem Bauwerk, Daten aus dem BIM-Modell, Informationen aus dem Internet of Things (IoT) sowie Ergebnisse aus dem virtuellen Experimentierraum so miteinander zu verknüpfen, dass diese ein prädiktives Lebenszyklusmanagement ermöglichen.

Im Rahmen der bisherigen Forschungen wurden Grundlagen zur Erstellung und zum Betrieb eines digitalen Zwillinges erarbeitet. In den Projekten BIM in der Betriebsphase von Tunneln oder Brücken wurden ausgewählte Anwendungsfälle des Betriebs untersucht und Anforderungen an BIM-Betriebsmodelle definiert. In einem weiteren Projekt wurde auf Basis von BIM-Modellen der Einsatz moderner Technologien wie erweiterte/virtuelle Realität zur Unterstützung der Bauwerksprüfung untersucht. Anhand von Reallaboren wurden Bauwerke zur Erfassung von Einwirkungen und deren Auswirkung instrumentiert und die gewonnenen Informationen zur Zustandsbewertung abgeleitet sowie erste Möglichkeiten zur Verwendung der Ergebnisse für einen digitalen Zwilling abgeschätzt.

Alle gewonnenen Erkenntnisse fließen in die Konzeption und den Aufbau von digitalen Zwillingen für Infrastrukturbauwerke ein. ■



Aufbau und Komponenten eines digitalen Zwillinges für Ingenieurbauwerke

# BIM in der Betriebsphase von Brücken



Jennifer Bednorz, Bauingenieurin, Referat „Stahlbau, Korrosionsschutz, Brückenausstattung“

Um die BIM-Methode im Erhaltungsmanagement von Brückenbauwerken anzuwenden und die BIM-Modelle über die Lebenszyklusphasen Planung und Bau auch im Betrieb durchgehend nutzen zu können, sind frühzeitig Definitionen und Anforderungen festzulegen, die an die BIM-Methodik für das Erhaltungsmanagement gestellt werden.

Ziel eines Forschungsprojekts war es, den gesamten Informationsfluss zu untersuchen, der im Laufe des Lebenszyklus eines Brückenbauwerkes anfällt, und dabei insbesondere die für das Betriebs- und Erhaltungsmanagement notwendigen Informationen zu analysieren. Wesentlich dabei war es, zu identifizieren, welche Informationen relevant für die gängigen Anwendungsfälle und Szenarien im Erhaltungsmanagement sind. Der Fokus lag auf der Praxistauglichkeit – sowohl beim Erhaltungsmanagement als auch im Informationsbeschaffungsprozess.

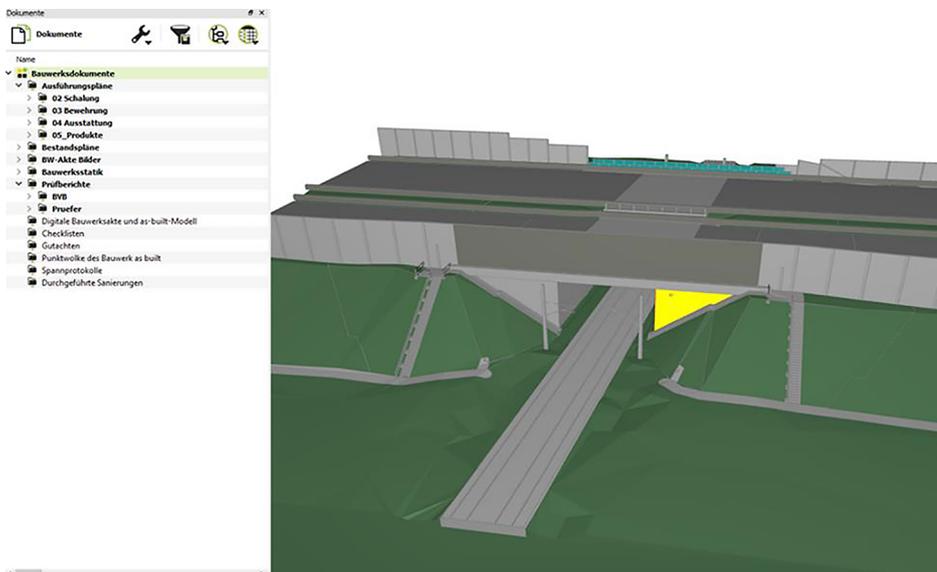
Unter Berücksichtigung von Expertenbefragungen und Analysen des Status-Quo im Erhaltungsmanagement wurde ein Konzept entwickelt, das aus einem Frontend, also der möglichen Benutzeroberfläche eines BIM-Bestandsmanagementsystems und aus einem Backend mit den verschiedenen Datenquellen (Linked-Data Ansatz) besteht.

Für die Anwendungsfälle Bauwerkprüfung, Nachrechnung, Schwertransporte, Durchführung von Erhaltungsmaßnahmen, Erweiterung des Bauwerks in Form von Um- und Ausbau sowie die Auswertung von Netzstatistiken wurden – entsprechend der abgeleiteten Anforderungen an die BIM-Modelle – Soll-Prozesse definiert und Attributtabelle entwickelt. Diese stellen dar, für welche Anwendungsfälle welche Attribute erforderlich sind, und an welchen Bauteilen diese zu verorten sind. Anhand eines praxisgerechten Konzepts wurde die Umsetzung der Anwendungsfälle über das Frontend dargestellt. Das Kon-

zept verfolgt die Voraussetzungen einer web-basierten Software als Frontend, die als Zugang zur digitalen Bauwerksakte dient.

Zur Demonstration der entwickelten Konzepte wurden anhand eines realen Projekts die BIM-Anwendungsfälle des Erhaltungsmanagements implementiert. Auf Grundlage der in den Auftraggeberinformationsanforderungen (AIA) ergänzten Attributtabelle erfolgten die Attributierung der BIM-Modelle sowie die Prüfung der Attribute. Weiterhin wurden die Dokumente parametrisiert und regelbasiert mit den Daten verlinkt. Auf Grundlage der daraus erstellten digitalen Bauwerksakte wurde für die Umsetzung der Anwendungsfälle eine softwarespezifische Demo erstellt.

Das Forschungsprojekt liefert somit einen wichtigen Beitrag für die BIM-Implementierung im Brücken- und Ingenieurbau sowie für die praxisgerechte Anwendung im Betriebs- und Erhaltungsmanagement. ■



Verlinkung von Daten und Dokumenten mit dem As-built Modell in der digitalen Bauwerksakte

# BIM in der Betriebsphase von Tunneln

Anne Lehan, Wirtschaftsingenieurin und Hendrik Wahl, Bauingenieur, Referat „Tunnel- und Grundbau, Tunnelbetrieb, Zivile Sicherheit“



Im Rahmen eines Forschungsprojekts wurden die Grundlagen für ein BIM-basiertes Betriebs- und Erhaltungsmanagement von Straßentunneln entwickelt. Ausgehend von organisatorischen, betrieblichen und regulatorischen Randbedingungen, Abläufen in der Praxis sowie Anforderungen der verschiedenen Stakeholder und daraus abgeleiteten Prozessen konnten die für ein (BIM-)Betriebsmodell erforderlichen Inhalte für die modellbasierte Arbeit identifiziert werden. Diese Anforderungen wurden formalisiert und in ein entsprechendes Datenmodell (IFC-Modell) überführt, im Zuge dessen einzelne Anwendungsfälle untersucht wurden.

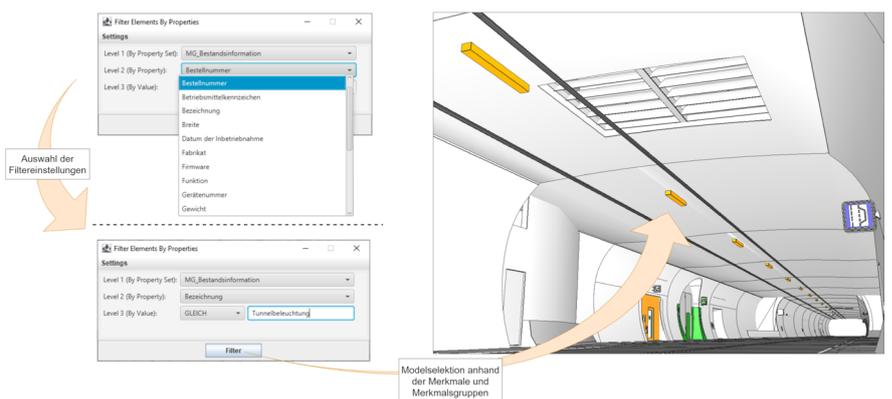
Die ermittelten Informationsanforderungen wurden – basierend auf den identifizierten Inhalten für die entsprechenden Anwendungsfälle – in Form von Information Delivery Manuals (IDMs) definiert. Dies umfasst unter anderem die Abbildung von optimierten Prozessabläufen auf Basis von BIM sowie die Definition des Informationsbedarfs in Form des Level of Information Need (LOIN) an entsprechenden Austauschpunkten zwischen den am Prozess beteiligten Akteuren. Um den verlustfreien Informationsaustausch zwischen (BIM-)Betriebsmodell und verknüpften Arbeitsinhalten zu gewährleisten, werden Austauschcontainer (ICDD – Information Container for linked Document Delivery) als Arbeitsumgebung eingesetzt. In Ergänzung dazu wurden auch technische Umsetzungen beschrieben, um zukünftig eine digitalisierte, BIM-gestützte Informationserfassung im Zuge einzelner Prozesse sowie Anwendungsfälle zu ermöglichen.

Die formalisierten Informationsanforderungen wurden zwecks modellbasierter Arbeitsweise in ein Datenmodell überführt, das auf dem Austauschstandard IFC basiert und weitere Standards im Infrastrukturbereich berücksichtigt – insbesondere OKSTRA in Verbindung mit den ASB-ING (Anweisungen Straßeninformationsbank für Ingenieurbauten). Das Datenmodell umfasst neben der Formulierung von Modellobjekten und deren Beziehungen untereinander auch die Festlegung von Merkmalen und Merkmalsgruppen, mit denen einzelne Objekte spezifisch ausgezeichnet werden können.

Einzelne Anwendungsfälle wurden an einem (BIM-)Betriebsmodell eines realen Bauwerks umgesetzt. Ein wesentlicher Schritt hierfür war die prototypische Implementierung von Prüf- und Hilfswerkzeugen, die einen anwendungsorientierten und betriebs- sowie erhaltungsspezifischen Umgang mit einem IFC-Modell ermöglichen. Der Fokus lag hier auf der Entwicklung eines Tools (ICCD Inspektor), das sowohl die Erstellung von Austauschcontainern unterstützt, als auch Prüfungen und Filterungen von Modellinhalten

sowie die Erstellung, Bearbeitung und Verwaltung von verknüpfbaren Dokumenten realisiert. Ein wesentlicher Aspekt ist zudem die Visualisierung über eine Benutzeroberfläche, die auch das direkte, modellbasierte Arbeiten am IFC-Modell ermöglicht.

Im Ergebnis liegen definierte Anforderungen an ein BIM-basiertes Betriebs- und Erhaltungsmanagement vor. Im Zuge der Demonstration konnte zudem für einzelne Anwendungsfälle das BIM-modellbasierte Arbeiten mit entwickelten Prüf- und Hilfswerkzeugen in Form eines prototypischen Softwaretools veranschaulicht und hinsichtlich seiner Funktionalität validiert werden. Darüber hinaus bilden die erarbeiteten Strukturen in enger Anlehnung an die Betriebs- und Erhaltungsprozesse eine Grundlage für eine Modellierungsrichtlinie für (BIM-)Betriebsmodelle von Straßentunneln. Insbesondere die erarbeiteten Ansätze zur Digitalisierung von Prozessabläufen und einer damit verknüpften, digitalisierten Informationsbestellung erzeugen eine Basis zur zukünftigen Implementierung in ein Lebenszyklusmanagement auf Grundlage digitaler Zwillinge. ■



Entwickelte Benutzeroberfläche des ICCD-Inspektor-Prototyps

# Erweiterte virtuelle Realität bei der Bauwerksprüfung

Sonja Nieborowski, Maschinenbauingenieurin, Referat „Grundsatzfragen der Bauwerkserhaltung“



Im Kontext alternder Bauwerke, steigender Verkehrsaufkommen und Verkehrslasten gewinnt die Bauwerksprüfung zunehmend an Bedeutung. In strukturierten Zyklen werden alle Bauteile des Bauwerks handnah begutachtet, das heißt in einem Abstand, der ungefähr einer Armlänge entspricht. Auftretende Schäden werden erkannt und Maßnahmen eingeleitet. Für die Prüfung wird meist auf konventionelle Methoden wie das Abklopfen von Oberflächen mittels eines Hammers und das Dokumentieren von Schadensbereichen – beispielsweise Risse oder Abplatzungen – in handschriftlichen Skizzen zurückgegriffen. Digitale Technologien wie virtuelle und erweiterte Realität, die vielfach aus der Spieleindustrie bekannt sind, bieten Potenziale diesen herkömmlichen Prozess zu unterstützen sowie die Qualität und Effizienz zu steigern. Das ist das Ergebnis eines Forschungsprojekts im Auftrag der BASt.

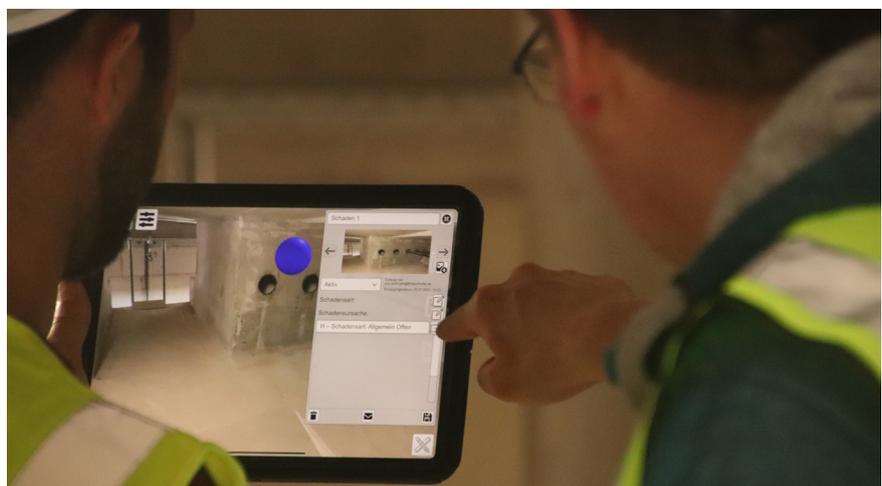
Im Forschungskonsortium dieses Projekts haben IT-Spezialisten und Bauwerksprüfer von Beginn an zusammengearbeitet. Hierbei wurde ein nutzerzentrierter Ansatz verfolgt, durch den die Bedürfnisse und Anforderungen in der Bauwerksprüfung in den Fokus gestellt wurden. Ergebnis ist ein Prototyp auf Basis verfügbarer technologischer Lösungen. Informationen aus dem Bestand sowie den bisherigen Prüfungen werden verknüpft und für die unterschiedlichen Prozessbeteiligten geeignet bereitgestellt. 3D-Bauwerksmodelle im Rahmen der digitalen Arbeitsmethode BIM in Kombination mit den Technologien der

virtuellen erweiterten Realität bieten zur Verknüpfung und Visualisierung konzeptionell und methodisch die ideale Basis. Im Forschungsprojekt wurden aus diesen Technologien spezielle Komponenten zusammengestellt, die zusammen ein digitales Unterstützungssystem bilden. Schäden können damit in der Bauwerksprüfung durch einfache Kameraaufnahmen verortet, mit dem 3D-Bauwerksmodell verknüpft und mit weiteren Informationen zur lückenlosen Protokollierung versehen werden.

Über eine Cloud können die aufgenommenen Daten bereits während der Prüfung übertragen und so parallel im Büro am 3D-Bauwerksmodell mittels virtueller Realität begutachtet werden. Informationen zu Schäden, die in vergangenen Prüfungen aufgenommen wurden, erhalten die Prüfer vor Ort über das Tablet als digitale Überlagerung mittels erweiterter Realität. In deutlich kürzerer Zeit können sie auf diesem Weg wiedergefunden und zum Beispiel im Hinblick auf Schadensentwicklungen bewertet werden. Ebenso

kann das 3D-Bauwerksmodell mit Informationen etwa zur Lage der Spannglieder über die Kamera des Tablets im Transparenzmodus überlagert werden.

Um den realisierten Demonstrator auf seine Praxistauglichkeit zu untersuchen, wurde dieser in einem Workshop an der Intelligenten Brücke im Digitalen Testfeld Autobahn im Autobahnkreuz Nürnberg durch unabhängige Teilnehmer evaluiert. Die Ergebnisse der Evaluation haben gezeigt, dass der Demonstrator sich in der praktischen Anwendung durch die Bauwerksprüfer bewährt hat. Auch weitere Ideen und Verknüpfungsmöglichkeiten wurden im Testlauf bereits entwickelt. Hierzu zählt unter anderem die Verbindung mit dem maschinellen Lernen, mit dessen Hilfe Schadensbereiche direkt erkannt, analysiert und über erweiterte Realität visualisiert werden könnten. Diese Möglichkeiten werden in einem weiteren Forschungsprojekt untersucht und der technologische Fortschritt wird in praktische Anwendungen implementiert. ■



Erweiterte Realität in der Bauwerksprüfung (Bild: Florian Klein, HHVISION)

# Intelligente Brücke und digitaler Zwilling

Sarah Windmann, Maschinenbauingenieurin, Referat „Stahlbau, Korrosionsschutz, Brückenausstattung“ und Sonja Nieborowski, Maschinenbauingenieurin, Referat „Grundsatzfragen der Bauwerkserhaltung“



Die aktuellen Herausforderungen an unsere Bundesfernstraßen erfordern die Weiterentwicklung des derzeit reaktiven Erhaltungsmanagements zu einem prädiktiven Lebenszyklusmanagement. In diesem Sinne soll das Verhalten eines Bauwerks erkannt, prognostiziert und damit Ausfälle vermieden werden, um so eine bestmögliche Verfügbarkeit zu gewährleisten. Seit 2011 leistet die BAST mit dem Forschungscluster „Intelligente Brücke“ [1] dazu einen maßgeblichen Beitrag. Die Forschung zum digitalen Zwilling baut auf den Ergebnissen auf und stellt eine zentrale Entwicklung im Rahmen der digitalen Transformation dar.

## Intelligente Brücke

Die Intelligente Brücke bezeichnet ein modulares System zur permanenten Erfassung und Analyse maßgeblicher Messgrößen hinsichtlich Einwirkungen und Bauwerksreaktionen sowie deren ganzheitliche Bewertung. Über die gesamte Nutzungsdauer liefert sie kontinuierlich in nahezu Echtzeit Informationen hinsichtlich des Status, der Zuverlässigkeit und Restnutzungsdauer des Bauwerks und seiner Bauteile. An einzelnen Bauwerken gewonnene Erkenntnisse können teilweise auf den Teil-/Gesamtbestand übertragen werden. Die Realisierung einer Intelligenten Brücke ist sowohl beim Neubau als auch bei Bestandsbauwerken mit ausreichend hoher Restnutzungsdauer möglich. Hierbei stehen Brückenbauwerke mit großer Bedeutung für das Bundesfernstraßennetz sowie repräsentative Bauwerke im Vordergrund.

Die Intelligente Brücke kann den Bauwerkseigentümer bei der Gewährleistung der Sicherheit, Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit eines Bauwerks umfänglich unterstützen, indem sie objektive Informationen – gewonnen aus Messdaten – neben den Informationen aus der Bauwerksprüfung zur Verfügung stellt. Bevor eine Schädigung visuell erfassbar ist, können Verhaltensänderungen des Bauwerks frühzeitig erkannt und daraus Statusprognosen abgeleitet werden. Erkannte Verhaltensänderungen können als Indikator für eine zuverlässigkeitsorientierte Bauwerksprüfung dienen und deren Effizienz steigern. Die bereitgestellten Informationen schaffen die Grundlage für die Entwicklung vom reaktiven zum prädiktiven Lebenszyklusmanagement.

In den Jahren 2011 bis 2015 lag der Schwerpunkt der Forschungsaktivitäten vor allem auf konzeptionellen Projekten. Ziel war es, den Stand der Technik, die Machbarkeit sowie Grundlagen aufzuzeigen und zu erarbeiten. Die Themen Messtechnik, Datenanalyse und Bewertungsverfahren standen dabei im Fokus. Seit 2016 erfolgte die Entwicklung instrumentierter Bauteile – zum Beispiel Fahrbahnübergänge und Brückenlager, neue Analyse- und Bewertungs- und Visualisierungsverfahren sowie deren Evaluierung und Weiterentwicklung in Reallaboren.

## Reallabore

Ein wichtiges Ziel der BAST-Forschung ist es, praxistaugliche Entwicklungen verfügbar zu machen. Reallabore sind dafür geeignete Werkzeuge. Hierbei handelt es sich

um Testumgebungen, in denen verkehrsinfrastrukturrelevante Informationen unter realen Bedingungen erprobt, bewertet und weiterentwickelt werden können [1]. Mit den Reallaboren „Intelligente Brücke im Digitalen Testfeld Autobahn“, „Talbrücke Sachsendgraben“ und „Intelligente Brücke – duraBAST“ hat die BAST umfangreiche Erfahrungen mit Konzeption und Betrieb der Anlagen gesammelt und wichtige Teilentwicklungen der Intelligenten Brücke unter realen Bedingungen erprobt und bewertet.

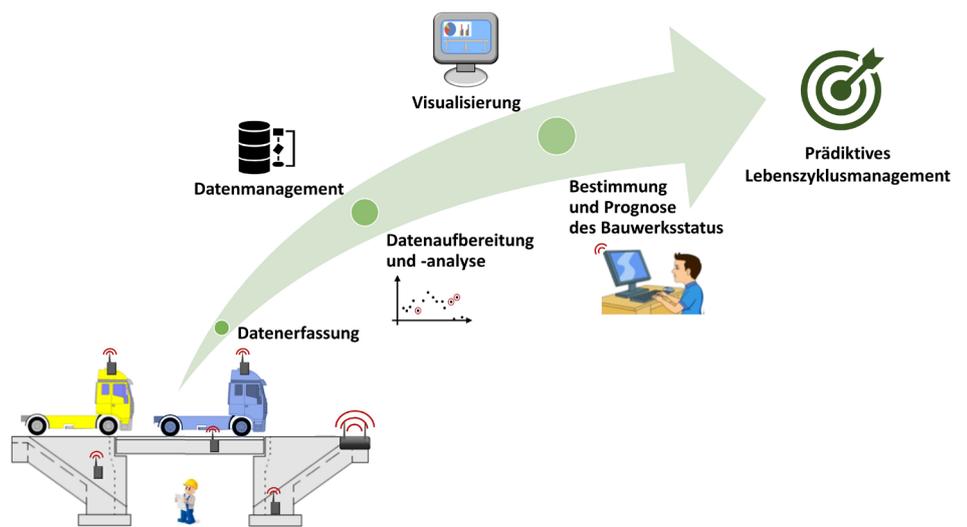
Erkenntnisse aus Reallaboren können einen entscheidenden Beitrag zur schnellen Implementierung neuer und innovativer Ansätze in der Praxis liefern, wobei der Ansatz eine volle Variation aller in der Praxis vorkommenden Randbedingungen nur eingeschränkt ermöglicht. Dieser Limitierung kann mit einem digitalen Zwilling begegnet werden, der eng mit einem Reallabor über dessen Realdaten verbunden ist.

## Digitaler Zwilling

Der digitale Zwilling eines Ingenieurbauwerks ist im Bereich Brücke eine gezielte Erweiterung der Intelligenten Brücke – beispielsweise im Hinblick auf Big Data/Smart Data-Anwendungen, KI-Ansätze, Mixed-Reality-Anwendungen und virtuelle Experimentierräume. Er ist ein digitales Abbild eines realen Bauwerks und spiegelt sämtliche Eigenschaften und sein Verhalten über dessen gesamten Lebenszyklus hinweg anhand verschiedener Modelle – unter anderem Geometrie-, Struktur- sowie Datenmodelle. Der digitale Zwilling aktualisiert sich

kontinuierlich, um den aktuellen Status des realen Bauwerks sowie die daraus ableitbaren Prognosen in nahezu Echtzeit darzustellen. Zu diesem Zweck greift er auf große Datenmengen zurück, die zum Beispiel am realen Bauwerk, gesammelt oder von bereits bestehenden Systemen und dem BIM-Bestandsmodell bereitgestellt werden. Daneben kann der digitale Zwilling unter anderem durch Anbindung an das Internet of Things (IoT) Informationen aus neuen Datenquellen nutzen – beispielsweise vernetzten Fahrzeugen, Smartphones und sozialen Medien. In Anbetracht der großen Datenmengen kommen Big Data/Smart Data-Anwendungen und Verfahren der KI zur Datenanalyse und -bewertung zum Einsatz. Darüber hinaus beinhaltet der digitale Zwilling einen virtuellen Experimentierraum, in dem zum Beispiel der Bauwerksstatus in verschiedenen Szenarien untersucht und prognostiziert werden kann.

Die Nutzenaspekte des digitalen Zwillings sind vielfältig. Um den Eigentümer eines Bauwerks umfassend mit Informationen zu versorgen, ermittelt er kontinuierlich Daten zu Status, Zuverlässigkeit und Restnutzungsdauer des Bauwerks und seiner Bauteile. Darüber hinaus werden im digitalen Zwilling Prognosen zum Lebenszyklus erstellt und etwaiger Handlungsbedarf bei einem ungenügenden Status vorgeschlagen. Im virtuellen Experimentierraum können die Auswirkungen von Unfällen und Extremereignissen auf den Bauwerksstatus, dessen Prognose und die sicherheitstechnische Ausstattung simuliert werden. Damit wird die Möglichkeit geschaffen, Maßnahmen zuverlässiger und effizienter zu planen und einzuleiten. Darüber hinaus bietet der digitale Zwilling auch die Möglichkeit, neuartige Technologien wie



*Intelligente Brücke und prädiktives Lebenszyklusmanagement*

KI-Anwendungen zu erproben ohne die Integrität des sicheren Betriebs zu verletzen. Er hat ferner das Potenzial, das Lebenszyklusmanagement so zu erweitern, dass es mithilfe von selbstlernenden Algorithmen in seiner höchsten Entwicklungsstufe die für den Lebenszyklus relevanten Sachverhalte verstehen, analysieren, evaluieren, anwenden und weiterentwickeln kann. Auf dieser Grundlage kann das Managementsystem interagierend mit Experten ein optimales Handeln erzielen [2]. Mit digitalen Zwillingen können reduzierte Erhaltungsmaßnahmen, verminderte Sperrzeiten und verlängerte Bauwerkszyklen erzielt und damit eine verbesserte Nachhaltigkeit von Straßenverkehrsinfrastrukturen erreicht werden. Ebenfalls ergeben sich Potenziale für Kosteneinsparungen bei der Bauwerksprüfung sowie Status- und Prognoseangaben zum Bauwerk.

Die Thematik digitaler Zwillings ist sehr komplex, da verschiedene Disziplinen und Technologien miteinander vereint werden. Durch die langjährige Beschäftigung mit solchen Themen sowie der Konzeption und dem Betrieb von Reallaboren hat

die BAST wesentliche Grundlagen für den digitalen Zwilling Brücke gelegt. Sie wird sich dem Thema zukünftig noch intensiver widmen. ■

#### Literatur

- [1] BMWI: Reallabore – Innovation ermöglichen und Regulierung weiterentwickeln, 2020, [www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/II/info-reallabore.pdf](http://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/II/info-reallabore.pdf)
- [2] BITKOM: Kognitive Maschinen – Meilenstein in der Wissensarbeit, 2015, [www.bitkom.org/Bitkom/Publikationen/Kognitive-Maschinen-Meilenstein-in-der-Wissensarbeit.html](http://www.bitkom.org/Bitkom/Publikationen/Kognitive-Maschinen-Meilenstein-in-der-Wissensarbeit.html)



Die ungünstige Altersstruktur der Brückenbauwerke sowie der prognostizierte Anstieg von Güterverkehr und disruptiven Ereignissen bedingen Defizite bei der Standsicherheit, Dauerhaftigkeit und Verkehrssicherheit unserer Brücken. Maßnahmen wie die Instandsetzung oder die Verstärkung können die Defizite beseitigen, um die notwendige Zuverlässigkeit und Resilienz der Brücken als wichtiger Teil der Verkehrsinfrastruktur weiterhin zu gewährleisten. Sind diese Maßnahmen unwirtschaftlich oder technisch nicht machbar, verbleibt nur ein Ersatzneubau. Ist eine kapazitive Erhöhung des Verkehrs durch zusätzliche Fahrstreifen erforderlich, ist überwiegend ein Neubau angezeigt. Bestandteil des Neubaus ist dann zunächst ein Teilrückbau (Überbau) oder vollständiger Rückbau (Überbau und Pfeiler) des alten Bauwerks. Wie der Neubau von Brücken ist auch der Rückbau eine individuelle Aufgabe, bei der vielfältige Faktoren zu berücksichtigen sind. Ziel eines Projekts [1] war es, den Auftragsverwaltungen des Bundes eine Erfahrungssammlung als Entscheidungshilfe für die häufige und komplexe Aufgabe „Rückbau von Brücken“ zur Verfügung zu stellen.

## Erfahrungssammlung zum Rückbau von Brücken

Die Auftragsverwaltungen des Bundes haben Rückbaubeispiele zur Verfügung gestellt, aus denen insgesamt 19 Beispiele für die Erarbeitung der Erfahrungssammlung ausgewählt wurden. Berücksichtigt wurde dabei, dass für alle identifizierten Rückbauverfahren mindestens ein Beispiel zugeordnet werden

konnte. Für den Rückbau von Brücken stehen folgende Rückbauverfahren zur Auswahl:

- Sprengen
- Ausschwimmen
- Ausschieben
- Rückbau auf Vorschubrüstung
- Rückbau auf Lehrgerüst
- Ausfahren
- Absenken mit Litzen
- Kontrollierter Einsturz
- Konventioneller Rückbau
- Kranaushub

Weiterhin wurde berücksichtigt, dass die Bauarten der Brücken aus Stahl, Stahlverbund, Beton und Spannbeton ebenso enthalten sind wie Brücken, die mit den Bauverfahren Herstellung auf Lehrgerüst, auf Vorschubrüstung, im Freivorbau und im Taktchieben errichtet wurden. Weiterer Gesichtspunkt

war die unmittelbare Nähe zu weiteren Verkehrswegen – zum Beispiel Bahn, Wasserstraße oder weiterer Bebauung. Daraus ergeben sich beispielsweise Zwangspunkte aus Sperrpausen, die einer langfristigen Vorausplanung bedürfen. Weitere Zwangspunkte können sich aus Fragen der Lärm-, Erschütterungs- oder Staubbelastung der Umgebung ergeben.

## Mustergliederung

Alle Beispiele der Erfahrungssammlung sind nach einer einheitlichen Mustergliederung systematisch aufgebaut. Durch die Hervorhebung von Merkmalen und Anwendungsgrenzen der Rückbauverfahren auf der einen Seite sowie den Vor- und Nachteilen auf der anderen Seite können die Nutzer der Erfahrungssammlung das am besten geeignete

### Bauwerksbeschreibung und Randbedingungen

#### Rückbauverfahren

Rückbauverfahren der Ausschreibung  
Auswahlkriterien  
Durchgeführtes Rückbauverfahren

#### Bestandsuntersuchungen

Bestandsunterlagen  
Nachrechnung  
Materialproben  
Materialverhalten  
Geometrie  
Schadstoffe  
Schäden

#### Statische Berechnung

Anzuwendende Regelwerke  
Abweichungen von Regelwerken  
Sicherheitskonzept  
Nachweisführung

- Zwischenverankerung von (durchtrennten) Spanngliedern
- Schubnachweise

- Temporäre Verstärkung
- Weitere Detailnachweise

#### Leistungsbeschreibung

Bauwerkszustand  
Baugrund  
Kontaminationen  
Angrenzende Bebauung  
Sperrpausen  
Immissionsschutz  
Umweltschutz  
Arbeitssicherheit  
Nebenleistungen  
Besondere Leistungen  
Entsorgungskonzept

#### Vertragliche Grundlagen

Vertragsmodelle  
Planungsleistung des Unternehmers  
Nebenangebote  
Bauzeit

#### Gewonnene Erkenntnisse

Mustergliederung

nete Rückbauverfahren für ihre anstehenden Vorhaben ableiten.

### Bestandsaufnahme

In Abhängigkeit vom gewählten Rückbauverfahren kann die Komplexität der Tragwerksplanung an die für einen Brückenneubau heranreichen. Voraussetzung für die Bewertung der Standsicherheit in den verschiedenen Rückbauzuständen ist die intensive Analyse der Bestandsunterlagen und eine qualifizierte Bestandsaufnahme vor Ort. Gerade wenn aussagekräftige Bestandsunterlagen fehlen, ist diese unverzichtbar für eine zuverlässige Tragwerksplanung. Auch sind Kenntnisse über das Bauverfahren, das Baujahr, die damals gültigen Vorschriften und verwendeten Rechenmethoden sowie die verwendeten Bauprodukte erforderlich – beispielsweise Spannverfahren. Für die Bewertung bestehender Spannbetonbrücken ist zudem das Verständnis über die entwicklungs- und geschichtlichen Besonderheiten und die „Kinderkrankheiten“ des damals jungen Spannbetonbaus erforderlich. Zudem müssen die Zustandsentwicklung des Bestands-tragwerks und durchgeführte Instandsetzungsarbeiten recherchiert und gegebenenfalls in der Planung berücksichtigt werden.

Ziel ist die Bestimmung von Vorschädigungen, Schwächungen oder Tragreserven der Brücken, um einen planmäßig statisch sicheren Tragwerksrückbau in allen Bauzuständen zu gewährleisten. Anders als beim Neubau müssen die Ingenieure hier „rückwärts“ denken, um entsprechende Bauzustände zu entwerfen, die statisch-konstruktiv im Bestand mit den vorhandenen Querschnitten und Tragreserven nachweisbar sind. Erfolgt der Rückbau nach dem gleichen Verfahren wie die Herstellung,

können die erforderlichen statischen Nachweise im Allgemeinen über Vergleiche mit vorhandenen statischen Berechnungen geführt werden. Weichen die Rückbauzustände und die zugehörigen Beanspruchungen von den ursprünglichen Montagezuständen ab, müssen die erforderlichen Standsicherheitsnachweise neu erbracht werden. Dies ist oft schwierig, da zum Beispiel eine erforderliche Bewehrung für diese neuen Tragwerkszustände planmäßig nicht vorhanden ist und dann nachträgliche Verstärkungen erforderlich sind.

Schwierigkeiten können auch aus konstruktiven Schwachstellen resultieren, die nicht mit den heutigen Regeln der Technik übereinstimmen, wie Mindestbewehrungsmengen oder Konstruktionsregeln. Kommen für den Rückbau spezielle Traggerüste zum Einsatz, ist eine enge Abstimmung und Interaktion zwischen den Tragwerksplanern der Brücke und des Traggerüsts erforderlich. Dies umfasst alle Bereiche der Montage der Traggerüste sowie die damit verbundenen hohen lokalen Kranlasten, Windaussteifungen,

Längsfesthaltungen, Hilfsunterstützungen und Gründungen.

Die Arbeiten zur Erstellung der Erfahrungssammlung haben aufgezeigt, dass das Regelwerk für den Brückenbau hinsichtlich der Belange des Rückbaus von Brücken an einigen Stellen ergänzt werden muss. Dazu zählen unter anderem die Teilsicherheitsbeiwerte bei Einwirkungen oder auf der Widerstandsseite relevante Materialkennwerte.

Neben der Klärung des technischen Rückbaus sind weitere Aspekte zu klären: genehmigungsrechtliche Aspekte zum Baurecht, Umweltrecht, Wasserhaushalt, Immissionsschutz und Klimaschutz. Ein Entsorgungs- und Recyclingkonzept für die Abbruchbaustoffe unter Beachtung der Kreislaufwirtschaft und der Nachhaltigkeit ist abzustimmen. ■

### Literatur

- [1] FE 15.0665: Erfahrungssammlung zum Rück- und Ersatzneubau von Brücken, Deutscher Beton- und Bautechnik Verein E.V., 2021



Sprengung der Sinntalbrücke (Bild: Thüringer Sprenggesellschaft mbH)

## 600 Tage unter Wasser – Kunststoffdichtungsbahnen in Straßentunneln

Dr. Ingo Kaundinya, Bauingenieur, Referatsleiter, Wilhelm Decker, technischer Angestellter (bis Januar 2021 in der BAST, nicht im Bild) und Felix Wawrzyniak, Physiklaborant, Referat „Tunnel- und Grundbau, Tunnelbetrieb und Zivile Sicherheit“



In Straßentunneln besteht die Gefahr eindringenden Bergwassers. Um dieser Gefahr vorzubeugen, werden zwischen der Stahlbetoninnen- und -außenschale des Tunnels Kunststoffdichtungsbahnen (KDB) als Dichtungssystem verbaut. Diese KDB sind in der Regel 2 Millimeter dick, bestehen aus PVC-P oder PE und haben eine helle Signalschicht, die sich beim Einbau leicht auf Schäden prüfen lässt.

Für Straßentunnel wird ein Gebrauchszeitraum von 100 Jahren anvisiert. Durch die Lage der KDB – zwischen 2 Stahlbetonschichten – wäre es besonders aufwendig und kostspielig diese auszutauschen. Daher müssen auch die KDB 100

Jahre lang den Tunnel dichthalten. Während dieser Zeit sind die KDB konstant dem Bergwasser ausgesetzt. Dieses kann im Falle von KDB aus PVC-P die im Kunststoff vorhandenen Weichmacher mit der Zeit herauslösen und dadurch den Kunststoff spröde und brüchig machen.

Für den Einbau neuer KDB musste daher eine Methode der Materialprüfung gefunden werden, die es ermöglicht eine Prognose für die Lebensdauer der KDB zu erstellen. Die BAST hat hierfür das sogenannte Immersionsprüfverfahren auf Basis bereits bestehender Regelwerke für den hier geforderten Anwendungsfall weiterentwickelt. Hierbei werden die KDB über einen langen Zeitraum in einem Becken in deionisiertem Wasser gelagert. Dieses Wasser hat eine Temperatur von 80 Grad Celsius und wird in regelmäßigen Abständen vollständig gewechselt.

Ziel dieser Versuche ist es, den Weichmachergehalt in der Kunststoffdichtungsbahn zu verringern und somit eine Alterung der Bahn im Labor zu simulieren. Das deionisierte Wasser entspricht hierbei dem Bergwasser, das in realen Tunneln Temperaturen zwischen 8 und 20 Grad Celsius aufweisen kann. Die erhöhte Temperatur von 80 Grad Celsius dient der Beschleunigung des Auslöseprozesses der Weichmacher. Der regelmäßige Wasserwechsel verhindert eine Sättigung des Wassers mit Weichmachern.

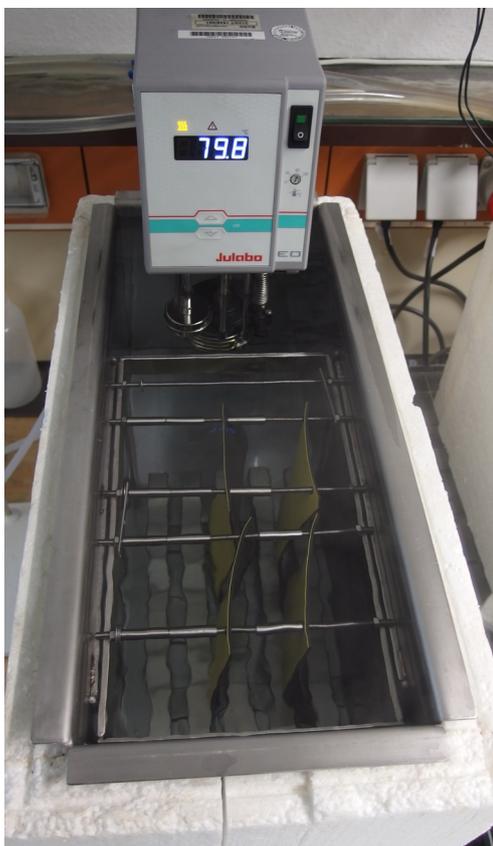
Die Dauer einer Versuchsreihe beträgt mindestens 360 Tage. Die BAST hat zur Ermittlung der langfristigen Auswirkungen der Lagerung Ver-

suchsreihen mit 600 Tagen Dauer durchgeführt.

Vor Beginn der Versuchsreihe werden Zugversuche und die Bestimmung der Trockenmasse an Proben der unbehandelten KDB durchgeführt und so die Ausgangswerte der Materialkenngrößen bestimmt. Während der Versuchsreihe werden in regelmäßigen Abständen Probenplatten aus dem Becken entnommen und zurückgetrocknet. Anschließend werden die Materialkenngrößen mittels eines Zugversuchs sowie der Masseverlust bestimmt.

Die Veränderung der Materialkenngrößen und der Masse über den Lagerungszeitraum geben Anhaltswerte für eine Prognose der Alterung der Kunststoffdichtungsbahnen im Einbauzustand. Es konnten zum Abgleich mit der Realität in-situ Proben von KDB aus 30 Jahre alten Tunneln gewonnen werden.

Die Versuche im Immersionsprüfverfahren legen nahe, dass mit einer Prüfung der KDB – wobei diese für 360 Tage in deionisiertem Wasser bei 80 Grad Celsius gelagert werden – eine gute Prognose für die Beständigkeit über den Gebrauchszeitraum getroffen werden kann. Die Prüfung mit dem Immersionsprüfverfahren wurde in den „Technischen Liefer- und Prüfbedingungen für Kunststoffdichtungsbahnen im Tunnelbau“ als neue Prüfung aufgenommen. ■



Kunststoffdichtungsbahnen im Immersionsbecken

# Geothermie im Tunnel – Schnee- und Eisfreihaltung mit Bergwasser

Tim Hochstein, Ingenieurgeologe und Esther Schreck, Geologin (bis August 2021 in der BAST), Referat „Tunnel- und Grundbau, Tunnelbetrieb und Zivile Sicherheit“



Das in den meisten Tunneln natürlich anfallende Bergwasser wird bisher in der Regel ungenutzt abgeleitet. Durch die Tiefenlage der meisten Tunnel ist die Temperatur des Bergwassers das ganze Jahr über konstant. So liefert der Grenztunnel Füssen an seinem Nordportal eine minimale Drainagewassermenge von 11 Liter pro Sekunde mit einer konstanten Temperatur zwischen 8,3 und 10,5 Grad Celsius. Wird dieses Wasser in Rohren direkt unter der Fahrbahnoberfläche geführt, kann die im Wasser enthaltene Energie ausreichen, die Fahrbahn von Schnee und Eis freizuhalten.

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens zur Bestimmung des geothermischen Potenzials an Tunnelbauwerken wurde festgestellt, dass die Menge und Temperatur des am Nordportal des am Grenztunnel Füssen austretenden Wassers ausreicht, im Sommer die Kühlung der Betriebsgebäude und Serverräume und im Winter die Schnee- und Eisfreihaltung von circa 360 Quadratmetern Betriebsgelände oder Fahrbahnfläche zu übernehmen. Das Besondere dabei ist, dass dies hier mit einem passiven System erreicht werden kann, dass also das Temperaturniveau des Wassers nicht zusätzlich mit einer Wärmepumpe angepasst werden muss.

## Pilotanlage am Grenztunnel Füssen

Im Anschluss an das oben genannte Forschungsvorhaben wurde auf dem Betriebsgelände vor dem Nordportal des Grenztunnels Füssen von der Autobahndirektion Südbayern ein Technikum hergestellt, mit dem

es möglich ist, insgesamt 9 jeweils 3 mal 3 Meter große Freiflächen zu beheizen. Jede der 9 Freiflächen wurde dabei mit einem anderen Fahrbahnaufbau versehen, um so die optimale Tiefenlage und Anordnung der Rohre bestimmen zu können. Das Technikum wurde so konzipiert, dass das Bergwasser direkt, ohne weitere Behandlung oder Zusätze durch das Rohrsystem unter der Fahrbahnoberfläche geleitet wird, sodass auf eventuelle umweltgefährdende Zusätze verzichtet werden kann. Dadurch kann das Wasser nach der Nutzung bedenkenlos in die nächste Vorflut eingeleitet werden. Im Störfall oder bei sehr strengem Frost wird das System mit Druckluft entleert, sodass ein Einfrieren des Wassers in den Rohren verhindert werden kann.

Mit dem im Oktober 2020 gestarteten Forschungsvorhaben zur Erprobung des Technikums, soll die grundsätzliche Anwendbarkeit dieser Eis- und Schneefreihaltung untersucht und der effizienteste Fahr-

bahnaufbau sowie der effizienteste Betriebsmodus der Anlage ermittelt werden.

Die Temperierung von Freiflächen, Betriebsgebäuden und Serverräumen ist aus energetischer Sicht sinnvoll, da dies mit konventionellen Methoden besonders energieintensive Aufgaben sind. Mit der oben beschriebenen Methode wird lediglich Strom für Pumpen und Steuerungstechnik benötigt. Zudem kann mit der Temperierung von Fahrbahnflächen vor Tunneln der Taumittel Einsatz in diesem Bereich verringert werden und somit der Chlorideintrag in den Tunnel reduziert werden. Chlorid ist einer der Hauptfaktoren, das für die Bewehrungskorrosion verantwortlich gemacht wird und somit hauptverantwortlich für Schäden an der Tunnelkonstruktion ist. Mit einer Reduzierung des Chlorideintrags in Tunneln können diese Schäden und somit Instandhaltungskosten minimiert und die Verfügbarkeit des Bauwerkes gesteigert werden. ■



Die geothermische Pilotanlage am Grenztunnel Füssen im Testbetrieb – die beheizten Flächen sind bei leichtem Schneefall deutlich zu erkennen



# Nachhaltiger und klimaresistenter Straßenbau

„Wir denken nachhaltig“ – Nachhaltigkeit im Straßenbau

Messungen auf hochwassergeschädigten  
Autobahnabschnitten

Hitzeschäden an Betonfahrbahndecken

Asphaltoberbau mit HiMA

Doppelumhüllung – vermischt sich frisches Bitumen  
vollständig mit altem?

Asphalt aus der Nähe betrachtet



# „Wir denken nachhaltig“ – Nachhaltigkeit im Straßenbau

Beata Krieger, Bauingenieurin, Referatsleitung, Michael Bürger, Geologe, Tanja Marks, Umweltingenieurin und Michael Sulzbach, Geowissenschaftler, Referat „Nachhaltigkeit, Ressourcenschutz und Erdbaustoffe im Straßenbau“

Das Thema Nachhaltigkeit gewinnt in den letzten Jahren immer weiter an Bedeutung und findet mittlerweile Eingang in fast alle Bereiche des täglichen Lebens wie Ernährung, Kleidung und Reisen.

Der Begriff Nachhaltigkeit geht dabei ursprünglich aus einem Grundprinzip der Forstwirtschaft hervor, welches besagt, dass immer nur so viele Bäume gefällt werden dürfen, wie auch nachwachsen können. Dies sollte den Grundbestand an Bäumen sicherstellen und damit den Wald zukunftssicher schützen. Aus diesem Ansatz entwickelte sich über die Jahre eine gesamtheitliche Betrachtung, die sowohl ökologisches, wirtschaftliches aber auch soziokulturelles Handeln vereint. Ziel ist es dabei immer, eine Versorgung der

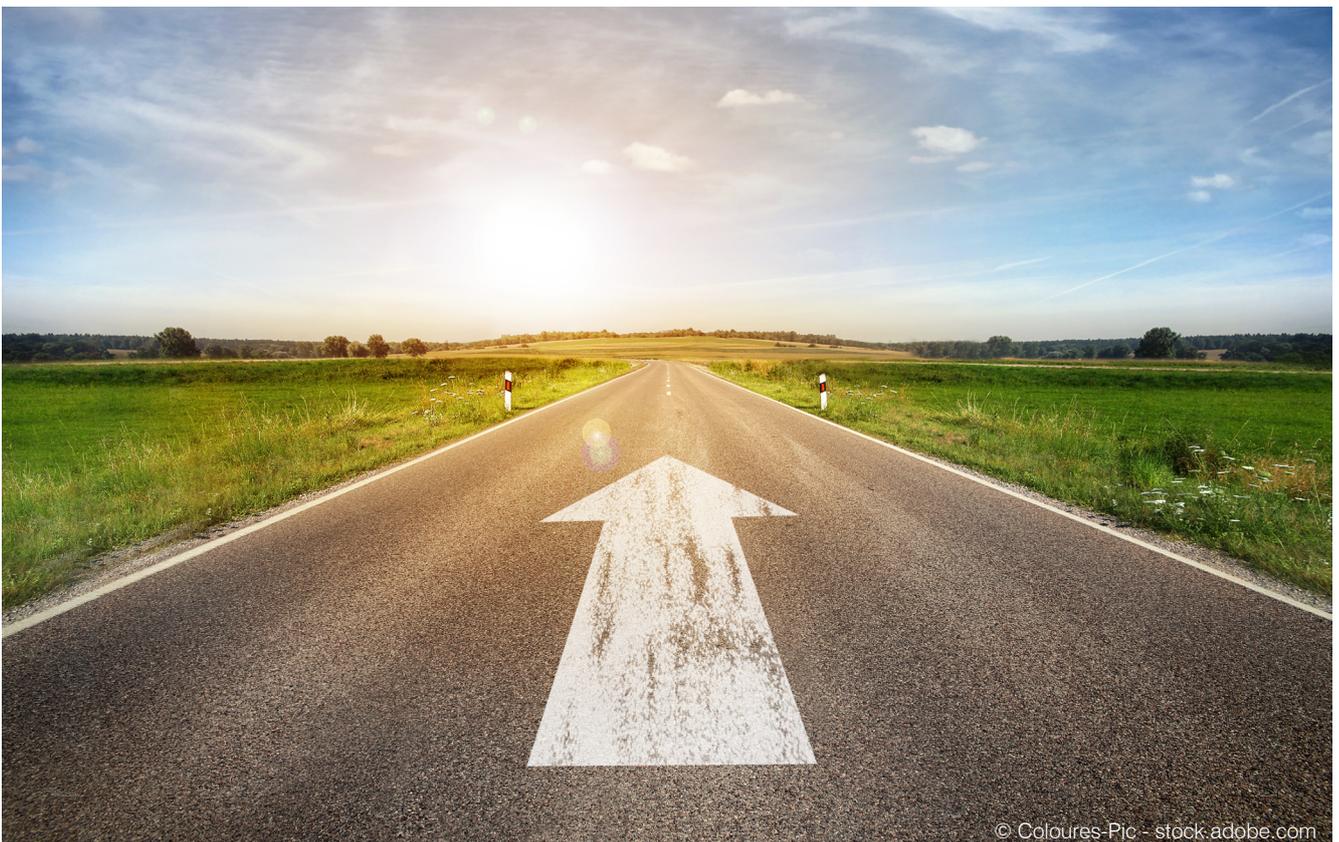
Gesellschaft sicherzustellen, ohne dabei die Möglichkeiten zukünftiger Generationen einzuschränken. Die Umsetzung dieser Ansätze bildet einen zentralen Punkt des politischen und wirtschaftlichen Denkens und wird auch die kommenden Jahre weiter stark prägen.

Auch im Straßenbau hielt die Nachhaltigkeit bereits frühzeitig Einzug und wurde unter anderem im Zuge des Forschungsprogramms „Die Straße im 21. Jahrhundert – Innovativer Straßenbau in Deutschland“ fest etabliert. Nachhaltigkeitsaspekte sollen bis 2030 in allen Bereichen des Straßenbaus Einzug halten – von der Projektplanung über den Bau bis hin zu Abriss und Recycling/Wiederverwendung und damit über den gesamten Lebenszyklus.

Hierbei kommt der BAST als Forschungseinrichtung von Beginn an eine zentrale Rolle zu.

## Themengruppe Nachhaltigkeit

Mitte des Jahres 2020 wurde das Thema Nachhaltigkeit im Bereich Straßenbautechnik der BAST durch die Gründung der Themengruppe Nachhaltigkeit verstärkt in den Fokus gerückt. Die Themengruppe hat dabei die Aufgabe, nachhaltigkeitsbezogene Forschung zu bündeln und auf referatsübergreifender Ebene zu bearbeiten. Dabei bietet die Themengruppe eine Plattform, um einen engen und regelmäßigen Informationsaustausch zu ermöglichen. Das Gesamtkonzept Nachhaltigkeit wurde hierfür in 4 zentrale Handlungsstränge aufgeteilt:





Von links: Michael Bürger, Tanja Marks und Michael Sulzbach

passt werden. Insbesondere die Themenbereiche Energie, Ressourcenschonung und Treibhausgase fanden hier Beachtung und wurden innerhalb der BAST intensiv diskutiert und zielgerichtet bearbeitet.

### Wir denken nachhaltig

Um den Nachhaltigkeitsgedanken weiter zu stärken, ist es Ziel der Themengruppe, den Wissenstransfer innerhalb der BAST auszubauen und mit monatlichen internen und externen Vorträgen dazu beizutragen, nachhaltiges Denken bei den Beschäftigten zu verankern. ■

- Nachhaltigkeitsbewertung
- recyclinggerechtes Bauen
- klimaschutzgerechtes Bauen
- Anpassung der Bauweisen an den Klimawandel

Die BAST hat im Laufe des Jahres 2021 einen umfassenden und auf die 4 Handlungsstränge abgestimmten Forschungskomplex entwickelt. In ihm werden gleichermaßen die Bewertungssystematik über den Lebenszyklus der Straße sowie konkrete Maßnahmen zur Reduzierung der umweltrelevanten Einwirkungen der Produktions- und Bauprozesse angesprochen. Neben der weiteren Steigerung der Wiederverwendungsraten für Baustoffe, der Reduzierung des Energieeinsatzes beim Herstellen von Asphalt und Beton sowie dem Einsatz von regenerativen Energien, werden verstärkt Bemühungen unternommen, die Nutzungsdauern der Schichten im Straßenaufbau zu steigern, um so Bauaktivitäten zu minimieren. Für die Anpassung der Straßeninfrastruktur an den Klimawandel wurden bereits die veränderten Einwirkungen ermittelt, sodass nun veränderte Materialzusammensetzungen und Aufbaukonstruktionen entwickelt werden.

### Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie

Mitte des Jahres 2021 wurde die BAST durch das Bundesverkehrsministerium mit der Konzeption eines Monitoringkonzepts bezüglich der Umsetzung der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie (DNS) für den Straßenbau betraut. Hierbei sollten die für den Straßenbau anwendbaren Sustainable Development Goals (SDGs) der DNS identifiziert und im Hinblick auf den Straßenbau ange-



Schematischer Aufbau der systematischen Einteilung in die verschiedenen Aspekte der Nachhaltigkeit und in die 4 Handlungsstränge der Themengruppe Nachhaltigkeit

# Messungen auf hochwassergeschädigten Autobahnabschnitten

Gudrun Golkowski, Bauingenieurin, stellvertretende Referatsleiterin, Mehdi Kalantari, Bauingenieur, Alfred Meyer, Elektrotechniker, Dr. Dirk Jansen, Bauingenieur, Referatsleiter „Analyse und Entwicklung von Straßenoberbauten“ und Rolf Rabe, Bauingenieur, Referat „Asphaltbauweisen“



Die Schließung von mehr als 40 Kilometer Autobahnen westlich von Köln infolge des Starkregenereignisses Ende Juli 2021 war ein großer Einschnitt in die Verkehrssituation der Region. Für die Verkehrsfreigabe stand auch die Frage im Raum, ob das Hochwasser Schäden an Straßenaufbauten bewirkt hat, die nicht offensichtlich an der Oberfläche erkennbar sind. Eine flächendeckende Sondierung der Streckenabschnitte sollte aufgrund des Streckenumfangs ausgeschlossen werden. Auf Anfrage der Autobahn GmbH und des Bundesverkehrsministeriums, ob zerstörungsfrei arbeitende Verfahren Informationen zum Streckenzustand und zur Entscheidungsfindung bei der Streckenfreigabe einen Beitrag leisten können, bot die BASt die Durchführung von zerstörungsfreien Messungen mit dem 3D-Radar und MESAS an.

## 3D-Radar

Beim Georadar-Verfahren werden Radarwellen von einer Antenne in den Untergrund gesendet, dort teilweise reflektiert und durch die Antenne wieder erfasst. Aus der laufzeitbasierten Interpretation der empfangenen Signale können Schichtdicken abgeleitet und größere Inhomogenitäten erkannt werden. Herkömmliche Georadar-Systeme erfassen pro Messung eine Profillinie. Bei Anwendung des 3D-Radars können mit einer Überfahrt bis zu 25 Profillinien gemessen werden. Aus dieser Dichte von Informationen können flächenhafte und auch dreidimensionale Auswertungen erzeugt werden, welche die Interpretation der Signale vereinfachen.

## MESAS

Das multifunktionale Messsystem MESAS basiert wesentlich auf dem schnellfahrenden Tragfähigkeitsmessgerät Traffic-Speed-Deflectometer (TSD). Mithilfe von Lasersensoren wird die kurzzeitige Verformung der Straßenoberfläche unter Ein-

wirkung der 10 Tonnen-Achse des Sattelauflegers gemessen.

## Georadar- und Tragfähigkeitsmessungen im Zusammenhang mit Wasser

Sowohl Georadarmessungen als auch Tragfähigkeitsmessungen werden in der Regel nicht auf Straßen durchgeführt, bei denen bekannt ist, dass diese im Oberbau oder Untergrund durchnässt oder durchfeuchtet sind.

Beim Georadar werden die von der Antenne ausgesendeten Radarwellen durch Wasser und Feuchte stark gedämpft und reflektiert. Die Sichtbarkeit in die Tiefe wird so deutlich eingeschränkt. Die Auswertungen konzentrierten sich daher auf die Beantwortung der Frage, ob Wasser oder Feuchte im Straßenoberbau zum Zeitpunkt der Messungen unmittelbar nach dem Hochwasser vorhanden ist und ob größere Schäden festgestellt werden können – beispielsweise Ausspülungen.



BASt-Messfahrzeug mit am Heck montierter 3D-Georadarantenne..



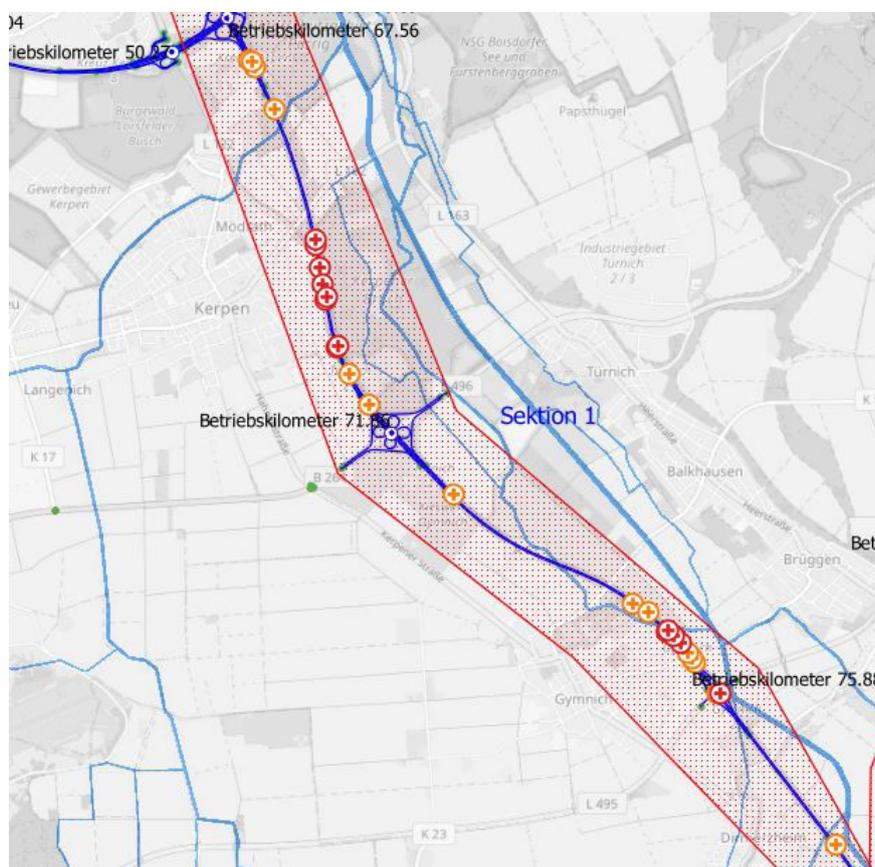
Von links: Mehdi Kalantari, Dr. Dirk Jansen, Gudrun Golkowski, Alfred Meyer und Rolf Rabe

Im Falle von Tragfähigkeitsmessungen können Fehlinterpretationen entstehen, da Wasser in der Straßenbefestigung bei schneller Belastung aufgrund des entstehenden Porenwasserüberdrucks eine höhere Tragfähigkeit suggerieren kann. Gleichfalls kann sich Wasser aber auch sehr tragfähigsmindernd auswirken. Eine quantitative Bewertung ist deshalb nahezu ausgeschlossen. Vorteilhaft im vorliegenden Fall war, dass die BAST seit 2018 eine breite Datenbasis mit Tragfähigkeitsdaten des Autobahnnetzes aufbaut. Somit lagen Vergleichsdaten vor, mit deren Hilfe eine Bewertung der schädlichen Veränderung der Tragfähigkeit in Folge des Hochwassers möglich war.

### Ergebnisse

Anhand der Georadarmessungen wurde eine Vielzahl von Positionen identifiziert, bei denen Feuchte oder Wasser in der Straßenbefestigung zu vermuten war. Gezielte Sondierungen der Autobahn GmbH bestätigten dies. Kritische Schadensbilder wurden nicht gefunden, in vielen Bereichen konnten aber deutliche Änderungen der Tragfähigkeit festgestellt werden. Auch hierbei

sind keine kritischen Positionen aufgefallen. Beide angewendeten Verfahren haben sich als hilfreich bei der Beurteilung von Hochwasserschäden unter den gegebenen



Ausschnitt der Messtrecke (im Hochwassergebiet) mit in der Auswertung identifizierten Positionen bei denen Feuchte oder Wasser in der Straßenbefestigung vermutet wird

Voraussetzungen bewiesen. Die Ergebnisse wurden GIS-kompatibel bereitgestellt, sodass eine Beobachtung durch die Streckenkontrollen der Autobahnmeistereien erfolgen kann.

### Ausblick

Die Bewertungen der BAST haben einen bedeutenden Anteil an der Wiedereröffnung des Großteils der betroffenen Autobahnen im September 2021 gehabt. Inwieweit die verbleibenden Feuchtigkeitsgehalte langfristige Auswirkungen haben, kann und wird mittels eines Monitorings mit denselben Methoden mindestens über die Winterperiode 2021/2022 erfolgen. ■

# Hitzeschäden an Betonfahrbahndecken

Christoph Becker, Bauingenieur und Alexandra Spilker, Bauingenieurin, Referat „Betonbauweisen“



Hitzeschäden an Betonfahrbahndecken entstehen bei lokalem Erreichen der maximal aufnehmbaren Spannung. Diese ist primär auf einen Temperaturanstieg im Bauteil infolge intensiver Sonneneinstrahlung zurückzuführen. Grundvoraussetzung ist eine Behinderung der Längsausdehnung im Deckensystem.

Der Versagensmechanismus von Hitzeschäden ist komplex, da in der Regel eine Kombination ungünstiger Zustände und Randbedingungen zum Versagen führt. Aus heutiger Sicht spielen neben dem Klima und der konstruktiven Ausbildung auch herstellungs-, erhaltungs- und alterungsbedingte Imperfektionen und lokale Schädigungen im Betonfahrbahndeckensystem eine Rolle. Diese sind häufig nicht an der Fahrbahnoberfläche erkennbar.

Im Oberflächenbild stellen sich Hitzeschäden als Riss, Abplatzung, vertikale Plattenauslenkung, Übereinanderschieben von Platten oder Plattenteilen oder – in sehr seltenen Fällen – als Ausknicken von Platten oder Plattenteilen, dem „Blow-up“, dar. Die Schadensbilder können einzeln und auch in Kombination auftreten.

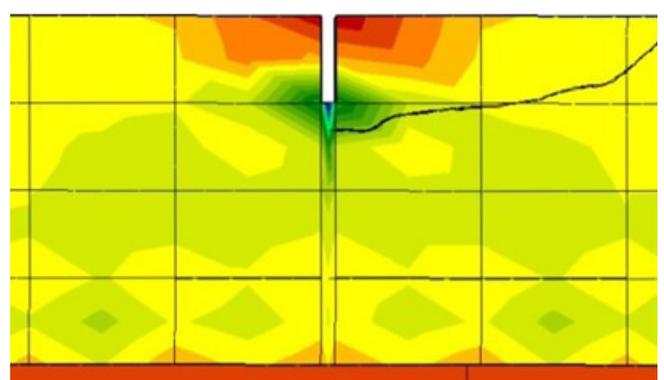
Das Phänomen von Hitzeschäden ist im Betonstraßenbau seit Jahrzehnten auf nationaler sowie internationaler Ebene bekannt. Die Häufigkeit derartiger Schäden hatte in Deutschland in der Vergangenheit im Allgemeinen einen stark singulären Charakter. 2013 kam es jedoch zu vermehrten Hitzeschäden – insbesondere im Bundesland Bayern. Aus diesem Grund wurde durch die bayerische Straßenbauverwaltung unter Mitwirkung der BAST ein Expertenteam gebildet, das umfangreiche Analysen zu den Schadensereignissen durchgeführt hat. Erste Ergebnisse und Maßnahmeempfehlungen lagen im Frühjahr 2014 vor. Auf dieser Basis wurde die BAST vom Bundesverkehrsministerium beauftragt, eine Expertengruppe zu gründen. Ihr Auftrag war unter anderem die systematische, wissenschaftliche und ingenieurtechnische Begleitung des Drei-Punkte-Aktionsplans gegen Hitze-„Blow-Ups“: verschärfte Kontrollen – schnelle Beseitigung von Schäden – vorbeugende Maßnahmen. Ferner sollte die Expertengruppe von Beginn an als Informationsplattform auf Bundesebene dienen.

## Forschungsarbeiten und Untersuchungen

Im Rahmen der wissenschaftlichen Betreuung des Aktionsplans wurden Forschungsarbeiten initiiert sowie umfassende Untersuchungen an Bundesautobahnen (BAB) vorgenommen. Primäre Zielstellungen waren detaillierte Analysen des Schädigungsmechanismus, die Bewertung der strukturellen Substanz der Fahrbahndecken und darauf aufbauend, die Identifizierung gefährdeter BAB-Abschnitte. Im Ergebnis sollte die Auftretenswahrscheinlichkeit von Hitzeschäden minimiert sowie die Prognosefähigkeit verbessert werden.

Im Rahmen eines Forschungsprojekts [1] wurde ein umfassendes Informationssystem zur Ermittlung und Prognose von Spannungszuständen in Betonfahrbahndecken entwickelt, in dem folgende Schwerpunkte erfolgreich bearbeitet sowie Lösungen entwickelt und erprobt werden konnten:

- Konzeption und Aufbau eines Messstellennetzes zur kontinuierlichen Messung der Temperaturverläufe (inklusive Messung der Fugenbewegungen) innerhalb



Typischer Hitzeschaden (links); exemplarische Darstellung eines zu erwartenden Rissbildes auf Basis von Berechnungen mittels FEM-Volumenmodell (rechts) [1]



Verschiedenartig ausgeführte Entspannungsbereiche (links in Asphalt und rechts als Fertigteil)

der Fahrbahnplatten sowie zusätzliche Messung relevanter Klimawerte an ausgewählten Messstellen.

- Erstellung, softwaretechnische Implementierung und systematische Testung eines Berechnungsmodells zur Beschreibung des Zusammenhangs zwischen Klimawerten sowie Temperatur- und Spannungszuständen in der Fahrbahn.
- Erstellung eines Finite-Elemente-Volumenmodells zur Berechnung temperaturinduzierter, kritischer Spannungen in den Fahrbahnplatten (inklusive Ermittlung der Nullspannungstemperatur für verschiedene Fahrbahnabschnitte).
- Konzeption einer Datenbanklösung zur Speicherung und Verarbeitung der kontinuierlich erhobenen Daten.

Mithilfe des entwickelten Informationssystems sowie der inkludierten Messkonzepte und Berechnungsmodelle wurden kritische Klimasituationen identifiziert. Mit dieser Prognose kritischer thermischer Fahrbahnzustände ist es möglich, zusätzliche Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit – beispielsweise temporäre Tempolimits, zusätzliche Kontrollfahrten – zielgenauer einzusetzen und auf das notwendige Mindestmaß zu beschränken.

Mittlerweile liegt für ausgewählte BAB-Abschnitte ein nach ein-

heitlicher Systematik installiertes Messtellennetz vor, das Teil eines kontinuierlichen Monitoringsystems von Netzteilen der gesamten Autobahninfrastruktur sein kann und auch als empirische Basis für weiterführende wissenschaftliche Auswertungen einen bedeutenden Mehrwert besitzt.

### Ergebnisse

Das in 2013 vermehrte Auftreten von Hitzeschäden stand im Kontext mit wiederholten Hitzeperioden sowie geschwächten Betonfahrbahndecken. Die konstruktive Schwächung ist hierbei auf teilweise überalterte, nicht auf die heutigen Verkehrsbelastungen ausgerichtete Netzteile, teilweise aber auch auf vorhandene Vorschädigungen zurückzuführen – zum Beispiel durch eine schädigende Alkali-Kieselsäure-Reaktion. In Zusammenarbeit mit den Auftragsverwaltungen wurden gefährdete Abschnitte in ausgewählten Teilnetzen identifiziert und hinsichtlich ihrer strukturellen Substanz bewertet. Auf dieser Basis wurden zeitnah bauliche Maßnahmen zur Spannungsreduktion im Deckensystem durchgeführt und/oder grundlegende Erneuerungen angestoßen.

Die BASt hat den Verkehrslastträgern auf der Basis der Forschungsergebnisse und der gemachten Erfahrungen einen Leitfaden zum Umgang mit Hitzeschäden zur Verfügung gestellt. Sie

hat in den zurückliegenden Jahren die Entwicklung der Hitzeschäden über ein bundesweit einheitliches Meldewesen beobachtet und auf eingehende Meldungen reagiert. Die Entwicklung bestätigt, dass das entwickelte und umgesetzte Maßnahmenpaket gegriffen hat und sowohl die Auftretenswahrscheinlichkeit von Hitzeschäden als auch die daraus resultierende mögliche Gefährdung für die Verkehrsteilnehmer bei einem Hitzeschaden verringert werden konnten.

In 2021 hat die Autobahn GmbH des Bundes (AdB) ihre operativen Geschäftstätigkeiten aufgenommen. Damit verbunden sind Veränderungen hinsichtlich der Zuständigkeiten – beispielsweise der Betrieb des Messtellennetzes. Die Expertengruppe wurde aufgelöst und die Aufgabe der zentralen Dokumentation sowie die des Monitorings von der BASt an die AdB übergeben. ■

### Literatur

- [1] VILLARET, S., FREUDENSTEIN, S., FROHBÖSE, B., EGER, M., PICHOTTKA, S., RIWE, A., VILLARET, K.: Ermittlung und Prognose von Spannungszuständen in Betonfahrbahndecken, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft S 148, 2021



Sezgin Köse, Bauingenieur, Referat „Asphaltbauweisen“

Der Großteil unserer Straßen besteht aus Asphalt. Als Baustoff im Straßenbau ist es ein hervorragendes Material und bietet viele Vorteile. So ist Asphalt unter anderem ein nachhaltiger Baustoff, der wiederverwendet werden kann und kurze Bauzeiten ermöglicht. Durch steigendes Verkehrsaufkommen und extreme Wetterereignisse werden Asphaltstraßen zunehmend erhöhten Belastungen ausgesetzt.

Asphalt wird im Wesentlichen aus Gesteinskörnungen und Bitumen als Bindemittel hergestellt. Durch die Variation in der Asphaltmischgutzusammensetzung und die Wahl der Gesteinsarten sowie der Bitumensorten können unterschiedliche Asphalteeigenschaften erzielt werden. Dabei nimmt das Bitumen im Hinblick auf die Dauerhaftigkeit einer Asphaltstraße eine bedeutende Rolle ein. Die zur Herstellung von Asphaltmischgut vorgesehenen Bitumensorten werden nach Anforderungen in den Technischen Lieferbedingungen Bitumen-StB geregelt. Bitumen weist ein thermoviskoses Verhalten auf, das heißt, es wird bei höheren Tem-

peraturen „weich“, während es bei niedrigeren Temperaturen sehr „hart“ wird. Somit besteht bei warmen Temperaturen die Gefahr der Spurrinnenbildung, und bei Kälte können unter Verkehrsbelastung Risse in der Fahrbahndecke entstehen.

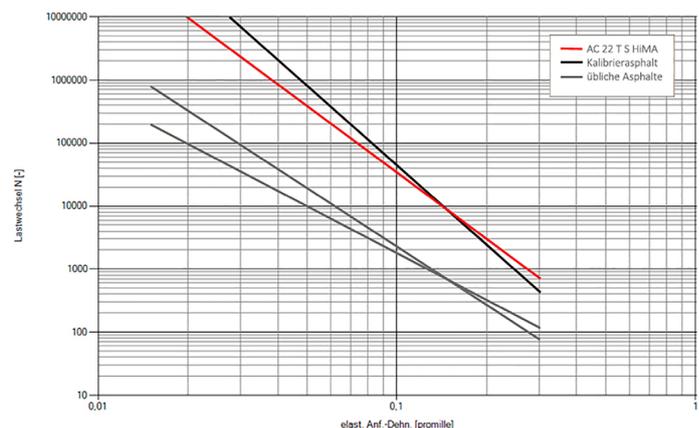
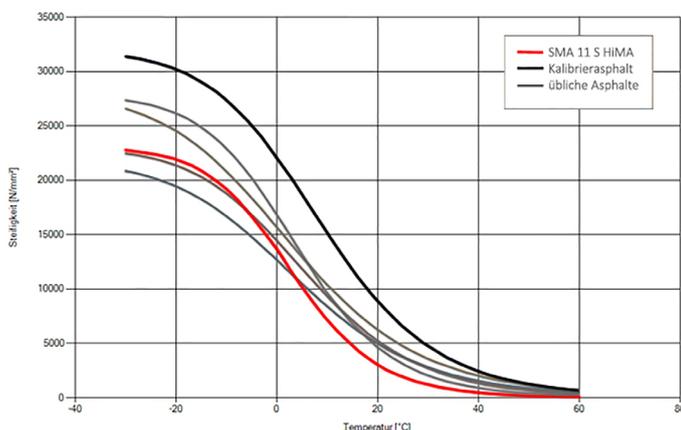
Die Herausforderung bei der Entwicklung eines guten Bindemittels besteht darin, dass das Bindemittel einen möglichst großen Plastizitätsbereich abhängig von der Klimazone der geplanten Asphaltstraße aufweist und somit insgesamt eine ausreichende Dauerhaftigkeit sicherstellt. Um den Plastizitätsbereich von Bitumen zu erweitern, kann das Bitumen beispielsweise mit Polymeren modifiziert werden. Diese polymermodifizierten Bitumen (PmB) besitzen verbesserte Eigenschaften im Hinblick auf Kälteflexibilität und Wärmestandfestigkeit. Ihre Verwendung ist im Asphaltstraßenbau seit Jahrzehnten Stand der Technik und ihr Einsatz wurde stetig ausgeweitet. Dennoch erreichen herkömmlich konzipierte Asphaltmischungen nicht immer die vorgesehene Nutzungsdauer, sondern zeigen frühzeitig

Schäden in Form von Rissen, Verformungen und Substanzverlust.

## Ziel

Das Konzept „Asphaltoberbau mit HiMA“ (Highly Modified Asphalt) hat zum Ziel, durch die Verwendung eines speziell hochpolymermodifizierten Bitumens einen dauerhaften Asphaltoberbau zu erhalten. Die Zugabemengen von Polymeren zur Modifikation von Bitumen sind im Hinblick auf die Verdichtbarkeit bei der Herstellung von Asphaltmischgut limitiert, sodass für den Einsatz von HiMA spezielle neuartige Polymere genutzt oder viskositätsverändernde Zusätze verwendet werden müssen. Da bisherige Erfahrungen mit Zusätzen häufig zu unvorteilhaften Kälteeigenschaften führten, konzentriert sich die weitere Forschung auf den Einsatz von HiMA.

Ziel eines Projektes war die Beurteilung von HiMA-Material im Hinblick auf seine Dauerhaftigkeit anhand von labortechnischen Untersuchungen sowie den Bau und die zeitraffende Belastung eines Straßenaufbaus – dessen Deckschicht



Vergleich des HiMA-Materials mit den herkömmlichen Asphaltmischungen, links: Steifigkeits-Temperaturfunktionen (Deckschicht), rechts: Ermüdungsfunktionen (Tragschicht)

aus HiMA besteht – auf dem Demonstrations-, Untersuchungs- und Referenzareal der BASt (duraBASt).

### Laboruntersuchungen

Die Laboruntersuchungen an dem unter Verwendung eines hochpolymer modifizierten Bitumens hergestellten Asphalt konzentrierten sich auf die Ermittlung der Steifigkeit, der Ermüdungs- und Kälteeigenschaften und des Verformungsverhaltens. Hierzu wurden Probekörper hergestellt und anschließend zunächst im Spaltzug-Schwellversuch geprüft. Die Ergebnisse wurden in Form der Steifigkeits-Temperatur- und Ermüdungsfunktion aufgetragen und mit denen herkömmlicher Asphaltmischungen verglichen. Es zeigt sich, dass das HiMA-Material über alle Temperaturen hinweg Steifigkeiten aufweist, die im Bereich der üblicherweise angewendeten Asphalte liegen. Außerdem verfügt es über eine Ermüdungsfunktion, die gegenüber dem Verhalten von unmodifizierten Asphalttragschichtmaterial auf eine erhöhte Dauerhaftigkeit auf dem Niveau des als sehr anspruchsvoll angesehenen Kalibrierasphalts bei gleicher Beanspruchung schließen lässt.

In ähnlicher Weise zeigen sich die Ergebnisse der durchgeführten Druck-Schwellversuche zur Ermittlung des Verformungsverhaltens und der Versuche zum Kälteverhalten anhand von Abkühlversuchen. Die ermittelte Bruchtemperatur des HiMA beträgt -34 Grad Celsius und liegt damit rund 8 Kelvin unterhalb des Erfahrungswerts eines konventionellen Splittmastixasphalts von bis zu -26 Grad Celsius. Dies lässt ein im Vergleich sehr gutes Kälteverhalten des HiMA erwarten.

Die positiven Eindrücke aufgrund der Laborergebnisse bestätigen sich



Einbau der HiMA-Deckschicht auf dem duraBASt

in der Abschätzung der Dauerhaftigkeit für einen Straßenaufbau, dessen Schichten durchweg mit hochpolymermodifizierten Bitumen hergestellt werden. Eine hierzu durchgeführte rechnerische Dimensionierung auf der Grundlage der „Richtlinie für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht“ (RDO Asphalt) 09/21 erbrachte das Ergebnis, dass der HiMA-Aufbau gegenüber herkömmlichen Befestigungen eine um circa 5,5 Jahre längere Nutzungsdauer verspricht.

### Einbau einer Deckschicht aus HiMA

Auf der Grundlage der Ergebnisse aus den Laborversuchen wurde ein Mischgut aus lokal verfügbaren Gesteinskörnungen und aus einem speziell an das für die Laborversuche eingesetzte Bitumen angepasste hochpolymermodifizierten Bitumen hergestellt. Der Einbau des Asphaltmischguts für eine Deckschicht auf dem duraBASt sollte zeigen, ob das durch die hohe Modifizierung sehr zähe Material besondere Anforderungen an die Verarbeitbarkeit und die Verdichtung stellt. Tatsächlich ergaben sich hierfür im weiteren Verlauf vereinzelt Anhaltspunkte, die aber le-

diglich veränderte Vorgaben für den Einbauprozess erwarten lassen.

Im nächsten Schritt wurde die eingebaute Schicht mithilfe des MLS30 einer zeitraffenden Belastung ausgesetzt. Die erhöhten Anforderungen an die Verdichtungsleistung resultierten nicht zu sichtbaren Nachverdichtungen, sodass insgesamt die Einschätzung besteht, dass die Anwendung des neuartigen HiMA-Materials im Straßennetz zielführend sein wird. Eine erste Erprobung ist in Kürze geplant.

Maßgeblich zum Erfolg des Projekts beigetragen hat die Verfügbarkeit eines Versuchsgeländes wie das duraBASt, vor allem aber auch, dass bei der Durchführung des Projekts eine Vielzahl von Partnern aus dem Straßenbau (Polymer-, Bitumen-, Gesteinskörnung-, Asphaltmischguthersteller und Einbaufirma) in hervorragender Weise zusammen für den Fortschritt der Asphaltbeläge gearbeitet hat. Alle Beteiligten zeigten großes Engagement bei der Umsetzung der Innovation und trugen dazu bei, die Grenzen der Asphaltbauweise aufzuweiten und Asphaltbeläge auf die Herausforderungen der Zukunft auszulegen. ■

# Doppelumhüllung – vermischt sich frisches Bitumen vollständig mit altem?

Dr. Tobias Paffrath, Bauingenieur, Referat „Asphaltbauweisen“



Neue Asphaltstraßen werden aus Asphaltmischgut hergestellt. Asphaltmischgut besteht im Wesentlichen aus Gesteinskörnung und Bitumen und wird unter hohen Temperaturen im Mischwerk produziert. Es gehört zum Stand der Technik, dass dabei nicht nur frische Komponenten, sondern anteilig auch aufbereitetes Fräsgut von alten Straßen – Asphaltgranulat – zum Einsatz kommt. Die frischen und alten Komponenten vermischen sich beim Herstellungsprozess miteinander. Die Menge des maximal zuzugebenden Asphaltgranulats hängt dabei auch vom Härtegrad des resultierenden Bitumens ab. Da das im Asphaltgranulat befindliche alte Bindemittel in der Regel sehr hart ist und die Menge des zuzugebenden frischen Bitumens und des Gesamtbindemittels asphalttechnisch limitiert ist, kann dies die Zugabemenge des Asphaltgranulats stark beschränken – obwohl die Verwendung von Asphaltgranulat grundsätzlich ökologisch und ökonomisch sinnvoll ist.

Abhilfe sollen hier sogenannte Rejuvenatoren (Verjüngungsmittel) schaffen, die die Bindemittleigenschaften des Asphaltgranulats positiv beeinflussen und eine Herabsenkung des Härtegrades bewirken sollen. Die Langzeitwirkung dieser Produkte ist bislang nicht abschließend belegt. Eine mögliche Alternative ist die Verwendung von besonders weichen, frischen Bitumen im Mischprozess – 2 Sorten weicher als das resultierende Bindemittel. Laut gültigem Regelwerk ist dies aktuell nicht zulässig. Deshalb soll in einem BAST-Projekt überprüft werden, ob die Zugabe von besonders weichen Bitumen die Eigenschaften des Asphalts positiv oder negativ beeinflusst.

## Effekt der Doppelumhüllung

An dieser Stelle wird der nicht auszuschließende Effekt der Doppelumhüllung relevant: Das im Asphaltgranulat vorhandene alte, harte Bitumen vermischt sich während des Mischprozesses möglicherweise nicht vollständig mit dem zu-

gegebenen frischen Bitumen. Es könnte sich eine Doppelumhüllung der Gesteinskörnung einstellen, gebildet durch den alten, harten Bitumenfilm und den neuen, frischen Bitumenfilm als zweite Schicht. Zum jetzigen Zeitpunkt ist nicht klar, ob und wenn ja, in welchem Maß der Effekt der Doppelumhüllung eintritt und ob ein noch weicherer Zugabe-bitumen die Eigenschaften und die damit verbundene Nutzungsdauer der Straße beeinflusst.

## Untersuchungsprogramm

Die BAST hat für das derzeit noch laufende Projekt 3 Untersuchungsstrecken in Nord- und Südbayern mit Bohrkernen aus der Straßenbefestigung beprobt. Jede dieser Strecken weist jeweils einen Referenzabschnitt mit einem regelwerk-konformen Zugabe-bitumen (50/70) und einen Forschungsabschnitt mit einem besonders weichen Zugabe-bitumen (160/220) auf. Die Menge des Asphaltgranulats ist in beiden Abschnitten mit 70 Massenprozent identisch. Auch entsprach das resultierende Bindemittel beider Abschnitte einem Straßenbaubitumen der Sorte 30/45. Bei einer vollständigen Durchmischung des Zugabe-bitumens mit dem Bindemittel des Asphaltgranulats – also keiner Doppelumhüllung – wären also annähernd gleiche Gebrauchseigenschaften der Asphalte zu erwarten.

Mithilfe von Laborprüfverfahren sollen die Bohrkern auf ihre Steifigkeit, ihr Ermüdungsverhalten und den Schichtenverbund geprüft werden. Sollten hier bestimmte Charakteristika festgestellt werden, könnte dies ein Indiz für den Ef-



Links: partiell doppelumhüllte Gesteinskörnung, rechts: frische Gesteinskörnung, partiell umhüllt

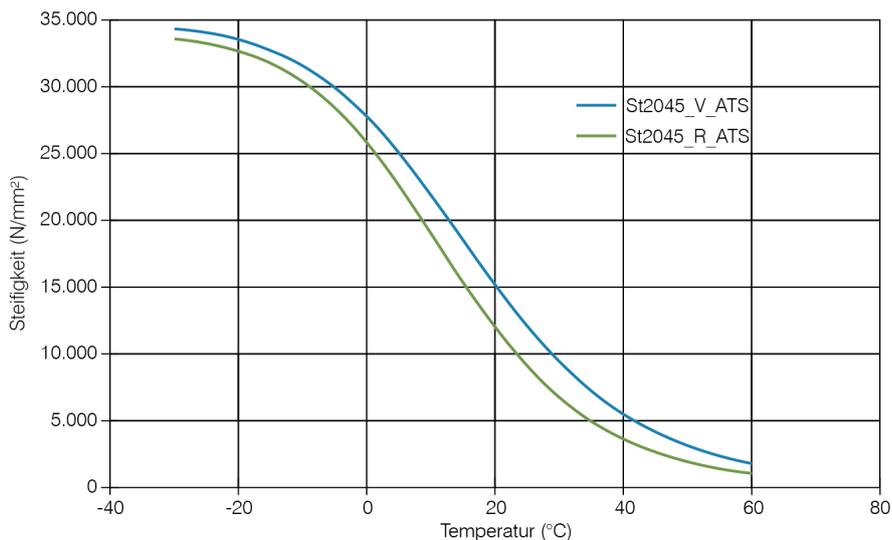
fekt der Doppelumhüllung sein. In Zusammenarbeit mit dem Referat "Chemische Grundlagen, Umweltschutz" sind weitere Analysemethoden zum Einsatz gekommen, siehe Beitrag auf Seite 36.

### Erste Ergebnisse

Die Staatsstraße 2024 verbindet im Bereich des Untersuchungsabschnitts die Ortschaften Pöttmes und Grimolzhausen und wurde durch die BAST mit Unterstützung des Staatlichen Bauamts Augsburg (Straßenmeisterei Gersthofen) beprobt. Dafür wurden je Abschnitt (Referenz- und Versuchsabschnitt) jeweils 18 Bohrkern entnommen. Diese wurden in der BAST hinsichtlich ihrer Schichtenfolge und der Schichtdicken erfasst, anschließend wurden die Asphalttragschicht abgetrennt, die Stirnseiten geschliffen und die jeweiligen Raumdichten der Bohrkernscheiben bestimmt.

Die Steifigkeiten der Bohrkernscheiben beider Abschnitte wurden mithilfe des Spaltzug-Schwellversuchs (TP Asphalt-StB, Teil 26) ermittelt. Die Steifigkeiten des Versuchsabschnitts liegen über den gesamten Temperaturbereich über den Werten des Referenzabschnitts, obwohl die Raumdichten der Referenzstrecke (2,520 Gramm pro Kubikzentimeter) deutlich über jenen der Versuchsstrecke (2,451 Gramm pro Kubikzentimeter) liegen. Unter der theoretischen Annahme sonst identischer Proben, die sich einzig durch ihr Zugabindemittel unterscheiden, würde dieses Teilergebnis kein Indiz für eine Doppelumhüllung liefern, da bei der Versuchsstrecke mit weichem Zugabindemittel eine geringere Steifigkeit zu erwarten gewesen wäre.

Die Bestimmung des Widerstandes gegen Ermüdung wurde ebenfalls



Steifigkeitstemperaturfunktion  
(Referenz „50/70“ = grün, Versuchsstrecke „160/220“ = blau)

mit dem Spaltzug-Schwellversuch, jedoch als zerstörender Versuch bis zum Bruch der Bohrkernscheiben gemäß TP Asphalt-StB, Teil 24 durchgeführt. Hier zeigte sich, dass die Ermüdungsfunktion der Versuchsstrecke mit einem Zugabindemittel der Sorte 160/220 über den gesamten Dehnungsbereich über jener Funktion der Referenz mit einem Zugabindemittel der Sorte 50/70 liegt. Bei gleicher Dehnung ist ein Asphalt mit einer „höherliegenden“ Ermüdungsfunktion ermüdungsresistenter. Erneut unter der theoretischen Annahme sonst identischer Proben, die sich einzig durch ihr Zugabindemittel unterscheiden, würde dieses Teilergebnis ein Indiz für eine mögliche Doppelumhüllung bedeuten, da der weiche, umhüllende Bindemittelfilm eines Bindemittels der Sorte 160/220 das hier untersuchte Ermüdungsverhalten positiv beeinflussen dürfte.

Die bisherigen Untersuchungen zeigen, dass die singuläre Betrachtung von Versuchsergebnissen von nur einer Untersuchungsstrecke nicht dazu geeignet ist, die Fragestellung aus asphalttechnologischer Sicht bereits zum jetzigen Zeitpunkt zu beantworten. Die sich

aus den bisherigen Untersuchungen vermeintlich widersprechenden Teilergebnisse können erst in der Gesamtschau aller Versuchsergebnisse im Hinblick auf den Effekt der Doppelumhüllung umfassend bewertet werden. Die noch andauernden Laborversuche der weiteren Untersuchungsstrecken sowie die Zuhilfenahme interdisziplinärer Analysemethoden, werden es jedoch ermöglichen, die zu klärende Fragestellung fundiert zu beantworten.

### Ziel

Mithilfe dieses Projektes werden voraussichtlich 3 aktuelle Fragestellungen beantwortet werden können:

- Existiert der Effekt der Doppelumhüllung und falls ja, wirkt er sich positiv oder negativ auf die Gebrauchseigenschaften des Asphalts aus?
- Können besonders weiche Bindemittel eine Alternative für die Verwendung von Rejuvenatoren sein?
- Können die Zugabemengen von Asphaltgranulat durch weichere Zugabindemittel weiter erhöht werden? ■

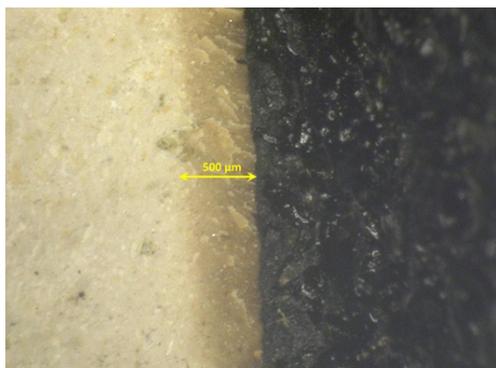


Dr. Volker Hirsch, Chemiker, Referatsleiter "Chemische Grundlagen, Umweltschutz"

Bei der Wiederverwendung von Ausbauasphalt werden niedrigviskose Bitumen zugegeben, um die rheologischen Eigenschaften einer frisch hergestellten Asphaltmischung zu erzielen. Es wird vorausgesetzt, dass sich während des Mischprozesses eine homogene Verteilung zwischen der am Gestein anhaftenden gealterten Mastixschicht und dem frisch zugegebenen Bitumen einstellt.

Das Ziel unserer Untersuchungen ist die Entwicklung von Methoden, die für den Nachweis der wechselseitigen Durchdringung der gealterten Mastixschicht und dem zugegebenen Frischbindemittel geeignet sind.

Für die Laboruntersuchungen wurden Mischgutproben (AC 32 TS) mit einem Asphaltgranulat-Anteil von 70 Massenprozent verwendet. Das Asphaltgranulat enthielt Bitumen der Sorte 30/45 (hochviskos) und wurde mit Bitumen der Sorten 50/70 und 160/220 (niedrigviskos) behandelt. Mischgutproben, die ohne Verwendung von Asphaltgranulat frisch hergestellt wurden, dienten als Referenzmaterial.



Phasengrenze zwischen Mastix und Gestein

Die Untersuchungen wurden an einzelnen Asphaltkörnern aus dem Mischgut und mit „synthetischen“ Proben unter Anwendung von 3 verschiedenen Methoden durchgeführt.

- Auflicht-Mikroskopie der Bruchflächen eines frisch gespaltenen Asphaltkorns.
- Wiederholtes Anlösen des am Gesteinskorn anhaftenden Mastix mit Cyclohexan – visuelle Beurteilung der Veränderung des Asphaltkorns und chemische Analyse der erhaltenen Lösungen.
- Orientierende Untersuchung von „synthetischen“ Proben mithilfe der Mikro-Röntgenfluoreszenzanalyse ( $\mu$ -RFA).

## Auflichtmikroskopie

Die mikroskopische Analyse von frisch gespaltenen Asphaltkörnern zeigt eine extrem unterschiedliche Beschaffenheit der Bruchflächen und der Mastixschichten. Die Unterschiede betreffen nicht nur Größe, Kornform und Mineralogie, sondern auch Schichtdicke der Mastixhülle und den Benetzungsgrad. Die Schichtdicken an einem einzelnen Korn können zwischen 0 bis circa 2.000 Mikrometer variieren.

In Gesteinsspalten und Vertiefungen befinden sich oftmals Anreicherungen an gealtertem Mastix, die sich durch ein stumpfes Aussehen abheben. Generell ist gealterter Mastix

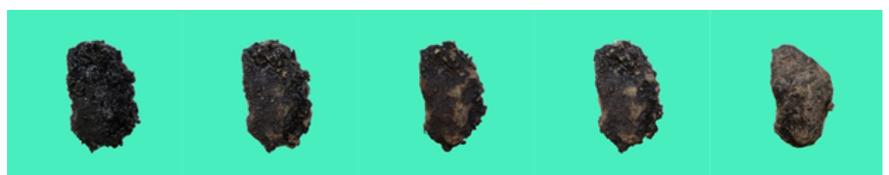
und Frischbitumen visuell nur in Ausnahmefällen zu unterscheiden.

Das Bild links unten zeigt eine Probe aus frisch hergestelltem Asphalt mit einer ausgeprägten Phasengrenze zwischen Bitumen und Gestein. Sehr deutlich ist eine „Speckzone“ an der Randschicht des Gesteinskorns erkennbar. Offensichtlich sind ölige Bitumenkomponenten – Maltenanteile – tief in das Gestein eingedrungen und wurden absorbiert. Das Bitumen wirkt hingegen an der Phasengrenze „stumpf“ und gealtert. Diese Veränderung ist sehr wahrscheinlich nicht auf Alterung, sondern auf den Verlust an Maltenen zurückzuführen.

## Wiederholtes Anlösen

In Anlehnung an ein von Delfosse et. al [1] beschriebenes Verfahren wird ein Asphaltkorn mehrmals mit einem Lösemittel angelöst – Batch-Methode. Die Veränderung des Asphaltkorns wird nach jedem Löseschritt fotografisch dokumentiert und die Lösemittelfractionen mithilfe der FT-Infrarotanalyse untersucht. Das Bild unten zeigt ein Gesteinskorn aus einer Asphaltmischung, die unter Verwendung von Ausbauasphalt hergestellt wurde. Am Ende des Löseexperiments sind noch deutliche Mastix-Reste an der Gesteinsoberfläche zu erkennen.

Bei Asphaltkörnern aus frisch hergestelltem Asphalt verbleibt hingegen



„Doppelumhülltes“ Asphaltkorn

meist kein oder nur wenig Mastix an den Gesteinsoberflächen. Die Löslichkeit wird allerdings nicht nur vom Alterungszustand und der Sorte des Bitumens bestimmt. Neben Größe und Form des Gesteinskorns mit seinen möglichen Vertiefungen und Rissen sind insbesondere die Schichtdicke und die Vollständigkeit der Umhüllung weitere wichtige Einflussfaktoren.

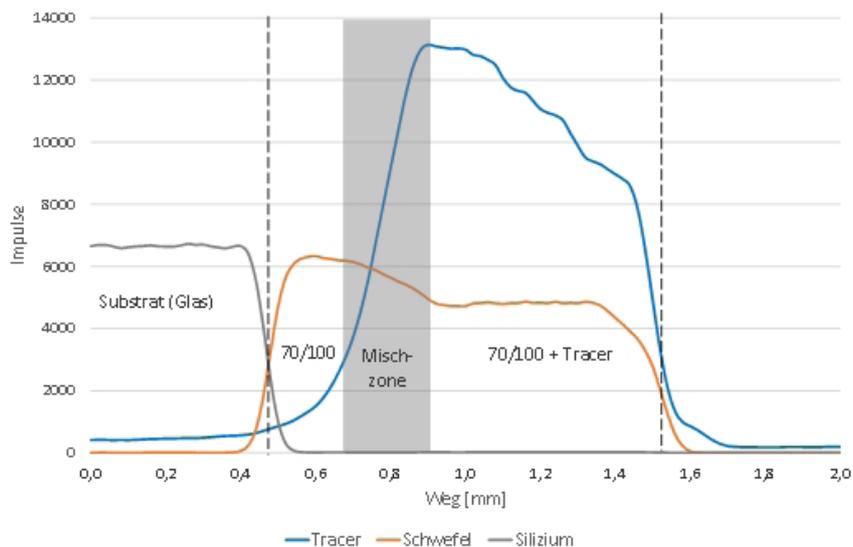
Die Bitumengehalte der einzelnen Lösungen lassen sich mithilfe der FT-Infrarotspektrometrie bestimmen. Bei dem frisch hergestellten, einfach umhüllten Asphaltkorn nimmt der Bitumengehalt kontinuierlich ab. Das bedeutet, mit jedem Löseschritt wird weniger Bitumen gelöst. Bei einem doppelumhüllten Asphaltkorn ist im letzten Schritt hingegen eine Zunahme der Bitumenkonzentration zu erkennen. Dies stimmt mit dem visuellen Eindruck überein, dass Bitumenreste an der Oberfläche verbleiben.

Die Bitumenlösungen können nicht nur hinsichtlich ihrer Gesamtkonzentration untersucht werden, sondern auch bezüglich ihrer chemischen Zusammensetzung. Über die FT-Infrarotspektrometrie können prinzipiell Polymere nachgewiesen und der Alterungszustand ermittelt werden.

### μ-RFA-Technik

Die Mikro-Röntgenfluoreszenzanalyse (μ-RFA) ist ein Verfahren der Elementanalyse, das durch eine Röntgenoptik die Untersuchung von gezielten, sehr kleinen Probenbereichen ermöglicht. Die Untersuchungen wurden von der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) durchgeführt.

Die Grafik zeigt das Ergebnis einer μ-RFA-Messung eines aus Glas bestehenden Substrats, das zunächst



μ-RFA-Messung von tracer-dotiertem 70/100 über nicht-dotiertem 70/100 auf Glassubstrat (Messung der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung)

mit Bitumen 70/100 und anschließend mit dem gleichen tracer-dotierten Bitumen beschichtet wurde. Die Messung erfolgte als Linienscan über den Querschnitt der Probe.

Der Abfall der Kα-Linie von Silizium (grau) und der Anstieg der Kα-Linie von Schwefel (orange) markieren die Phasengrenze zwischen Glassubstrat und nicht-dotiertem Bitumen. Die Konzentration des Tracers (blau) nimmt hingegen langsam mit zunehmender Weglänge zu. Es existiert eine erkennbare Mischzone zwischen beiden Bitumenphasen.

### Fazit

Über die mikroskopische Analyse können zwar nützliche Erkenntnisse gewonnen werden, sichere Aussagen über die wechselseitige Durchdringung von Frischbitumen und Mastix sind auf diese Weise jedoch nicht möglich.

Jedes Asphaltkorn ist als ein „Unikat“ zu betrachten, zudem ist die Menge an Ausbauasphalt, die einer Asphaltmischung zugegeben werden kann, begrenzt. Allein aus statistischen Gründen ist für die Anwendung des

Löseverfahrens eine größere repräsentative Probenmenge erforderlich.

Die Anwendung des μ-RFA-Verfahrens ist attraktiv, da die Messung sehr schnell erfolgt und sich bereits jetzt auf einfache Systeme anwenden lässt. Um dieses Verfahren auf „reale Proben“ anwenden zu können, ist jedoch noch Entwicklungsarbeit erforderlich.

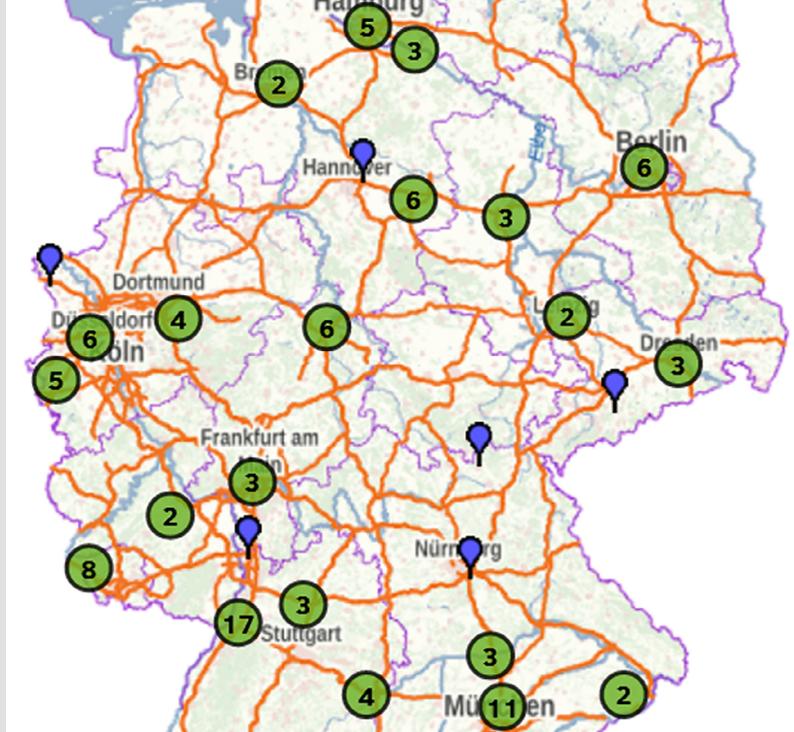
Das μ-RFA-Verfahren ist über eine konkrete Einzelfall-Betrachtung hinausgehend potenziell eine wertvolle Methode zur Gewinnung von allgemein gültigen Aussagen über die Eignung und über die Anwendungsgrenzen von Verjüngungsmitteln und niedrigviskosen Zugabe-Bindemitteln. ■

### Literatur

[1] DELFOSSE, F., DROUADAINE, I., FAUCON-DUMONT, ST., LARGEAUD, S., DECAMPS, J.A.: Performance control of bituminous mixture with a high RAP content, E&E Congress 2016, 6th Eurasphalt & Eurobitume Congress, 1-3 June 2016, Prague, Czech Republic



© marog-pixcells – stock.adobe.com



© Austrian Institute of Technology



# Effizient und sicher, ökologisch und digital – Verkehrstechnik heute

Autobahnen liefern saubere Energie

Umgang mit invasiven Pflanzenarten auf Straßenbegleitgrün –  
Praxishilfe für die Betriebsdienste

Lärmschutz, Naturschutz und Landschaftspflege mit Lehm

Wildunfallprävention – Analyse deutschlandweit  
gesammelter Wildunfalldaten

Bäume an Straßen und Verkehrssicherheit

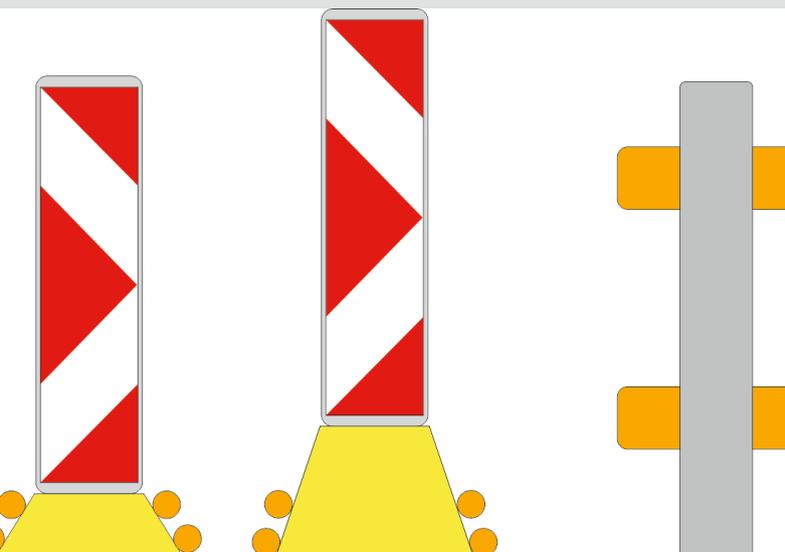
Verkehrsrechtliche Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen –  
neue Richtlinien

Bundesweite Verkehrsdaten 2019 – Ergebnisse unbeeinflusst von  
Pandemie und Flutkatastrophe

Testfeldmonitoring und Digitales Testfeld Autobahn

Grünes Licht für nachhaltige Mobilität

Anforderungen automatisierter Fahrzeuge  
an Fahrbahnmarkierungen und Verkehrsschilder



# Autobahnen liefern saubere Energie

Dr. Markus Auerbach, Physiker und Gesangspädagoge, Referat „Verkehrsbeeinflussung und Straßenbetrieb“



Bis zum Jahr 2030 müssen die Treibhausgasemissionen in Deutschland drastisch reduziert werden. Eine energieeffiziente Verkehrsinfrastruktur kann hierzu einen Beitrag leisten. Straßen, die nicht nur Energieverbraucher transportieren, sondern deren Energiebedarf teilweise selbst erzeugen, sind bereits seit einigen Jahren in den Fokus der BASt gerückt. So wurden und werden zum Beispiel Lärmschutzwände mit Photovoltaik (PV) aber auch die Nutzung von Geothermie zur Temperierung von Fahrbahnen ebenso wie der Einsatz von piezoelektrischen Generatoren zur Stromerzeugung untersucht und gegebenenfalls Weiterentwicklungen angestoßen.

Als besonders aussichtsreich hat sich dabei die Nutzung der Photovoltaik herausgestellt, da hier durch die sehr große Kostendegression der letzten Jahre eine wirtschaftliche Anwendung machbar ist.

## PV-Straßenüberdachung

Derzeit untersucht die BASt im Auftrag des Bundesverkehrsministeriums und gemeinsam mit der Autobahn GmbH die Tauglichkeit

von Photovoltaik-Straßenüberdachungen, zunächst als Demonstrator an einer Tank- und Rastanlage an der A 81. Auf einer Fläche von 10 mal 17 Metern in über 5 Metern Höhe wird neben der Energiegewinnung durch Photovoltaik auch der Schutz der Fahrbahn vor Witterung getestet. So könnten einerseits Betriebs- und Wartungskosten reduziert sowie andererseits die Dauerhaftigkeit der Fahrbahn und die Verkehrssicherheit erhöht werden. Zudem würde die Energieerzeugung für E-Tankstellen mit geringen Netzausbaupotenzialen ermöglicht.

Die Überbauung von Straßen mit Photovoltaik-Modulen ist im Vergleich zu Photovoltaik auf bestehenden Hausdächern oder auf Freiflächen deutlich teurer. So muss die Tragkonstruktion bei einem Unfall auf der Straße darunter gegen einen möglichen Fahrzeuganprall geschützt werden, damit sie nicht einstürzt. Erschwerend kommt hinzu, dass ab einer Länge von 80 Metern derartige Tragkonstruktionen ähnlich wie Tunnel einzustufen wären und die Konstruktion dann noch höheren Sicherheitsansprü-

chen genügen müsste. Das Ziel des deutsch-österreichisch-schweizerischen Forschungsprojekts ist es daher zu zeigen, dass eine solche Konstruktion unter realen Verkehrsbedingungen wirtschaftlich darstellbar ist und dauerhaft betrieben werden kann. Obwohl die Modulbauweise des Demonstrators einige Kostenvorteile aufweist, ist eine flächendeckende Anwendung von Solardächern über Autobahnen kurzfristig aber eher nicht zu erwarten. Es gibt im Vergleich immer noch ein großes Potenzial an Flächen, auf denen erneuerbare Energie weniger aufwendig erzeugt werden kann – beispielsweise Parkplätze und andere bereits versiegelte Flächen, wo Sicherheitsanforderungen und damit einhergehend Erstellungskosten wesentlich niedriger sind. Aber für spezielle, lokal begrenzte Anwendungsbereiche werden durchaus Einsatzmöglichkeiten für ein Solar-dach über der Autobahn gesehen.

Die Ausschreibung des Projekts wurde vom Bundesverkehrsministerium im Rahmen der DACH-Kooperation Verkehrsinfrastrukturforschung gemeinsam mit den Partnern Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) in Wien und dem Eidgenössischen Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) durchgeführt. Fachlich begleitet wird das Projekt von dem DACH-Projektbeirat, in dem Experten der BASt, der österreichischen Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft (ASFINAG) und des schweizerischen Bundesamts für Straßen (ASTRA) vertreten sind. ■



Visualisierung der Photovoltaik-Straßenüberdachung (Bild: Austrian Institute of Technology)

# Umgang mit invasiven Pflanzenarten auf Straßenbegleitgrün – Praxishilfe für die Betriebsdienste

Dr. Pia Bartels, Biologin, Referat „Umweltschutz“



Die Gewährleistung der Verkehrssicherheit ist zentrale Aufgabe des Straßenbetriebsdienstes. Dies schließt unter anderem die effektive und wirtschaftliche Pflege des Straßenbegleitgrüns mit ein. So ist in der Regel eine zweimalige Mahd zur Instandhaltung des Intensivbereichs ausreichend. Bestimmte Pflanzen können jedoch Probleme verursachen, die sich bei der Pflege in einem erhöhten Ressourcenaufwand niederschlagen. Häufig gehören solche problematischen Arten zu den sogenannten Neophyten, das heißt sie kommen in Deutschland nicht von Natur aus vor, sondern sind mithilfe des Menschen hierhin gelangt. Als invasive Neophyten bezeichnet man solche Pflanzen, die die Biodiversität negativ beeinflussen. Oft haben solche Arten auch ökonomische Auswirkungen.

Eine durch die BAST durchgeführte deutschlandweite Umfrage bei 304 Autobahn- und Straßenmeistereien ergab, dass vorwiegend 2 Neophyten und eine einheimische Art Probleme bei den Betriebsdiensten verursachen: die Staudenknöteriche, die Herkulesstaude (auch Riesen-Bärenklau) und das Jakobskreuzkraut. Die Staudenknöteriche können durch ihr extrem schnelles Längenwachstum zu Sichtbehinderungen führen oder durch das Einwachsen in den Straßenseitenraum die Verkehrssicherheit gefährden. Die Herkulesstaude ist gesundheitsgefährdend und ihre Beseitigung ist daher mit besonderem Aufwand verbunden – beispielsweise das Tragen einer besonderen Schutzausrüstung. Das einheimische, giftige Jakobskreuzkraut ist für Vieh

gefährlich, wenn es ins Heu gelangt. Die Betriebsdienste werden daher immer wieder von Landwirten und Imkern aufgefordert, Bestände im Straßenbegleitgrün zu beseitigen. Insgesamt gaben 83 Prozent der Meistereien an, schon einmal Bekämpfungsmaßnahmen gegen Neophyten eingesetzt zu haben, vor allem zur Beseitigung von Staudenknöterich und Herkulesstaude. So wird die Herkulesstaude beispielsweise in rund 70 Prozent der Meistereien bekämpft, davon bei knapp der Hälfte (34 Prozent) schon seit mehr als 10 Jahren.

Trotz der Bemühungen sind viele der angewandten Maßnahmen nicht erfolgreich (19 Prozent) oder nur bedingt erfolgreich, da sie eine weitere Ausbreitung zwar verhindern (40 Prozent) oder verlangsamen (24 Prozent), aber nicht zu einer nachhaltigen und dauerhaften Beseitigung der Bestände führen. Für nur



*Staudenknöterich (oben) und Herkulesstaude*

10 Prozent der in der Umfrage angegebenen Maßnahmen berichteten die Meistereien von einer nachhaltigen und dauerhaften Beseitigung. Vielleicht auch aus diesem Grund gaben 49 Prozent der Teilnehmer aus den Meistereien an, dass sie sich nicht ausreichend über das Thema Neophyten informiert fühlen.

## Leistungsheft für den Straßenbetriebsdienst

Um die Betriebsdienste mit Informationen und Handlungsempfehlungen zu unterstützen, hat die BAST eine Praxishilfe ausgearbeitet, die sowohl generelle Hinweise zur Vermeidung der Einbringung und Ausbreitung problematischer Arten als auch artspezifische Maßnahmen zur Bekämpfung der häufigsten Problemarten enthält. Mit dem Erscheinen der Neuauflage des Leistungshefts für den Straßenbetriebsdienst ist nun erstmalig auch die Leitungsposition 2.2.3 „Bekämpfung von Problempflanzen und gesundheitsgefährdenden Insekten“ eingeführt worden, über die die Betriebsdienste Maßnahmen aufführen können. Die Praxishilfe ist den Ländern bereits durch das Bundesverkehrsministerium zur Verfügung gestellt worden. In den kommenden Jahren soll ein reger Austausch mit den Ländern stattfinden, um das Dokument stetig weiterzuentwickeln – vor allem hinsichtlich der Forschungsprojekte zu innovativen Bekämpfungsmaßnahmen, die derzeit bei der BAST und in den Ländern laufen. ■

[www.bast.de/leistungsheftstraßenbetrieb](http://www.bast.de/leistungsheftstraßenbetrieb)

# Lärmschutz, Naturschutz und Landschaftspflege mit Lehm

Dr. Birgit Kocher, Geoökologin, Cyrus Schmellekamp (Mitte), Umweltwissenschaftler und Bauingenieur, Michael Chudalla (rechts), Bauphysiker, Jan Sauer, Biologe und Britta van Dornick, Geografin (links), Referat „Umweltschutz“



Lehmbau als Ausfachung von Fachwerk und als Massivlehmbau ist eine Jahrtausende alte, bewährte Bauweise. Um diesen klimaneutralen, dauerhaften und umweltfreundlichen Baustoff für eine Lärmschutzwand als konkretes Pilotprojekt einzusetzen, arbeitet die BAST zusammen mit verschiedenen Akteuren an Grundlagen einer modernen Lehmtechnologie. Im Rahmen einer Kooperation mit der Künstlerin Ute Reeh und dem „Zentrum für Peripherie“ führt die BAST Untersuchungen durch mit dem Ziel, an Bundesfernstraßen einen Prototyp für Lärmschutzwände in Lehmbauweise zu ermöglichen und diesen dann im Rahmen eines Monitorings zu begleiten. Im Fokus stehen dabei Fragen zur Akustik, zum Naturschutz, zur Übertragbarkeit bezüglich Nachhaltigkeit und Lebenszyklus auf geeignete Infrastrukturbauwerke und zur nachhaltigen Verwendung ausgebauter Böden.

## Akustische Messungen

An Probekörpern verschiedener Zusammensetzung und Struktur werden akustische Messungen zur Bestimmung des Schallabsorptionsgrades durchgeführt. So kann

das Absorptionsverhalten analysiert und durch Anpassung bestimmter Materialparameter optimiert werden – beispielsweise Dicke, Strömungswiderstand oder Porosität.

Die Labormessungen bilden das Verhalten unter optimierten Bedingungen ab. Die tatsächliche akustische Wirksamkeit an der Straße muss im nächsten Schritt mithilfe von In-situ-Messungen an größeren Flächen (mindestens 4 x 4 Meter) ermittelt werden. Dazu wird das QUIESST- (früher: Adrienne-) Verfahren verwendet.

## Naturschutz und Landschaftspflege

Senkrechte Lösswände sind ein Lebensraum für viele erd- oder höhlenbewohnende Tiere. Lehm-lärmschutzwände haben ähnliche Eigenschaften und bieten deshalb ein großes Habitat-Potenzial für seltene und geschützte Arten, insbesondere Insekten.

Die BAST begleitet Untersuchungen zu naturschutzfachlichen Aspekten an einem ausgeführten Teilstück der Lehm-lärmschutzwand durch die Kartierung von lehmwohnenden

Wildbienen, die Evaluierung von Optimierungsmöglichkeiten des Besiedlungspotenzials und Untersuchungen zur Beschreibung der Wirkbeziehungen der Schutzgüter untereinander.

## Nachhaltigkeit und Klimaschutz

In weiteren Untersuchungen muss ermittelt werden, wie viel Energieaufwand für die Optimierung des Rohbaustoffs Lehm zur Verwendung als Lehm-lärmschutzwand eingebracht wird. Außerdem wird untersucht, welche weiteren Aufwendungen im Lebenszyklus erforderlich sind, um als Infrastrukturbauwerk mit entsprechend hohen technischen Anforderungen unter ganzheitlichen Gesichtspunkten zu funktionieren.

Die vollständige Recyclbarkeit von Lehm als Baustoff und die nach derzeitigem Kenntnisstand relativ geringen Energieaufwendungen bei der Gewinnung und Aufbereitung zum Bauprodukt fließen in eine Nachhaltigkeitsbetrachtung auch hinsichtlich der Klimabilanz positiv ein. Der Strohanteil in Wellerlehm trägt zur Festigkeit bei und bindet CO<sub>2</sub> langfristig.

## Ausstellung „Alhambra Brandenburgs“

Von Oktober 2021 bis Februar 2022 fand in Kooperation mit dem „Zentrum für Peripherie“ und vielen weiteren Partnern eine Ausstellung zur Konzeption einer Raststätte in Lehmbauweise und zum Thema Lärmschutz, Naturschutz und Landschaftspflege mit Lehm im Foyer der BAST statt. Als Inspiration gab die Alhambra in Granada ihren Namen, deren hohe Lehmumfassungsmauern schon viele Jahrhunderte stehen. ■



Probewand aus Stampflehm (linke Hälfte) und Wellerlehm (rechte Hälfte) in Nebelin ein Jahr nach dem Bau

# Wildunfallprävention – Analyse deutschlandweit gesammelter Wildunfalldaten

Britta van Dornick, Geografin, Referat „Umweltschutz“



Eine einheitliche, standardisierte Erfassung der Wildunfälle aller Unfallkategorien gibt es in Deutschland bisher nicht. Die Anzahl von 295.000 Wildunfällen im Jahr 2019 kann aus den Schadensmeldungen der Kfz-Versicherer an den GDV abgeleitet werden (GDV, 2020). Der deutsche Jagdverband (DJV) schätzt die Zahl an Wildunfällen, basierend auf jährlich erhobenen Fallwildzahlen, ähnlich hoch ein. Dagegen weist das statistische Bundesamt für das Kalenderjahr 2019 nur 3.021 Wildunfälle aus (Statistisches Bundesamt, 2020). Die Diskrepanz in den Unfallzahlen begründet sich durch die hohe Anzahl von „sonstigen Unfällen mit Sachschaden“, die nicht in die amtliche Unfallstatistik einbezogen werden.

## Evaluation der polizeilich gemeldeten Wildunfälle

Im BAST-Forschungsprojekt zum Themenbereich „Wildunfallzahlen“ wurden alle verfügbaren polizeilichen Daten der Jahre 2012 bis 2017 abgefragt, ebenso wie Daten aus dem Totfundkataster des DJV. Während die amtliche Statistik im Zeitraum von 2012 bis 2017 mehr als 17.000 Unfälle unter Beteiligung von Wild ausweist, besteht die Datensammlung der BAST unter Einbeziehung der „sonstigen Wildunfälle mit Sachschaden“ aus 805.257 geokodierten Datensätzen. Die Zahl aller Wildunfälle aus der BAST-Forschung liegt somit um das 47fache höher, als die amtliche Statistik abbildet.

Die insgesamt 17.301 Wildunfälle der amtlichen Statistik ereigneten sich vorwiegend auf Landes- und Kreisstraßen, auf Bundesfernstraßen

passierten im betrachteten Zeitraum 4.569 Unfälle.

Betrachtet man die Wildunfallzahlen aus der Datensammlung der BAST, bleibt die Verteilung der Unfallzahlen auf die einzelnen Straßenkategorien ähnlich, allerdings ist der Anteil der Wildunfälle auf Bundesstraßen nun höher als der Anteil der Wildunfälle auf Kreisstraßen. Das Bundesfernstraßennetz ist damit stärker durch Unfälle unter Beteiligung von Wild betroffen, als bisher angenommen wurde.

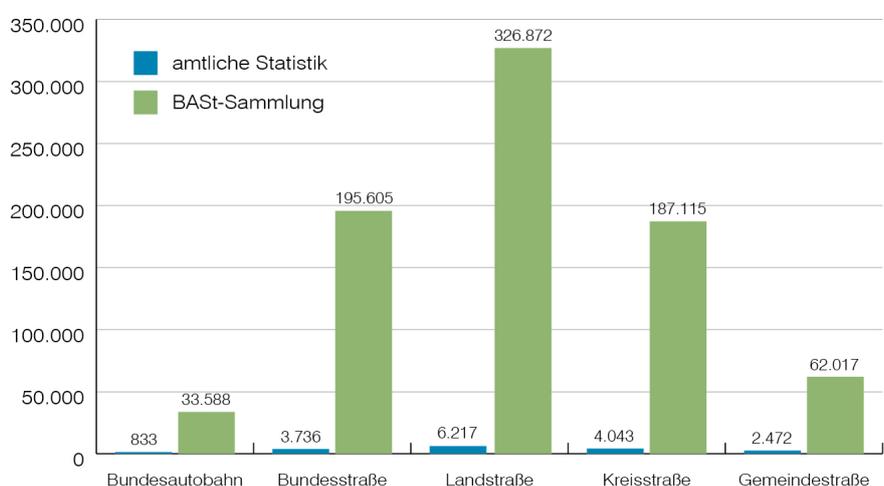
Mit der Datensammlung der BAST ergibt sich die Möglichkeit, erstmals deutschlandweit Wildunfallpunkte digital verorten zu können, der genaue Unfallort wird so in einem geografischen Informationssystem (GIS) visualisierbar.

## Analyse der Wildunfalldaten

Auf Grundlage dieser Unfallzahlenbasis wurden Wildunfallstrecken, Wildunfalldichten und Wildunfallhäufungsabschnitte für die Straßen-

klassen 1 bis 5 in Anlehnung an das Merkblatt zur örtlichen Unfalluntersuchung in Unfallkommissionen (M Uko) (FGSV, 2012), bestimmt und berechnet. Für den beschriebenen Sechsjahreszeitraum ergeben sich 30.393 Wildunfallstrecken mit mindestens 6 Unfällen im maximalen Abstand von 200 Metern zwischen 2 Unfallpunkten. Aus diesen Wildunfallstrecken wurden Streckenabschnitte mit einer Wildunfalldichte von mehr als 15 Wildunfällen pro Kilometer lokalisiert. Im betrachteten Zeitraum (2012 bis 2017) trifft dies auf 11.912 Abschnitte aus der Gesamtmenge an Wildunfallstrecken zu.

Die Darstellung und Berechnung von Wildunfallstrecken sowie Wildunfallhäufungsabschnitten (WUHA) für einen Großteil des Straßennetzes Deutschlands bildet die Grundlage für weitere Betrachtungen zu möglichen Unfallursachen und deren Vermeidung, die im Forschungsschwerpunkt Wildunfallprävention zusammengefasst werden. ■



Aufteilung der Wildunfallzahlen nach Straßenkategorien (2012 bis 2017) aus der amtlichen Statistik und aus der BAST-Sammlung

## Bäume an Straßen und Verkehrssicherheit

Jan Sauer, Biologe, Referat „Umweltschutz“, Janine Kübler, Bauingenieurin, Referatsleiterin „Straßenausstattung“ und Dr. Dominik Schmitt, Referat „Straßenentwurf, Verkehrsablauf, Verkehrsregelung“ sowie Dr. Benjamin Schreck-von Below, Verkehrsingenieur, Referat „Sicherheitskonzeptionen, Sicherheitskommunikation“ (bis Oktober 2021 in der BASt, nicht im Bild)



Bäume an Straßen sind für weite Teile Deutschlands landschaftsprägend, bestimmen Eigenart und Schönheit der Landschaftsräume und stehen für das Zusammenwachsen von Natur und Kultur. Bäume an Straßen bieten einer Vielzahl verschiedenster Tierarten Lebensraum, Schutz-, Brut- sowie Nahrungsplätze und erfüllen gerade in den intensiv genutzten Landesteilen wichtige Biotopverbundfunktionen. Trotz des besonderen gesetzlichen Schutzes von circa 14.000 Kilometer Alleen und einseitigen Baumreihen ist der Bestand von Bäumen an Straßen durch fehlende Neu- und Nachpflanzungen und Konflikten mit technischen Regelwerken gefährdet, die der Verkehrssicherheit dienen.



Aufgrund der oftmals schwerwiegenden Unfallfolgen beim Baum-aufprall ist die Verkehrssicherheit bei Bäumen im Bestand und bei der Pflanzung besonders zu betrachten. In den vergangenen Jahren wurden pro Jahr über 500 Personen bei Unfällen mit einem Aufprall auf einen

Baum getötet und über 4.500 Personen schwer verletzt. Ein Großteil dieser Unfälle ereignet sich auf Landstraßen und macht dort ein Viertel aller getöteten Personen aus. Merkmale, die das Abkommen von der Fahrbahn beeinflussen, sind bekannt. Ihnen wird durch eine Vielzahl von Maßnahmen aus den technischen Regelwerken begegnet – unter anderem der Beseitigung von Straßendefiziten oder Geschwindigkeitsüberwachung. Dabei ist das Unfallgeschehen durch eine eher linienhafte Verteilung geprägt, was die Beseitigung von Unfallschwerpunkten erschwert.

Den überwiegenden Anteil der Unfälle mit Baumaufprall sind Fahrunfälle durch den Verlust der Kontrolle über das Fahrzeug aufgrund von Fahrfehlern und nicht angepasster Geschwindigkeit unter anderem bei ungünstigen Fahrbahnzuständen wie Nässe oder Glätte. Aber auch körperliche Einschränkungen – beispielsweise Alkohol-/Drogenkonsum oder Übermüdung – verstärken die Tendenz zu derartigen Fahrfehlern. Die Ausgangsgeschwindigkeit der verunfallten Pkw liegt in knapp 45 Prozent unterhalb von 70 Kilometern pro Stunde, in 9 Prozent der Fälle sind Geschwindigkeiten oberhalb von 100 Kilometern pro Stunde festzustellen. Die Kollisionsgeschwindigkeit am Baum liegt bei der Hälfte der Unfälle unterhalb von 50 Kilometern pro Stunde. Hierbei sind bei jedem zehnten Unfall schwere Verletzungen, jedoch selten kritische oder nicht behandelbare Verletzungen festzustellen.

Im Rahmen eines Forschungsprojektes wurde ermittelt, dass sich durch die Anordnung der Bäume deutliche Unterschiede in Bezug auf die Unfallhäufigkeit und -schwere ergeben [1]. So liegt die Wahrscheinlichkeit eines Unfalls mit schwerem Personenschaden auf Alleeabschnitten teilweise deutlich über der anderer Abschnitte mit vereinzelt Bäumen oder dem baumfreien Umfeld. Dies zeigen auch die Unfallkosten, die bei Alleen zehnmal so hoch sind, wie auf Abschnitten mit einem baumfreien Umfeld. Aber auch Abschnitte mit Einzelbäumen, Baumreihen und der Waldbereich zeigen hohe Unfallkosten.

Die Unfallvermeidung durch geeignete Maßnahmen sollte daher primäres Ziel sein, jedoch sind stellenweise auch Maßnahmen zur Abnahme der Unfallschwere beim Baumaufprall wichtig. Auf Landstraßen befindet sich ein hoher Anteil von ungeschützten Bäumen in einem Fahrbahnabstand von unter 4,5 Metern, dabei ein nicht unerheblicher Teil sogar unter 1,5 Metern. In solchen Fällen bietet sich eine Nachrüstung von Fahrzeug-Rückhaltesystemen (FRS) an. Die Absicherung der Bäume mit FRS führt zu einer deutlichen Abnahme der Unfallschwere, da das FRS Anprallenergie aufnimmt und sich die Kräfteinleitung am Pkw verteilt. ■

### Literatur

- [1] SCHRECK-VON BELOW, B.: Straßenbepflanzung und Verkehrssicherheit, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 349, 2021

# Verkehrsrechtliche Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen – neue Richtlinien

Johannes Thomé, Fahrzeugingenieur, Referat „Straßenausstattung“ (bis Dezember 2021 in der BAST) und Bernhard Kollmus, Verkehrsingenieur, stellvertretender Referatsleiter „Straßenentwurf, Verkehrsablauf, Verkehrsregelung“



Verkehrsrechtliche Sicherungsmaßnahmen an Arbeitsstellen dienen der sicheren Führung des Verkehrs in den betroffenen Bereichen. Bei Arbeitsstellen an Straßen im Sinne der Richtlinien für die verkehrsrechtliche Sicherung von Arbeitsstellen (RSA) handelt es sich um Stellen, bei denen Verkehrsflächen vorübergehend für Arbeiten abgesperrt werden.



Die aktuell noch gültige Fassung der RSA stammt aus dem Jahr 1995. Bereits 2001 wurde mit einer Überarbeitung begonnen, die zunächst eine Teilfortschreibung zum Ziel hatte. Es kristallisierte sich jedoch angesichts der umfangreichen Änderungen insbesondere der Straßenverkehrsordnung (StVO) und der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Straßenverkehrs-Ordnung (VwV-StVO) heraus, dass eine vollständige Überarbeitung erforderlich war. Diese konnte nun nach verschiedenen Arbeitsschritten mit finaler Herstellung des Einvernehmens gemäß VwV-StVO vollendet werden, unter anderem durch die Bearbeitung von knapp 1.400 Anmerkungen aus den Stellungnahmen der Länderanhörung mit Unterstützung durch die BAST.

## Die neuen RAS 21

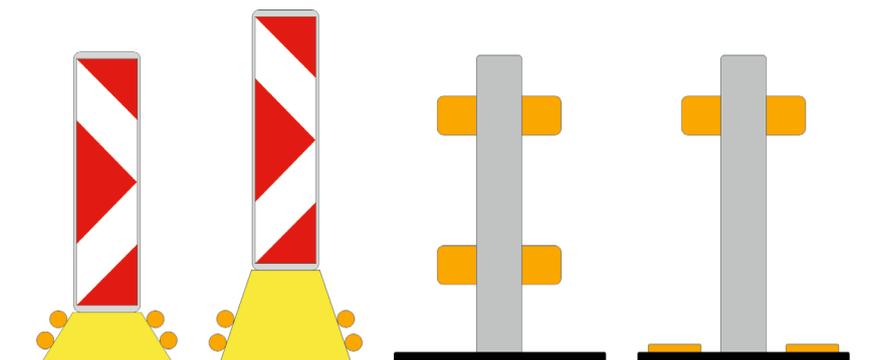
Inhaltlich führten die Fortschreibungen von StVO und VwV-StVO zu weitreichenden Änderungen. Dies betrifft beispielsweise den Einsatz transportabler Schutzeinrichtungen als Träger für Fahrbahnmarkierungen, den Verzicht auf temporäre Fahrbahnmarkierungen bei entsprechender Anordnung von Leitbaken und anderen Absperrgeräten insbesondere im innerörtlichen Bereich oder auf Landstraßen und die stringente Aufnahme der Pfeilbake in die Regelpläne.

Zudem führten kontinuierliche Weiterentwicklungen insbesondere straßenverkehrstechnischer Aspekte zu entsprechenden Neuerungen in den RSA. So sind zum Beispiel erstmals Regelpläne für Kreisverkehre und für Wechselverkehrsführungen enthalten, die sich speziell zu Spitzenstunden im Bereich von Ballungsräumen als äußerst positiv erwiesen haben.

Zur Stärkung der Belange blinder und sehbehinderter Menschen greifen die neuen RSA unter anderem entsprechende gesetzliche Fortschreibungen auf.

Insgesamt wurden die Regelpläne der RSA in ihrem Aufbau weitreichender als zuvor systematisiert. Ziel ist es, Verkehrsteilnehmer stets mit einem grundsätzlich gleichen Aufbau der Verkehrsführungen zu konfrontieren und somit durch vorhersehbare verkehrliche Verhältnisse zu einem vorausschauenden und angemessenen Fahrverhalten beizutragen.

Mit den RSA steht nun ein vollständig überarbeitetes Regelwerk zur Verfügung, das mit zahlreichen Neuerungen den Anforderungen der Praxis in vollem Umfang gerecht wird und neue Systematiken enthält, die auf eine weitere Verbesserung der Verkehrssicherheit und des Verkehrsflusses abzielen. ■



Leitschwelle, Leitbord, temporäre Schutzeinrichtung (schematische Darstellung)

# Bundesweite Verkehrsdaten 2019 – Ergebnisse unbeeinflusst von Pandemie und Flutkatastrophe

Alexander Bloch, Mathematiker, Referat „Verkehrsstatistik“



Plötzliche Ereignisse und strukturelle Veränderungen, wie Lockdowns, vermehrtes Arbeiten im Homeoffice oder eine Hochwasserkatastrophe haben auch große Auswirkungen auf den Straßenverkehr. Das Verkehrsbarometer lässt daran keinen Zweifel. Die im November 2021 von der BAST veröffentlichten Verkehrsdaten sind jedoch weitestgehend frei von äußeren Einflüssen auf das Verkehrsverhalten. Wie kam es dazu, diese Daten bereitzustellen und welchen Nutzen haben sie?

Ende des Jahres 2019 wurde der Ausbruch einer neuen Lungenkrankheit in China bekannt und im März 2020 wurde die Epidemie durch die WHO offiziell zur Pandemie erklärt. Im April 2020 sollte die bundesweite Straßenverkehrszählung auf Bundesfernstraßen (SVZ) 2020 beginnen. Aufgrund von Corona Maßnahmen wie Kontaktbeschränkungen wurde es allerdings immer schwieriger, das Zählpersonal zu schulen oder auch nur zum Einsatzort zu transportieren. Die Straßenverkehrszählung wurde deshalb auf das Jahr 2021 verschoben. Dadurch können die Verkehrsdaten allerdings erst im Jahr 2022 veröffentlicht werden.

Nach der 34. Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (BImSchV) besteht eine gesetzliche Verpflichtung die Lärmkartierung bis zum Juni 2022 durchzuführen. Die qualitätsgesicherten Ergebnisse der 2021er-Zählung sind hierfür jedoch nicht rechtzeitig verfügbar. Weiterhin dürfen die zugrunde liegenden Verkehrswerte nach Artikel 5 Absatz 1 der Richtlinie 2002/49/EG nicht älter als 3 Jahre sein, sodass ein Rückgriff auf die SVZ-Ergebnisse aus 2015 nicht möglich war. Mit der Absage der SVZ für das Jahr 2020 musste deshalb eine alternative Methode zur Bereitstellung verwendbarer Verkehrsdaten für die Lärmkartierung entwickelt werden. Zudem wurde das zugrunde liegende Regelwerk zur Lärmkartierung mittlerweile aktualisiert.

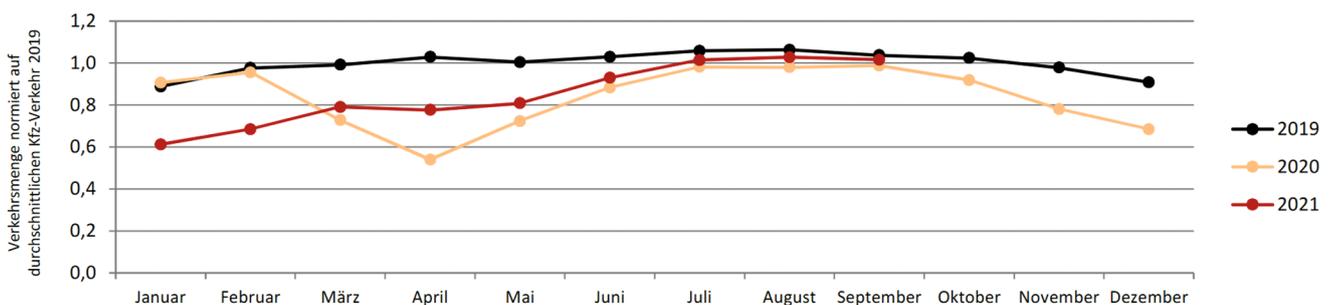
## Methodik

In Abstimmung mit dem Bundesverkehrsministerium und dem Bundesumweltministerium wurde deshalb entschieden, die Ergebnisse der SVZ 2015 mit den aktuellen Daten der automatischen Dauerzählstellen und temporären Messungen mit Seitenradargeräten fortzuschreiben

und hochzurechnen. Stehen aktuelle Daten nicht zur Verfügung, wird auf konventionelle Hochrechnungsmethoden zurückgegriffen.

Durch Neubauten, Umgehungsstraßen und Umwidmungen hat sich das Straßennetz von 2015 verändert. Deshalb mussten die Zählstellen geprüft, die Bereiche angepasst, neue Zählstellen eingesetzt und übertragen werden. Dies erfolgte GIS-gestützt unter Nutzung der Zuordnung der Zählstellen zum Netz des Bundesinformationssystems Straße (BISStra) vom Stand September 2019. Ziel ist es, das Bundesfernstraßennetz vollständig mit plausiblen Verkehrsdaten abzudecken. Für die Kennwerte sollen immer die aktuellen Zählzahlen herangezogen werden. So werden die Dauerzählstellendaten aus 2019 direkt in die Ergebnistabellen geschrieben.

Die turnusmäßige Erfassung des Verkehrs mit Seitenradargeräten stellt die zweite Säule der Ergebnisdaten dar. Für die geplante SVZ 2020 wurden jährlich seit 2016 Verkehrsdaten mithilfe von temporären Messungen mit Seitenradargeräten (TM) erfasst. Die TM-Daten



Das Verkehrsbarometer stellt Orientierungswerte zur aktuellen Verkehrsentwicklung in Deutschland möglichst zeitnah zur Verfügung; als Basis dienen die vorläufigen vorplausibilisierten Daten der automatischen Dauerzählstellen (DZ) pro Monat; dargestellt werden die monatlichen Entwicklungen im Vergleich zum Vormonat und zum Vorjahresmonat sowohl auf BAB als auch auf Bundesstraßen

Allgemeine Angaben					Verkehrsbelastung					GL-Faktor	MSV	Geräuschkennwerte									
Straße	Land	TK/Zst.-Nr.	Region	Zählart	DTV	DTV	LV	SV	Di-Do Nzb			Kfz	fer	RLS90				RLS19			
														M	p	L <sub>m</sub> <sup>(25)</sup>	M	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>Krad</sub>	L <sub>w</sub> '
E-Str.	zust. Stelle	Richtung I		Zählart	2015	W	Rad	Bus			MSV <sub>RI</sub>	Tag 06-22 Uhr				T	Tag 06-22 Uhr				
	AdB	Richtung II		TZ	SV	U	Krad	LoA	LV	b <sub>90</sub>	b <sub>SV,RI</sub>	D				Day 06-18 Uhr					
	Anz. FS	FS / OD	Zabl. [km]	DZ	2010	S	LVm	LZ	SV	b <sub>FF</sub>	b <sub>SV,RII</sub>	E				Evening 18-22 Uhr					
			ges. / FS		SV						b <sub>SV,RIII</sub>	N				Night 22-06 Uhr					
A 4	5 NW	5008 5015		DZ	[Kfz/24h]						[Kfz/h]	[Kfz/h]	[%]	[dB(A)]	[Kfz/h]	in %	in %	in %	[dB(A)]		
	10		05 004 07		73 127	76 023	69 796	6 227	83 365	0.93	3 856	4 308	7.6	75.7	4 308	2.0	5.6	0.6	97.1		
E 40		AS Bergisch Gladbach-Frankenforst (19)			5 777	80 865		76			5.9 %				4 656	2.3	6.0	0.6			
	5	AS Bergisch Gladbach-Bensberg (20)			71 172	75 523	380	1 514	75 362	0.75	3 857				3 262	0.8	3.6	0.5			
	FS = 4	FS	3,5 / 3,5	5015	5 818	59 343	69 416	4 637	8 003	1.05	7.4 %	887	14.4	70.2	887	2.8	11.5	0.3	91.0		
A 4	5 NW	5009 2101		FZ	60 117	62 842	57 111	5 731	66 773	0.89	2 976	3 557	8.4	75.1	3 557	2.1	6.4	0.4	98.6		
	10		05 004 07		5 333	69 192		76			5.9 %				3 848	2.3	6.9	0.4			
E 40		AS Bergisch Gladbach-Bensberg(20)			56 679	61 477	242	1 280	59 074	0.66	3 378				2 685	0.9	4.1	0.4			
	5	AS Unterschbach (21)			5 508	41 832	56 869	4 375	7 699	1.19	7.4 %	740	15.9	69.6	740	2.9	13.0	0.3	92.5		
	FS = 4	FS	3,0 / 3,0																		

Buchdruckansicht der Ergebnisse zur Fortschreibung/Hochrechnung der Ergebnisse der SVZ 2015 und der temporären Messungen 2016 bis 2019 auf das Jahr 2019 für die Lärmkartierung gemäß 34. BImSchV

werden zunächst mithilfe der Dauerzählstellen auf das Erhebungsjahr hochgerechnet und dann auf das Jahr 2019 fortgeschrieben, sodass Daten aus den Jahren 2016, 2017 und 2018 ebenfalls in die Ergebnisse einfließen. Trotz der in den letzten Jahren vermehrt durchgeführten TM-Zählungen und der vorhandenen Dauerzählstellen können bundesweit rund 8.000 der SVZ-Zählstellen nicht durch Zählungen zwischen 2016 und 2019 abgedeckt werden. Davon sind insbesondere die meisten Zählstellen auf Bundesautobahnen betroffen und die meisten Zählstellen auf Bundesstraßen in den Bundesländern, die keine Seitenradargeräte einsetzen. Hier werden die Ergebnisdaten der SVZ 2015 direkt auf das Jahr 2019 fortgeschrieben. Die Faktoren zur Fortschreibung werden in einer separaten Tabelle gespeichert, sodass sich mit diesen Faktoren bei Bedarf auch die Bereiche im nachgeordneten Netz (Landes-/Staats-, Kreis- und Gemeindestraßen) fortgeschrieben lassen.

### Ergebnisse

Die Ergebnisse sehen in ihrer Darstellung wie die bekannten Veröffentlichungen zur SVZ aus. In den Ergebnisdaten ist die Lage und die Zählart (DZ, TM, MZ, Fortschreibung)

zu erkennen. Die ganzjährige durchschnittliche Verkehrsstärke (DTV) aus dem Erhebungsjahr und aus den letzten beiden vorangegangenen Erhebungen werden dargestellt, sowie DTV-Werte für jede Fahrzeugart und den Schwerverkehr. Zusätzlich wird im erweiterten Datensatz, der ebenfalls zur Verfügung steht, für jede ausgewiesene Fahrzeugart ein DTV-Wert je Fahrtzweck (Werktags-, Urlaubs- oder Feiertagsverkehr) bestimmt. Die Ganglinienfaktoren geben Aufschluss über den Hauptfahrtzweck des betrachteten Netzbereiches und es wird die Bemessungsverkehrsstärke, also die fünfzigste höchstbelastete Stunde im Erhebungsjahr sowie deren bemessungsrelevanter Schwerverkehrsanteil je Richtung angegeben. Der entscheidende Unterschied zu den vorherigen Veröffentlichungen ist, dass neben den Lärmkenngrößen zur alten Richtlinie für den Lärmschutz an Straßen RLS-90 aus dem Jahr 1990 nun erstmals auch Lärmkenngrößen, wie für die neue RLS-19 benötigt, veröffentlicht werden. Beide Darstellungen werden hier angegeben, um eine Vergleichbarkeit mit vorangegangenen SVZ zu gewährleisten.

Die Ergebnisse sind also vollständig und vollkommen unbeeinflusst von

Corona-Maßnahmen sowie deren Auswirkungen auf den Grenzverkehr und der Hochwasserkatastrophe in weiten Teilen Nordrhein-Westfalens und Rheinland-Pfalz. Sie sind deshalb ebenfalls hilfreich für die Planung zur Wiederherstellung oder den Neubau gerade auch im Zuge der Hochwasserkatastrophe beschädigter Straßen.

Weiterhin lässt sich mit diesen Ergebnissen erstmals nachweisen, dass sich manuelle Zählungen auch im nachgeordneten Netz stabil fortgeschrieben lassen. Auf dieser Grundlage können nun auch jährliche Fortschreibungen der SVZ mit aktuellen Daten aus Dauerzählstellen und temporären Messungen ähnlich einem Verkehrsmonitoring realisiert werden. Die Ergebnisse sind als wichtiger Stützpfeiler für Zeitreihenanalysen und resultierende Prognosen nutzbar und bilden von äußeren Großereignissen weitgehend unbeeinflusste Verkehre ab. ■

[www.bast.de/svz](http://www.bast.de/svz)

# Testfeldmonitoring und Digitales Testfeld Autobahn

Jan Schappacher, Bauingenieur und Karen Scharnigg, Bauingenieurin,  
Referat „Verkehrsbeeinflussung und Straßenbetrieb“



In Deutschland gibt es inzwischen eine Vielzahl an Testfeldern für das automatisierte und vernetzte Fahren, auf denen Forschungsvorhaben umgesetzt und neue Technologien erprobt werden. Aufgrund des komplexen Themengebietes weisen die Testfelder, die zumeist im Rahmen von Forschungsvorhaben eingerichtet wurden, unterschiedliche Schwerpunkte auf. Durch diese zunehmende Vielschichtigkeit ist es erforderlich geworden, mehr Transparenz herzustellen.

Ziel des Monitorings der Testfeldaktivitäten ist es, ausgewiesene Testfelder zum automatisierten und vernetzten Fahren, auf Testfeldern durchgeführte Forschungsvorhaben sowie weitere Aktivitäten in Deutschland im Zusammenhang mit dem automatisierten und vernetzten Fahren im öffentlichen Verkehrsraum zu erheben und die Informationen der Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Das Monitoring dient als Grundlage, um Koordinierungs-, Abstimmungs- und Harmonisierungserfordernisse aufzuzeigen.

Eine Recherche identifizierte 26 Testfelder und circa 140 Projekte, die den oben genannten Kriterien entsprechen. Eine zweckdienliche Kategorisierung mit definierten Attributen ermöglicht die Vergleichbarkeit von Testfeldern und Projekten. Im Rahmen einer vertieften Analyse wurden diese Elemente für alle Testfelder und Projekte in einer Datenbank erfasst. Diese ist seit August 2021 über eine Website mit verschiedenen Filtermöglichkeiten zugänglich: [www.testfeldmonitor.de](http://www.testfeldmonitor.de).

Für eine Erkundung der Testfeld- und Projektlandschaft wurden übergeordnete Kernthemen herausgearbeitet und als zentrale Filter auf der Website implementiert:

- Automatisierung
- Vernetzung
- Gesellschaftliche Aspekte
- Datenschutz und Security
- Mischverkehr und verkehrliche Wirkung

Auf den meisten Testfeldern werden die Themen „Automatisierung“, „Vernetzung“ sowie „Mischverkehr und verkehrliche Wirkung“ untersucht. Bei den Projekten liegt ein zusätzlicher Schwerpunkt im Bereich „Gesellschaftliche Aspekte“. Jeweils nur ein sehr kleiner Teil der Testfelder und Projekte hat derzeit bei dem Kernthema „Datenschutz und Security“ einen Schwerpunkt der Aktivitäten gesetzt.

Hinsichtlich der Koordinierungs-, Abstimmungs- und Harmonisierungserfordernisse werden unter anderem Aspekte wie ein aktiv geförderter Austausch sowohl zwischen den Testfeldern als auch thematisch benachbarten Projekten vorgeschlagen. Ebenso werden basierend auf den derzeitigen Kernthemen und Forschungsschwerpunkten sowie der Verteilung der Testfelder sowohl räumlich, als auch bezogen auf die unterschiedlichen Straßenkategorien, Vorschläge für zukünftige Entwicklungsrichtungen und Förderstränge dargestellt.

Mit der Website können die Inhalte aus der Datenbank nicht nur Experten, sondern auch der breiten

Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden. Zudem wird durch die zentrale Informationsplattform nicht nur die Informationsverbreitung, sondern auch die Entwicklung neuer Ideen und gegebenenfalls zukünftiger Kooperationen gefördert.

## Digitales Testfeld Autobahn (DTA)

Um innovative Ideen im Zusammenhang mit dem automatisierten und vernetzten Fahren sowie der intelligenten Infrastruktur in einem realen Umfeld zu erproben und weiterentwickeln zu können, wurde durch das Bundesverkehrsministerium gemeinsam mit dem Verband der Automobilindustrie e.V., dem Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V. sowie dem Freistaat Bayern das Digitale Testfeld Autobahn (DTA) im Jahr 2015 initiiert. Dieses befindet sich auf einem etwa 140 Kilometer langen Abschnitt auf der A9 zwischen Nürnberg und München. Das DTA stellt neben weiteren digitalen Testfeldern im städtischen und ländlichen Raum eine optimale Umgebung für innovative Entwicklungen im Bereich des automatisierten und vernetzten Fahrens sowie der intelligenten Infrastruktur dar.

Durch die auf dem DTA vorhandene Kombination aus moderner Straßeninfrastruktur und der Verfügbarkeit modernster Übertragungstechnologien – beispielsweise einer lückenlosen Abdeckung von LTE-Mobilfunk – einer (abschnittsweisen) hochgenauen digitalen Karte sowie einer speziellen Beschilderung für den Positionsabgleich automatisierter Fahrzeuge, bietet es eine einzigartige,

technologieoffene Testumgebung für Automobilindustrie, Zulieferer, Telekommunikationsunternehmen und Forschungseinrichtungen.

Neben den Zielstellungen – wie der Unterstützung der Forschung und der Förderung von Innovationen – soll das Testfeld auch durch den direkten Kontakt mit dem alltäglichen Verkehr einen Beitrag zur Erhöhung der Akzeptanz hinsichtlich der neuen Technologien leisten.

Thematisch werden die Projekte und Aktivitäten auf dem DTA 2 Teilbereichen zugeordnet:

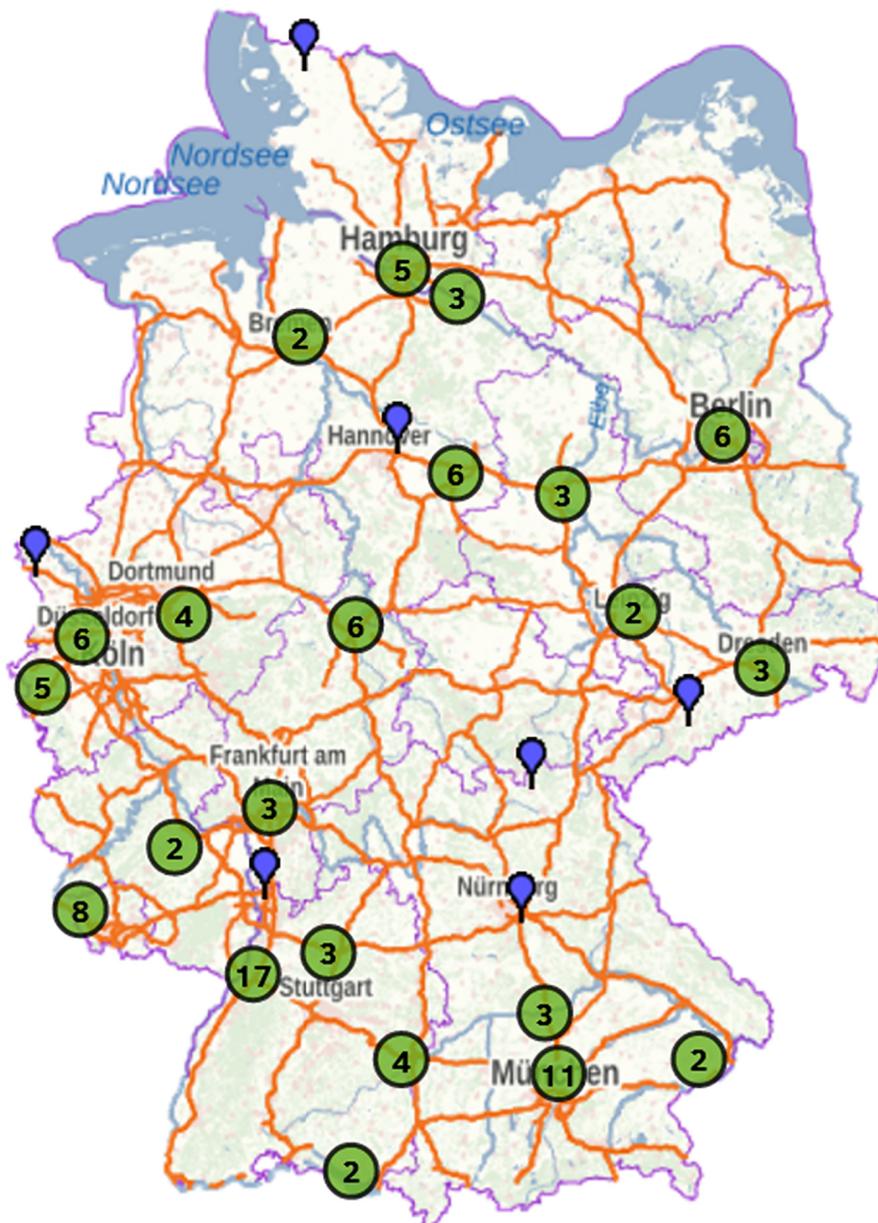
- Automatisiertes und Vernetztes Fahren (AVF)
- Intelligente Infrastruktur

Im Bereich des AVF werden Tests und Entwicklungen primär direkt von Unternehmen oder Forschungseinrichtungen im Allgemeinen im Rahmen von Förderprojekten durchgeführt. Im Bereich der Intelligen

ten Infrastruktur hingegen, erfolgt dies zumeist gemeinschaftlich mit den zuständigen Niederlassungen der Autobahn GmbH und der BAST.

Zur Intelligenten Infrastruktur wurden bislang insgesamt 12 Maßnahmen auf dem DTA umgesetzt und bewertet. Die Steckbriefe der Maßnahmen stehen auf der Internetseite der BAST in Deutsch und Englisch zur Verfügung. ■

[www.testfeldmonitor.de](http://www.testfeldmonitor.de)



Räumliche Verteilung der Testfelder und Projekte – Ausschnitt aus der Website zum Testfeldmonitoring

# Grünes Licht für nachhaltige Mobilität

Jan Schappacher, Bauingenieur und Ralf Meschede, Ingenieur der Elektrotechnik, stellvertretender Referatsleiter „Verkehrsbeeinflussung, Straßenbetrieb“



© marog-pixcells – stock.adobe.com

Um eine nachhaltige und klimafreundliche Mobilität zu initiieren und zu fördern, sind zahlreiche Veränderungsprozesse im Bereich des Straßenverkehrs erforderlich. Neben neuen Ansätzen bei der Gestaltung der Infrastruktur und Flächennutzung gewinnt hier auch das Mobilitätsmanagement eine wichtige Rolle. Für das innerörtliche Mobilitätsmanagement bedeutet dies, bewährte Elemente wie die Verkehrssteuerung durch Lichtsignalanlagen (LSA) weiterzuentwickeln und an die geänderten gesellschaftspolitischen Zielsetzungen anzupassen. Anwendungsorientierte Forschungsaktivitäten der BASt liefern hier vielfach die wissenschaftsbasierte Grundlage für wesentliche Weichenstellungen. Kürzlich wurden 2 aktuelle Projekte erfolgreich abgeschlossen.

## Moderne Priorisierungssysteme für den ÖPNV mittels C2X-Technologie

Die verkehrliche Priorisierung des ÖPNV an signalisierten Knotenpunkten ist eine seit den 1980er

Jahren angewendete Praxis zur Reduzierung der Reisezeiten, zur Verbesserung der Fahrplantreue und zur Erhöhung der Fahrtenzahl. Das damals entwickelte System hat sich über viele Jahre hinweg bewährt und wird großflächig in Kommunen eingesetzt. Doch die damalige Technik, basierend auf Meldepunkten entlang der Fahrstrecke, die auch heute noch überwiegend per Analogfunk übermittelt werden, ist reif für eine Modernisierung. Hierfür wurde im Auftrag der BASt eine Studie zur Nutzung der Fahrzeug-zu-Infrastruktur (C2X) Technologie für die ÖPNV Priorisierung durchgeführt. Als Ergebnisse wurden klare Handlungsempfehlungen sowie eine Roadmap zur Migration auf die neue Technologie erstellt. Die Nutzung der C2X-Kommunikation ermöglicht zum einen die Modernisierung und Vereinheitlichung der Datenübertragungssysteme und zum anderen ein Optimierungspotenzial für die ÖPNV-Priorisierung sowie weitere Synergien. Durch die Nutzung der C2X-Kommunikation zeichnet sich auch in anderen Bereichen eine „Revolution der Verkehrsbeeinflussung“ ab, die in der BASt auch im Rahmen weiterer Projekte untersucht wird.

## Sicherer Fußgängerschutz mit Lichtsignalanlagen in vielen Varianten

Zur sicheren Querung einer Straße kommen häufig Fußgängerschutzanlagen (F-LSA) zum Einsatz. Bei dieser einfachen Form von bedarfsgesteuerten Lichtsignalanlagen kann der querende Rad- und Fußverkehr jederzeit, durch eine Anforderung per Tastendruck, den Fahrverkehr zum Anhalten bringen um die Straße

gesichert zu überqueren. Für die Schaltung der F-LSA gibt es dabei in den Richtlinien für Lichtsignalanlagen (RiLSA, 2015) 3 Steuerungsvarianten:

- Bisheriger Standard mit der Grundstellung Grün für den Fahrbahnverkehr und Rot für den Querverkehr.
- Dunkel-Rot-Anlagen mit der Grundstellung Dunkel für den Fahrbahn- und Rot für den Querverkehr.
- Dunkel-Dunkel-Anlagen mit der Grundstellung Dunkel für den Fahrbahn- und den Querverkehr. Die Signale schalten sich nur nach Anforderung ein, der Betrieb wird durch Funktionsleuchten oder Hinweisschilder kenntlich gemacht.

Im Rahmen eines Forschungsprojekts konnten die Vorteile der Dunkel-Signalisierung für den Fahrbahnverkehr aufgezeigt werden und auch für den dunklen Signalgeber des Querverkehrs wurden positive Effekte hinsichtlich reduzierter Wartezeiten für alle Verkehrsteilnehmer erfasst. Die detaillierten Ergebnisse der Studie werden für die zukünftigen „Richtlinien für Lichtsignalanlagen“ und für Planungen in den Kommunen zur Verfügung stehen.

Als nächste Forschungsthemen für den Fuß- und Radverkehr wird die verbesserte „tasterlose“ Detektion für diese Verkehrsteilnehmer sowie die Anpassung der Fahrgeschwindigkeiten „Tempo 30“ untersucht. ■

# Anforderungen automatisierter Fahrzeuge an Fahrbahnmarkierungen und Verkehrsschilder

Huanyu Zhang, Verkehrsingenieurin, Referat „Straßenausstattung“,  
Dr. Sandra Jacobi, Physikerin, Referat „Umweltschutz“ und  
Dr. Jan Ritter, Bauingenieur, Referat „Straßenausstattung“



Fahrerassistenzsysteme leisten seit einigen Jahren einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der Verkehrssicherheit. Sie warnen die Fahrer oder geben Hinweise – beispielsweise bei unbeabsichtigtem Verlassen des Fahrstreifens. Der rasante technische Fortschritt in der Fahrzeugtechnologie macht die Einführung des automatisierten Fahrens absehbar, dem ebenfalls ein signifikanter Nutzen für die Verkehrssicherheit prognostiziert wird.

Fahrerassistenzsystemen und automatisierten Fahrfunktionen ist gemein, dass optische Sensoren zur Detektion von Markierungen und Schildern eingesetzt werden. So sind beispielsweise der Spurhalteassistent und die Geschwindigkeitsassistent auf Bilder von Markierungen und Schildern aus einer im Fahrzeug verbauten Frontkamera angewiesen. Auch für das automatisierte Fahren ist die Detektion von Markierungen auf absehbare Zeit ein wichtiges Element der Querpositionierung.

Wie für den Menschen gilt auch für die maschinelle Detektion: Nur wenn Markierungen und Schilder gut erkennbar sind, können die Sys-

teme uneingeschränkt funktionieren – verschlissene Markierungen und Schilder können dagegen eine Herausforderung darstellen. Das Sicherheitspotenzial dieser neuen Fahrzeugtechnologien kann somit nur vollständig ausgeschöpft werden, wenn Markierungen und Schilder gut von Sensoren erkannt werden. Die Fachdiskussion zur Frage, was exakt die Maschinenlesbarkeit bei Markierungen und Schildern ausmacht, ist auf nationaler und internationaler Ebene angelaufen und gewinnt an Dynamik.

Die BAST setzt einen Schwerpunkt ihrer Aktivitäten im Bereich der Straßenausstattung auf die Erforschung zukünftiger Anforderungen an Markierungen und Schilder. So wird derzeit in einem vom Bundesverkehrsministerium finanzierten und von der BAST begleiteten Forschungsprojekt die Interaktion zwischen Fahrzeugsensorik und Markierungen tiefergehend beleuchtet. In Fahrversuchen auf Autobahnen wird hierzu untersucht, welche Merkmale der Markierung für die Detektion mit Kamera und Lidar-Systemen (Light detection and ranging) maßgebend sind und bei welcher Abnutzung der Markierung die Sensorik an ihre Grenzen

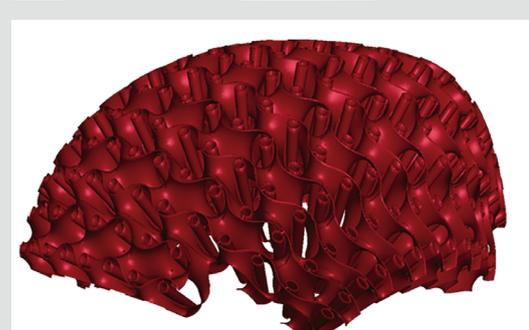
stößt. Von besonderem Interesse ist dabei, ob Mindestanforderungen für die maschinelle Detektion und Menschen als Fahrer deckungsgleich sind.

Die BAST bringt ihre Expertise auf europäischer und nationaler Ebene ein, um die Entwicklung aktiv mitzugestalten. Sie ist in einer von der Europäischen Kommission initiierten Expertengruppe vertreten, die sich im Rahmen der Umsetzung der neuen Richtlinie für das Straßeninfrastruktursicherheitsmanagement mit der Möglichkeit gemeinsamer europäischer Mindeststandards für Markierungen und Schilder befasst. Zudem wirkt sie im Europäischen Normungsinstitut CEN bei Aktivitäten zur Weiterentwicklung der Europäischen Normen für Markierungen im Hinblick auf das automatisierte Fahren mit. National nimmt in der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. unter Beteiligung der BAST aktuell ein neues Gremium seine Arbeit zum Thema Anforderungen des automatisierten Fahrens an Markierungen auf.

Angesichts der fortschreitenden fahrzeugtechnischen Entwicklungen wird eine Intensivierung der Aktivitäten in den kommenden Jahren erwartet. Die BAST wird diesen Prozess im Sinne der Förderung der Verkehrssicherheit aus einer neutralen, wissenschaftlichen Perspektive mitgestalten. Da dem automatisierten Fahren ein Potenzial zur Reduktion von Fahrzeugemissionen beigemessen wird, sind diese Bemühungen auch als Beitrag zur „green transition“ des Verkehrssektors zu sehen. ■



Maschinell detektierte Fahrbahnmarkierungen bei nächtlicher Fahrt auf einer Autobahn (Bild: ISAC GmbH, Aachen)



# Automatisierte, schützende, intelligente und umweltbewusste Fahrzeugtechnik

Automatisiertes Fahren – Ergebnisse aus L3Pilot

EU-Forschungsprojekt OSCCAR

Passiver Schutz ungeschützter Verkehrsteilnehmer bei Euro NCAP

PIONEERS – Sicherheitsequipment für Motorradfahrer

Navigationsdienste werden kooperativ

European ITS Platform –  
Intelligentes Verkehrsmanagement für Europa

Notbremsassistentz für schwere Nutzfahrzeuge –  
Anpassung internationaler Vorschriften

Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung

Green NCAP



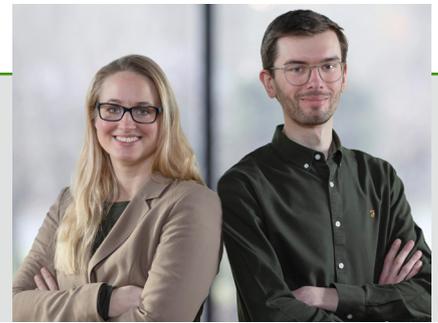
—  
Reference Handbook  
for harmonized  
ITS Core Service  
Deployment  
in Europe

**EUEP**  
European ITS Platform

Co-financed by the Connecting Europe  
Facility of the European Union

# Automatisiertes Fahren – Ergebnisse aus L3Pilot

Sandra Breunig, Physikerin, Referat „Passive Fahrzeugsicherheit, Biomechanik“ und Alexander Zerbe, M. Sc. Sensorik und kognitive Psychologie, Referat „Automatisiertes Fahren“



Fahrzeugautomatisierung wird oft verbunden mit mehr Verkehrssicherheit und Komfort sowie einem besseren Verkehrsfluss. Doch bis wir nur noch Passagiere und nicht mehr Fahrer sind, sind noch einige Probleme zu lösen und viele Fragestellungen zu erforschen. Die 34 Partner aus 10 Ländern des EU-geförderten Projektes L3Pilot, darunter die BAST, haben genau das getan: 4 Jahre lang haben sie Sicherheit, Effizienz und Nutzerfreundlichkeit des automatisierten Fahrens untersucht.



Bisher können moderne Autos ihre Fahrer bereits mit Assistenzsystemen beim Fahren unterstützen, die Verantwortung liegt jedoch weiterhin bei den Fahrern. In naher Zukunft werden erste Fahrzeuge auf dem Markt erwartet, die nach SAE Level 3 automatisiert im Stau auf der Autobahn fahren können: Das bedeutet, dass die Fahrer die Verantwortung innerhalb bestimmter Systemgrenzen an die Fahrzeuge abgeben und sich dann mit etwas anderem beschäftigen dürfen. Löst sich der Stau auf, müssen die Fahrer jedoch innerhalb kurzer Zeit das Steuer wieder übernehmen können.

## Probandenfahrten im Realverkehr

Für eine Studie zu Nutzerakzeptanz und Vertrauen in automatisierte Fahrzeuge ist die BAST in L3Pilot noch einen Schritt weiter gegangen: Die Probanden durften nicht nur im

Stau, sondern auch im fließenden Verkehr bei bis zu 130 Kilometern pro Stunde die Steuerung an die Automation im Versuchsfahrzeug übergeben und dann beispielsweise ihre Smartphones nutzen oder Zeitschriften lesen. Währenddessen war keine Überwachung der Automation nötig – eine akustische und optische Übernahmeaufforderung mussten die Probanden aber jederzeit wahrnehmen können. Die Probanden fuhren dreimal eine rund 100 Kilometer lange Strecke auf der Autobahn und konnten die Automation nach Belieben ein- und ausschalten. Wie oft sie die Automation tatsächlich nutzten, was sie währenddessen machten und ob sich ihr Verhalten und ihre Einstellung gegenüber der Automation mit der Zeit änderten, war Kern dieser Untersuchung. Coronabedingt musste die Studie nach 6 Probanden-Versuchen beendet werden, dennoch konnte in Einzelanalysen ein tiefer Einblick in Vertrauen, Akzeptanz und Verhalten der Probanden gewonnen werden.

Die Probanden schalteten die Automation fast durchgehend ein – zwischen 88 und 99 Prozent der Fahrzeit. Während der automatisierten Fahrt nutzten sie erwartungsgemäß am liebsten das eigene Smartphone, aber auch die bereitgestellten Zeitschriften, um sich zu beschäftigen. Oft schauten sie einfach nur aus dem Fenster: Dies kann bedeuten, dass sie die Automation überwachten oder aber die Landschaft ansehen wollten. Nur ein Proband nahm sich Arbeit mit ins Auto. Die produktive Nutzung der Fahrzeit während der Studie schien also für die Probanden nicht im Vordergrund zu stehen.

Wurden die Systemgrenzen der Automation erreicht – zum Beispiel vor Baustellen oder wenn die Autobahn verlassen werden sollte – forderte die Automation die Fahrer zur Übernahme der Steuerung auf. Dafür hatten sie 10 Sekunden Zeit und mussten in dieser Zeit das Smartphone oder die Zeitschrift weglegen und sich wieder im Verkehr orientieren, bevor sie die Automation schließlich abschalteten. Allen Probanden gelang die Übernahme, sie benötigten dafür zwischen 0,78 und 7,76 Sekunden. Allerdings blickten sie bei vielen Übernahmen nicht in die Rückspiegel, was je nach Verkehrssituation kritisch bewertet werden könnte.

Nur selten schalteten die Probanden die Automation von sich aus ab, beispielsweise wenn zügig ein Lkw überholt werden sollte. Die defensiv ausgelegte Automation im Versuchsfahrzeug schien manchem Probanden in solchen Situationen zu zögerlich gewesen zu sein.

## Nutzervertrauen und -akzeptanz

Ein Blick auf Nutzervertrauen und Nutzerakzeptanz zeigt, dass 5 der 6 Probanden von Anfang bis Ende der Studie Werte im mittleren bis hohen Bereich erreichten. Nur ein Proband berichtete ein zu Beginn geringes Vertrauen in das System, welches jedoch mit der Zeit stieg. Diese Ergebnisse decken sich mit der ausgiebigen Nutzung der Automation durch die Probanden.

In einer anschließenden Onlinestudie mit 147 Probanden wurde weiter untersucht, womit sich Nutzer von automatisierten Fahrzeugen am ehesten

beschäftigen würden und wie es um die Akzeptanz steht. Insgesamt wurde automatisiertes Fahren von den Probanden positiv bewertet: Männliche Teilnehmer zeigten eine signifikant höhere Akzeptanz als Teilnehmerinnen; ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen verschiedenen Altersgruppen konnte nicht gefunden werden.

Bei der Frage nach ihren bevorzugten Nebentätigkeiten während automatisierter Fahrten würden die Probanden am häufigsten die Umgebung betrachten. Essen und Trinken sowie die Nutzung des Smartphones folgten dahinter. Weniger als die Hälfte der Befragten würde Büroarbeit erledigen.

### Wirkungsbewertung

Die menschlichen und gesellschaftlichen Aspekte der Automatisierung wurden in L3Pilot auch im Bereich der Wirkungsbewertung betrachtet. Es wurde ein Puzzle aus vielen po-

tenziellen Veränderungen für die Mobilität, Verkehrssicherheit, Umwelt und Verkehrseffizienz durch eine zunehmende Automatisierung zusammengesetzt.

Eines dieser Puzzlestücke war die Analyse der zunächst sehr technisch anmutenden Beurteilung der Verkehrssicherheit bei zunehmender Automatisierung. Mit unterschiedlichen Daten beispielsweise aus Simulationen, aus den L3Pilot Testfahrten und auch Unfalldaten des heutigen Verkehrs – unter anderem aus den Datenbanken GIDAS und IGLAD – wurde im Projekt abgeschätzt, wie viele Menschenleben durch automatisiertes Fahren auf der Autobahn oder im urbanen Raum EU-weit gerettet oder schwerste Verletzungen verhindert werden könnten. Die teils sehr engen Systemgrenzen von Automatisierungen – zum Beispiel in Bezug auf Höchstgeschwindigkeit, Wetterbedingungen oder Anforderungen

an die Infrastruktur – schränken den Nutzen und die Nutzbarkeit entsprechender Fahrzeuge jedoch ein.

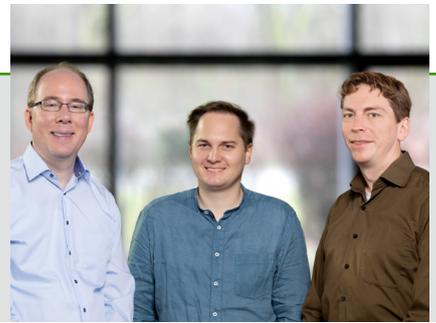
Umso erfreulicher ist es, dass gerade im städtischen Verkehr eine insgesamt positive Entwicklung für leichte, mittlere und schwere Unfälle zu erwarten ist – egal, wie groß der Anteil automatisierter Fahrzeuge auf den Straßen ist. Bei einem Anteil von 30 Prozent automatisierter Fahrzeuge im Stadtverkehr könnten demnach etwa 12 Prozent aller tödlichen und etwa 13 Prozent aller schweren Unfälle verhindert werden.

Die Sicherheit, Effizienz und Nutzerfreundlichkeit des automatisierten Fahrens werden im Nachfolgeprojekt Hi-Drive weitergedacht, erforscht und im Straßenverkehr erprobt. ■



# EU-Forschungsprojekt OSCCAR

Dr. Andre Eggers, Maschinenbauingenieur, Matthias Schießler, Maschinenbauingenieur und Julian Ott, Maschinenbauingenieur, Referat „Passive Fahrzeugsicherheit, Biomechanik“



Das Auto der Zukunft – hochautomatisiert oder gar autonom unterwegs – ermöglicht eine zurückgelehnte und entspannte Fahrt. Im Mischverkehr mit herkömmlichen Fahrzeugen sind aber weiterhin Unfälle zu erwarten. Deswegen muss die Sicherheit der Fahrzeuginsassen beispielsweise auch in Liegesitzen gewährleistet sein. Existierende Crashtest-Dummys wurden für aufrechte Sitzpositionen entwickelt und können Fahrzeuginsassen hinsichtlich der menschlichen Diversität nur bedingt abbilden. Im Rahmen des 42-monatigen EU Projekts OSCCAR (Future Occupant Safety for Crashes in Cars) wurde dafür ein neuartiger, virtueller, simulationsbasierter Ansatz zur Bewertung der Sicherheit von Insassen in zukünftigen Unfallszenarien entwickelt.

Durch die Verwendung von Simulationsmodellen des Menschen in einer virtuellen Prüfprozedur können sowohl Limitationen von Dummys umgangen wie auch die Diversität des Menschen besser abgebildet werden. Um in dieser Prozedur ein vergleichbares Maß an Vertrauen zu schaffen,

ist die korrekte Abbildung des realen Fahrzeugs durch das virtuelle Fahrzeugmodell von entscheidender Bedeutung. Um künftig virtuelle Testverfahren mit Menschmodellen für die Sicherheitsbewertung verwenden zu können, wurde unter Federführung der BAST ein standardisiertes Verfahren zur Gütebewertung des Fahrzeugsimulationsmodells entwickelt. Dafür ist die Definition von Ersatzlastfällen zur Validierung notwendig, die eine vergleichbare Belastung auf die Fahrzeugumgebung erzeugen und mit existierenden Testverfahren physisch getestet werden können – beispielsweise unter Verwendung von Dummys. Durch den Vergleich mit den korrespondierenden Simulationsergebnissen kann die Güte der Simulationsmodelle beurteilt werden. Fällt diese Überprüfung positiv aus, kann eine Sicherheitsbewertung mit Menschmodellen in diesem Simulationsmodell des Fahrzeugs erfolgen.

## Versuche

Entsprechend des zuvor beschriebenen Verfahrens zur Gütebewertung des Fahrzeugsimulationsmodells hat

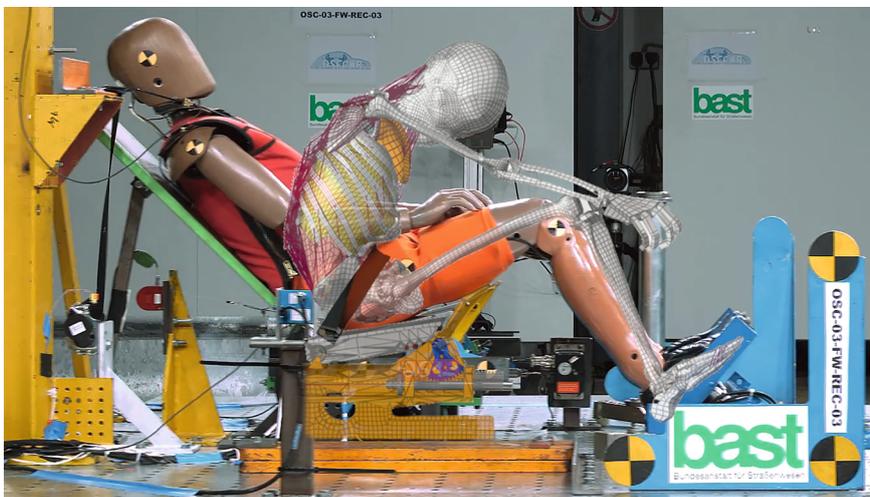
die BAST mehrere Versuchsserien zur Validierung durchgeführt. Hierbei kam ein neuartiges, speziell für liegende Sitzpositionen abgestimmtes Gurtsystem zum Einsatz, das das Submarining (Körper rutscht unter dem Beckengurt hindurch mit der Gefahr von schweren bis tödlichen Verletzungen) verhindern soll. Daneben wurde das entsprechende Simulationsmodell der Fahrzeugumgebung aufgebaut, kalibriert und schließlich für die Sicherheitsbewertung mit Menschmodellen freigegeben.

Für die Sicherheitsbewertung von Insassenschutzkonzepten mittels Menschmodellen sind harmonisierte Verletzungskriterien notwendig. Im Rahmen des Projekts konnte für Thoraxverletzungen – als Hauptursache für schwerverletzte oder getötete Fahrzeuginsassen – ein Vorschlag für ein harmonisiertes Kriterium entwickelt werden.

Mit dem in OSCCAR entwickelten neuartigen, simulationsbasierten Ansatz kann auch in Zukunft die Insassensicherheit in zurückgelehnten Sitzpositionen überprüft werden. Folgenden weiteren Forschungsbedarf hat das Projekt aufgezeigt:

- Notwendigkeit neuer biomechanischer Daten und Dummys für liegende Sitzposition.
- Zertifizierung von Menschmodellen sowie Harmonisierung der dazugehörigen Verletzungskriterien.

Das Verfahren zur Gütebewertung von Fahrzeugsimulationsmodellen sollte auf Basis zusätzlicher Lastfälle und Versuche evaluiert und weiterentwickelt werden. ■



Kombination von virtuellen Testverfahren mit Menschmodellen (Sicherheitsbewertung) und physischen Versuchen mit Dummys (Gütebewertung des Simulationsmodells)

## Passiver Schutz ungeschützter Verkehrsteilnehmer bei Euro NCAP

Oliver Zander, Ingenieur für Sicherheitstechnik, stellvertretender Referatsleiter, Julian Ott, Maschinenbauingenieur und Marcus Wisch, Mechatronik-Ingenieur, Referat „Passive Fahrzeugsicherheit, Biomechanik“



Die Arbeitsgruppe „Fußgänger-sicherheit“ hat unter maßgeblicher Beteiligung der BAST die Test- und Bewertungsverfahren des passiven kraftfahrzeugseitigen Schutzes ungeschützter Verkehrsteilnehmer beim Neufahrzeugbewertungsprogramm Euro NCAP umfassend überarbeitet.

Ziel ist zum einen die Erweiterung des Schutzbereiches auf Radfahrer als die zweite große Gruppe ungeschützter Verkehrsteilnehmer. Hierzu werden, den Ergebnissen eines BAST-Forschungsprojekts [1] folgend, die Kopfaufschlagzone in Fahrzeuginnenrichtung auf die Abwickellänge 2.500 Millimeter erweitert und die Testparameter ab der Dachkante als möglichem neuen Prüfbereich angepasst (Anprallwinkel 45 Grad). Vorgeschaltete Menschmodellsimulationen der BAST ergaben die Anwendbarkeit der geänderten Randbedingungen auch für Pedelec-fahrer, denen in der amtlichen Unfallstatistik ein immer größerer Stellenwert zuteilwird.

Bereiche auf der Windschutzscheibe werden nicht mehr per se mit einem geringen Verletzungsrisiko bewertet, sondern müssen fortan geprüft werden. Hierbei wird bis auf Weiteres dem oftmals vorliegenden atypischen Scheibenbruchverhalten durch mögliche Wiederholungstests Rechnung getragen.

Zum anderen wird durch die Einführung des neuen Beinprüfkörpers „aPLI“ (advanced Pedestrian Legform Impactor) eine biofidelere Bewertung von Verletzungen der unteren Extremitäten von Fußgängern

ermöglicht. Hinsichtlich seiner Verletzungsvorhersagemöglichkeiten entspricht der neue Beinprüfkörper im Wesentlichen einer unter Federführung der BAST im SENIORS-Projekt vorangetriebenen Entwicklung eines Beinprüfkörpers mit Oberkörpermasse [2]. Ein Abgleich der in einer ersten Phase vorgesehenen fahrzeugseitigen Anforderungen erfolgte durch die BAST anhand von vertieften Unfalluntersuchungen der GIDAS-Datenbank. Ferner entwickelte die BAST die Korridore für die dynamischen Zertifizierungstests mit dem aPLI [3]. Um die Lücke zwischen den Kopf- und Beinaufschlagbereichen an der Fahrzeugfront zu schließen und möglichen Fehlentwicklungen entgegenzuwirken, wird auch der Test mit dem Oberschenkelimpaktor beibehalten, wobei hier zukünftig ausschließlich eine Bewertung der maximalen Summenkraft als Indikator für das Risiko von Hüftgelenk- und Beckenverletzungen vorgenommen wird.

Die neuen Test- und Bewertungsverfahren finden aufgrund der Corona-Pandemie mit einjähriger Verspätung ab dem Jahr 2023 Anwendung. Im Zuge der Einführung erfolgt auch eine Umverteilung der zu vergebenden Punkte. Erstmals werden Verletzungen des Kopfes und der unteren Extremitäten gleich gewichtet. Weiterhin wird die Wichtigkeit des Oberschenkelimpaktors reduziert und die des Beinprüfkörpers erhöht.

Gleichzeitig ist es als eine Minimalanforderung für das Erreichen einer 5-Sterne-Gesamtbewertung bei Euro NCAP zukünftig erforder-

lich, in jedem der Aufschlagbereiche (Radfahrerkopf, Erwachsenenkopf, Kinderkopf, Hüfte, Oberschenkel, Knie mit Unterschenkel) Bewertungspunkte zu erzielen.

Die neuen Anforderungen nach Euro NCAP ermöglichen eine nahezu lückenlose Bewertung der Fahrzeugfront und bilden damit eine sinnvolle Ergänzung der geänderten Prüfvorschriften und gesetzlichen Mindestanforderungen im Zuge der Einführung der Allgemeinen Sicherheitsverordnung (EU) Nr. 2019/2144. ■

### Literatur

- [1] ZANDER O., HAMACHER M.: Revision of passive pedestrian test and assessment procedures to implement head protection of cyclists, Paper no. 17-0376 of 25th ESV conference proceedings, 2017
- [2] ZANDER O., WISCH M., OTT J., BURLEIGH M., PELDSCHUS S., HYND D.: Development and Evaluation of an Upper Body Mass (UBM) for the Flexible Pedestrian Legform Impactor (FlexPLI) and for Incorporation within Improved Test and Assessment Procedures – Results from SENIORS Paper no. IRC-19-54 of 2019 IRCOBI conference proceedings, 2019
- [3] ZANDER O., ELLWAY J.: aPLI Dynamic Certification, Euro NCAP Technical Bulletin 032, 2021

# PIONEERS – Sicherheitsequipment für Motorradfahrer

Daniel Huster, Fahrzeugtechnikingenieur und Sandra Breunig, Physikerin, Referat „Passive Fahrzeugsicherheit, Biomechanik“



Nach 3,5 Jahren feierte das unter dem Horizon2020 Programm geförderte Forschungsprojekt PIONEERS (Protective Innovations Of New Equipment for Enhanced Rider Safety) im Oktober 2021 seinen Projektabschluss in Barcelona – pandemiebedingt in hybrider Form. Die 16 Partner aus 6 Ländern haben sich in diesen Jahren mit der Sicherheit des Fahrens motorisierter Zweiräder (Powered Two Wheeler, PTW) auf europäischen Straßen befasst. Aufgrund der Analyseergebnisse europäischer und australischer Unfalldaten standen die Probleme und Bedürfnisse zweier Nutzergruppen im Fokus: Motorradfahrer, die hauptsächlich außerorts fahren und das Motorrad in ihrer Freizeit nutzen, und Rollerfahrer, die alltäglich im urbanen Straßenverkehr unterwegs sind.

Der Schutz von Zweiradfahrern wurde dabei von Kopf bis Fuß betrachtet. Dazu war es nötig, einen neuen, anknüpfbaren Ansatz für die Beschreibung und Zuordnung von Verletzungen in relevanten Körperregionen zu entwickeln. Daraus wurden Bedarf und Anforderungen an Schutzsysteme abgeleitet.

## Schutzkleidungselemente

Die im PIONEERS Projekt entwickelten Schutzkleidungselemente umfassen einen neuartigen Motorradhelm mit optimierter Energieaufnahme durch 3D-gedruckte Deformationsmaterialien, am Körper getragene und in Schutzkleidung integrierte Airbags mit verbessertem Schutz des Thorax, neuartige Hosen zum Schutz der Beckenregion sowie ein optimierter Touring Stiefel zum Schutz der Füße und Knöchel. Als fahrzeugseitige Schutzsysteme wurden für Aufsassen von Motorrollern Beinabdeckungen mit integrierten Energieaufnahmelementen entwickelt sowie ein Airbag zum Schutz der Beine bei seitlichen Kollisionen zwischen Motorrad und Pkw. Darüber hinaus untersuchten die Forscher den Effekt von autonomen Bremsassistenten an Motorrädern.

## Prüf- und Bewertungsmethoden

Für die weitere Verbesserung der Sicherheit von Zweiradfahrern wurden zudem bestehende Prüf- und Bewertungsmethoden angepasst oder neue Methoden definiert. Auf einem in 2019 in der BAST errichteten Fallturmprüfstand wird – zur realitätsnäheren Prüfung von Motorradhelmen – der zu prüfende Helm durch einen tangentialen Anprall in Rotation ver-



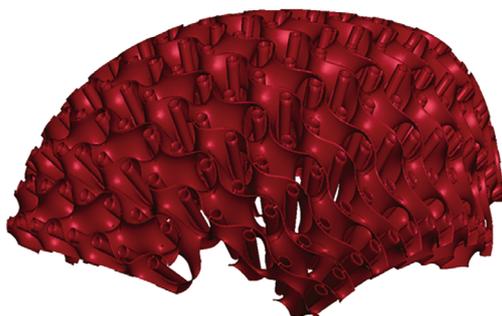
**PIONEERS**  
INNOVATION FOR RIDER SAFETY

setzt. Diese Bewegung bildet die Kinematik im realen Unfallgeschehen besser ab und wird als ein wichtiger Auslöser für Hirnverletzungen von Motorradfahrern gesehen. Entsprechend angepasste Messtechnik und Bewertungskriterien wurden im PIONEERS Projekt angewendet und analysiert.

Für die Bewertung von Halswirbelsäulenprotektoren (Neck Braces) existiert bisher keine einheitliche Prüfmethode. PIONEERS lieferte erste Ansätze, um die geometrische Kompatibilität zwischen Motorradhelm und Neck Brace zu analysieren. Da bisher keine allgemein anerkannte Bewertungsmethode für Neck Braces existiert, soll diese Bewertung zukünftig weiter ausgearbeitet werden.

Im letzten Schritt wurden der potenzielle gesellschaftliche Nutzen in Bezug auf eine verbesserte Verkehrssicherheit – zum Beispiel leichtere Verletzungen, weniger getötete Zweiradfahrer – und der daraus resultierende ökonomische Nutzen dreier prototypischer PIONEERS Systeme unter Zuhilfenahme neuer Verletzungsrisikofunktionen und simulativer Parameterstudien abgeschätzt. ■

[www.pioneers-project.eu](http://www.pioneers-project.eu)



# Navigationsdienste werden kooperativ

Peter Lubrich, Bauingenieur und Dr. Lutz Rittershaus, Physiker und Ingenieur, Referatsleiter „Vernetzte Mobilität“



Verkehrsteilnehmer benutzen in ihrer alltäglichen Mobilität zunehmend mobile oder fahrzeuggebundene Endgeräte – zum Beispiel Navigations-Apps. Die damit verbundene Steuerungsfunktion, beispielsweise bei der Routenwahl, tritt damit in direkte Konkurrenz zum kollektiven Verkehrsmanagement der öffentlichen Infrastrukturbetreiber – zum Beispiel der Verkehrszentralen. Navigations- und Routinganbieter agieren derzeit jedoch meist unabgestimmt und unabhängig von den Interessen und Strategien der öffentlichen Hand. Damit entstehen in der Praxis öfter Inkonsistenzen zwischen dem öffentlichen Verkehrsmanagement und privatwirtschaftlichen Informations- und Navigationsdiensten. Um diese Widersprüche aufzulösen, gibt es bereits Ansätze, unter anderem über die Standardisierung der auszutauschenden Daten. Allerdings stellen bislang nur wenige Infrastrukturbetreiber relevante Meldungen bereit, oder diese sind für die Navigationsdienste aufgrund mangelnder Kompatibilität nicht verwertbar, sodass das Ziel der konsistenten Information über alle Medien hinweg nicht erreicht wird.

## Kooperation von öffentlichen und privaten Akteuren

Eine Kooperation der verschiedenen, öffentlichen und privaten Partner geht diese Problematik nun an. Die Idee dahinter ist, dass die Partner ihre jeweiligen Fähigkeiten und Informationskanäle bestmöglich ausschöpfen, und für eine Harmonisierung und Effizienzsteigerung im Verkehrsmanagement einbringen. Dazu sind zunächst Kooperationskonzepte zu entwickeln, die

erfolgsversprechende Rahmenbedingungen und gemeinsame Strategien im Blick haben. In der Summe sollen damit die Verkehrsteilnehmer – in Zukunft auch das automatisierte Fahrzeug – eine abgestimmte und optimale Information über die verschiedenen Kanäle hinweg erhalten, die schließlich auch eine sichere, emissionsreduzierte und effiziente Mobilität fördert.

Bislang fehlen Kooperationskonzepte sowie flächendeckende Pilot- oder Praxiserfahrungen, die die Wirkung und Tauglichkeit solcher Konzepte nachweisen.

## Ein europäisches Proof-of-Concept

Die oben genannten Herausforderungen wurden im aktuellen, EU-kofinanzierten Projekt SOCRATES2.0 adressiert. Beteiligt waren lokale Straßenbehörden (unter anderem die Autobahndirektion Bayern) in 4 europäischen Ländern, internationale Anbieter von Verkehrsinformationsservices, Automobilhersteller und IT-Unternehmen. Neben einer gemeinsamen Abstimmung eines Kooperationsrahmenwerkes wurden innovative Dienste für ein kooperatives Verkehrsmanagement ent-

wickelt, getestet und evaluiert. Die Dienste umfassen das strategiekonforme Routing, Umweltzonen- und Arbeitsstelleninformationen sowie virtuelle Parkleitsysteme und Streckenbeeinflussungsanlagen. Sie basieren auf einem gegenseitigen Austausch von Daten, auf einer Koordinierung von konventionellen Kommunikationskanälen wie Wechselverkehrszeichen, modernen Anwendungen wie Smartphone-Apps, Connectivity-Funktionen in den Fahrzeugen sowie Social Media. In den Tests mit einer Beteiligung von mehr als 20.000 Verkehrsteilnehmern in den Regionen München, Amsterdam, Antwerpen und Kopenhagen, wurde die Akzeptanz und Praxistauglichkeit der entwickelten kooperativen Dienste untersucht.

Die BASt hat im Projekt das Kooperationskonzept mitentwickelt und die Validierungsphase geleitet. Zudem verfolgt die BASt eine weitere Einführung des Konzeptes, unter anderem in aktuellen Folgeprojekten mit weiteren Kommunen und Regionen in Deutschland. ■

<https://socrates2.org>



Konzept für ein kooperatives Verkehrsmanagement

# European ITS Platform – Intelligentes Verkehrsmanagement für Europa

Dr. Torsten Geißler, Volkswirt, stellvertretender Referatsleiter, Farzin Godarzi, Ingenieur für Elektrotechnik, Peter Lubrich, Bauingenieur, Referat „Vernetzte Mobilität“, Orestis Giamarelos, Bauingenieur und Peter Gusia, Bauingenieur, Referat „Verkehrsbeeinflussung und Straßenbetrieb“

Die Erwartungen an die Leistungsfähigkeit der europäischen Verkehrsinfrastruktur steigen aufgrund der wachsenden Mobilität der Bevölkerung und des zunehmenden Güterverkehrsaufkommens. Um Versorgungssicherheit, störungsfreie Lieferketten und individuelle Reisefreiheit im Einklang mit ambitionierten Zielen bei Klimaschutz und Verkehrssicherheit in Europa zu gewährleisten, ist ein intelligentes Verkehrsmanagement auf dem hochrangigen Straßennetz der EU unabdingbar.

Intelligente Verkehrssysteme (IVS, englisch ITS, siehe IVS-Richtlinie 2010/40/EU), grenz- und zuständigkeitsübergreifender Austausch von dynamischen Verkehrsdaten in standardisierten Formaten sowie harmonisierte Anforderungen an Dienste sind wesentliche Bestandteile eines intelligenten Verkehrsmanagements. Verkehrsströme können so besser gesteuert, die Infrastruktur optimal ausgelastet und die Nutzer laufend informiert werden. Technisch-organisatorische Vorreiter sind IVS-Korridore auf den Straßen des transeuropäischen Kernnetzes. Die

Europäische Kommission fördert dort die harmonisierte Umsetzung von IVS-Diensten durch Bundes- und Landesbehörden, Infrastrukturbetreiber und weitere private und öffentliche Partner – zum Beispiel Logistikdrehscheiben.

## Ziele, Zwecke und Aufgaben der Plattform

Die European ITS Platform (EU EIP) organisiert das Wissensmanagement für IVS und erleichtert so die Festlegung des allgemein anerkannten Standes der Technik als Harmonisierungsbasis. Der Aufbau, die Erweiterung und die Pflege von Harmonisierungswerkzeugen nehmen eine zentrale Rolle in der Plattform ein. Sie ermöglicht den Austausch und die beschleunigte Diffusion von praxisorientiertem (Erfahrungs-) Wissen. Hierzu dienen auch das ITS Forum (Utrecht 2018) und die ITS-Forum Webinar-Reihe 2020/21. Zudem ist die EU EIP ein wichtiges Bindeglied bei der Umsetzung der Delegierten Verordnungen unter der IVS-Richtlinie – unter anderem Echtzeit-Verkehrsinformationen, sicherheitsrelevante Verkehrsinformationen, multimodale Reiseinformationen sowie intelligentes Lkw-Parken. Nicht zuletzt sind das Monitoring der IVS-Umsetzung und die Wirkungsbewertung – IVS-Wirkungen auf Verkehrssicherheit, Verkehrsfluss, klimaw- und umweltrelevante Emissionen – wesentliche Aufgaben, in denen sich die

Plattform engagiert ([www.its-platform.eu/achievement](http://www.its-platform.eu/achievement)).

## BASt-Engagement

Die BASt hat in EU EIP 3 Arbeitsgruppen koordiniert: Monitoring und Wissensverbreitung (umfasst auch die Kooperation zwischen den IVS-Korridoren), Qualität europäischer IVS-Dienste sowie Unterstützung der Umsetzung kooperativer Systeme und Dienste (C-ITS). Darüber hinaus hat die BASt ihre Expertise in Arbeitsgruppen zur Evaluierung, pilothaften Implementierung eines IVS-Korridors in Ost-West-Richtung sowie zur Harmonisierung nationaler Zugangspunkte (NAP) und Schnittstellen für den Datenaustausch eingebracht. Auch die Frage, mit welchen Maßnahmen von Seiten der Verkehrsinfrastruktur das Automatisierte Fahren erleichtert werden kann, hat zum BASt-Beitrag gehört.

## Referenzhandbuch für den Einsatz von IVS-Kerndiensten in Europa

Ein Meilenstein von EU EIP bei der Harmonisierung von IVS ist die Veröffentlichung des „Referenzhandbuchs für die harmonisierte Einführung von IVS-Kerndiensten in Europa“. Das Referenzhandbuch umfasst eine Reihe von Anleitungen und Empfehlungen für Straßenverkehrsbehörden und -betreiber, um sie bei der Konzeption, der Einführung, der Installation und dem Betrieb von IVS-Diensten zu unterstützen. Damit soll die Einhaltung der europäischen Rechtsvorgaben gewährleistet werden.

Das Referenzhandbuch basiert auf den bestehenden „Deployment Gui-



Von links: Peter Gusia, Orestis Giamarelos, Dr. Torsten Geißler und Farzin Godarzi

delines“, wobei deren Inhalt aktualisiert und erweitert wurde. Es enthält 14 IVS-Dienste, unterteilt in 3 Kategorien: Fahrgastinformationsdienste, Verkehrsmanagementdienste und Güterverkehrs- und Logistikdienste. Für jeden Dienst wird ein detailliertes Dienstprofil erstellt, gefolgt von einer Reihe von Anforderungen und Empfehlungen. Die Einhaltung der delegierten Verordnungen der IVS-Richtlinie wurde sichergestellt.

Die traditionellen Domänen der Straßenbetreiber haben sich für den Daten- und Informationsaustausch den Akteuren außerhalb des eigenen Zuständigkeitsbereichs geöffnet. Das Referenzhandbuch nimmt die Ergebnisse der europäischen C-ITS-Plattform (C-ROADS) auf, sodass die Nutzer des Handbuchs sehen können, wie sich andere Datendienste und künftige C-ITS-Dienste auf ihre Systeme und ihren Betrieb auswirken. Darüber hinaus wurden „Empfohlene DATEX II-Dienstprofile“ für die im Referenzhandbuch enthaltenen IVS-Dienste entwickelt ([www.its-platform.eu/reference-handbook](http://www.its-platform.eu/reference-handbook)).

### Qualitätspakete für europäische IVS-Dienste

Die BAST hat in EU EIP eine Reihe von Qualitätsrahmenwerken für IVS-Daten und Dienste entworfen. Diese Qualitätspakete beschäftigen sich mit Definitionen und Konzepten für die Qualitätssicherung und -bewertung von solchen Daten und Diensten. Der Hintergrund ist, dass die Effizienz und Akzeptanz von IVS-Diensten stark von gewissen Qualitätskriterien aus der Sicht eines Reisenden abhängen – beispielsweise ausgedrückt als Latenzzeiten, Fehlerquoten oder Abdeckungsraten. Weiter basieren solche Dienste auf der Datenbereitstellung aus verschiedenen Quellen, sodass ein klarer Zusammenhang zwischen

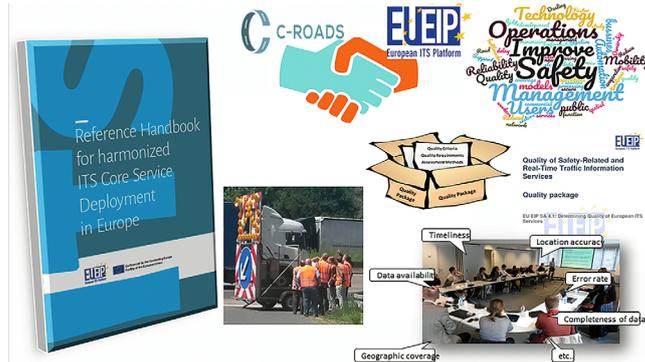
der Qualität eines IVS-Dienstes und den zugrunde liegenden Daten besteht.

Die qualitätsrelevanten Definitionen und Konzepte beruhen auf den Erfahrungen aus dem IVS-Betrieb der europäischen Partner sowie dem Fachwissen von öffentlichen und privaten Akteuren. Zielgruppe der Qualitätspakete sind hauptsächlich Datenmanager und Datenspezialisten – beispielsweise bei den Verkehrsmanagementzentralen oder bei den Nationalen Zugangspunkten, wie dem MDM in Deutschland.

Anfangend mit konventionellen IVS-Einsatzbereichen, wie der Echtzeit-Reisendeninformation im Straßenverkehr, kamen im Projektverlauf weitere Themen und Akteure hinzu, wie die multimodale Reiseplanung oder C-ITS-Dienste. Insgesamt liegen nun Qualitätspakete für die gesamte Bandbreite aktueller IVS vor. Die parallele Einbindung von Akteuren aus verschiedenen Zuständigkeiten und Ländern, unter Koordination der BAST, hat zu einer hohen Akzeptanz dieser Rahmenwerke zur Qualitätssicherung und -bewertung von IVS beigetragen.

### Integration von C-ITS in die betrieblichen Prozesse der Straßenbehörden und -betreiber

Um die Einführung von C-ITS-Diensten zu unterstützen, eine erfolgreiche Anleitung für deren Einführung und Erprobung zu erstellen und nach erfolgreichen Tests allmählich zum regulären Betrieb überzugehen, wurde eine ganzheitliche Sicht auf alle damit zusammenhängenden technologischen Entwicklungen, von IVS zu C-ITS geschaffen und im



Ausgewählte Ergebnisse der European ITS Plattform

Rahmen einer strukturierten Zusammenarbeit mit der C-Roads Plattform bearbeitet. Die C-Roads Plattform ist eine gemeinsame Initiative der europäischen Mitgliedsstaaten zur Pilotierung und Erstumsetzung von C-ITS-Diensten inklusive der Harmonisierung von Dienstespezifikationen, Kommunikationsprofilen und dem Testen der Interoperabilität zwischen Straßenbetreibern und der Automobilindustrie.

Als eines der wesentlichen Ergebnisse dieser Zusammenarbeit wurde ein Einführungsleitfaden entwickelt, der als erster Ausgangspunkt für Straßenverkehrsbehörden und -betreiber dienen soll, die an der Integration von C-ITS-Diensten in ihrem Geschäftsbereich interessiert sind. Der Einführungsleitfaden konsolidiert die Erfahrungen aus den strategischen Herausforderungen in technischen, organisatorischen und rechtlichen Fragen, aus nationaler und grenzüberschreitender Sicht. Der Leitfaden bietet eine Reihe von Empfehlungen für die Komplexität von C-ITS-bezogenen Entscheidungsprozessen mit allen dazugehörigen Schritten: von den vorbereitenden Aspekten und der Entscheidung über Entwurf und Planung bis hin zur Umsetzung und dem Betrieb und dem letzten Schritt, der Bewertung und dem Monitoring des gesamten Prozesses. ■

# Notbremsassistentz für schwere Nutzfahrzeuge – Anpassung internationaler Vorschriften

Dr. Patrick Seiniger, Maschinenbauingenieur, stellvertretender Referatsleiter und Daniel Sander, Maschinenbauingenieur, Referat „Aktive Fahrzeugsicherheit und Fahrerassistenzsysteme“



Unfälle mit auffahrenden Lkw haben aufgrund der hohen Masse des aufprallenden Fahrzeugs und der oft hohen Relativgeschwindigkeit häufig dramatische Folgen, egal ob das getroffene Fahrzeug ein Pkw oder selbst ein schweres Fahrzeug ist. Daher sind Notbremsassistentzsysteme, die Lkw-Fahrer vor kritischen Situationen warnen und notfalls automatisch in die Bremse eingreifen, bereits seit vielen Jahren vorgeschrieben. Diese Systeme waren die ersten Assistenzsysteme, die tatsächlich für die Zulassung von Fahrzeugen verpflichtend waren.

## Frühe Vorschriften – Vorteil und Nachteil

Seit November 2018 darf kein Lkw oder Bus ohne diesen Schutz in der europäischen Union neu zum Verkehr zugelassen werden, nachdem die Systeme bereits schrittweise ab 2013 für die Typgenehmigung von Lkw eingeführt wurden – also die Genehmigung eines in Großserie produzierten Fahrzeugs für den Verkehr.

Genau darin aber liegt die Krux: Die entsprechenden technischen Vorschriften wurden zu Beginn des letzten Jahrzehnts fertiggestellt, als die Technologie hierfür noch in den Kinderschuhen steckte. Zum Beispiel war es für die ersten Systeme schwierig, stehende Fahrzeuge von anderen metallischen Objekten – wie Schutzplanken oder Verkehrsschildern – zu unterscheiden, sodass für die Typgenehmigung und Zulassung nur ein kleiner automatischer Geschwindigkeitsabbau auf stehende Fahrzeuge gefordert werden konnte.

Im Ergebnis zeigte sich, dass die Notbremsassistentzsysteme zwar sehr gut dazu beitragen, Unfälle zu verhindern oder Unfallfolgen abzumildern, aber nicht in allen Situationen, und vor allem nicht bei stehenden Fahrzeugen, wie es am Stauende oft vorkommt. Diese Unfallsituation ist in den Unfallzahlen deutlich überrepräsentiert und leider auch immer noch mit vielen

schweren Verletzungen und Todesfällen verbunden.

## Warum ist eine Anpassung wichtig?

Deutschland ist ein Transitland für Lkw, daher finden hier besonders viele Unfälle statt. Bereits 2016 begann die BAST im Auftrag des Bundesverkehrsministeriums zu erforschen, welche Anforderungen nach dem Stand der Technik und aus Sicht der Verkehrssicherheit an eine Notbremsassistentz für schwere Fahrzeuge gestellt werden könnten. Die Ergebnisse dieser Forschungsarbeiten zeigten, dass die Anforderungen deutlich erhöht werden könnten, ohne die Fahrzeughersteller vor unlösbare technische Probleme zu stellen.

Die Prozesse zur Änderung von fahrzeugtechnischen Vorschriften sind komplex; die entsprechenden Diskussionen laufen unter Beteiligung von Nationalstaaten und NGOs – unter anderem Industrie- und Verkehrssicherheitsverbände – weltweit auf der Ebene der Vereinten Nationen (UN). Anschließend muss die entsprechende Vorschrift noch durch die europäische Union verpflichtend eingeführt werden.

## Kommende Anforderungen an Notbremsassistentz

Im Jahr 2020 konnte die notwendige Mehrheit für die Einführung einer Arbeitsgruppe auf UN-Ebene zur Anpassung der Vorschriften erreicht werden. Diese Gruppe wird geleitet von Japan und Deutschland – vertreten durch die BAST – und hat fristgerecht einen Vorschriftenentwurf erarbeitet, der Folgendes vorsieht:

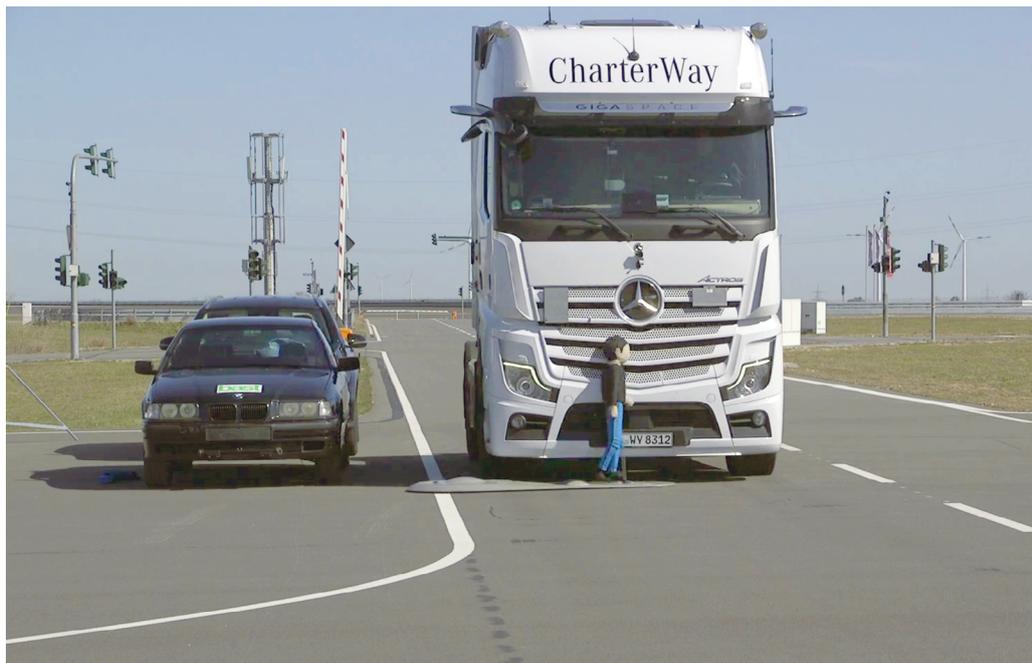


Aktueller MAN TGX, voll beladen, bei einer Bremsung aus 90 Kilometer pro Stunde auf das stehende Fahrzeug-Zielobjekt, das hier mit 10 Kilometern pro Stunde Restgeschwindigkeit leicht touchiert wurde – Vorversuche der BAST für Euro NCAP im November 2021

- Kollisionsvermeidung bis zu einer Differenzgeschwindigkeit von 70 Kilometer pro Stunde, egal ob es sich beim Unfallgegner um ein stehendes oder bewegtes Fahrzeug handelt.
- Bei einer Differenzgeschwindigkeit von 80 Kilometer pro Stunde darf die Kollisionsgeschwindigkeit nicht mehr als 28 Kilometer pro Stunde betragen, bei 90 Kilometer pro Stunde nicht mehr als 42 Kilometer pro Stunde (Angaben für schwere Lkw und Busse).
- Erstmals werden die Systeme nicht nur bei 80 Kilometer pro Stunde getestet (der in fast ganz Europa vorgeschriebenen Höchstgeschwindigkeit für Lkw), sondern auch bei der maximalen Fahrgeschwindigkeit von Lkw mit 90 Kilometer pro Stunde. Studien zeigen, dass in der Praxis Lkw ganz überwiegend mit knapp 90 Kilometer pro Stunde unterwegs sind.
- Vermeidung von Kollisionen mit Fußgängern bis zu 20 Kilometer pro Stunde – als erster Schritt, da die Technologie hierfür noch neu ist.
- Weitgehende Umstrukturierung der Vorschrift, sodass die Anforderungen nicht nur in einem einzigen Testfall geprüft werden, sondern über den gesamten Geschwindigkeitsbereich.

Damit ist die Vorschriftensituation weitgehend an den Stand der Technik angepasst und zwar insbesondere vor dem Hintergrund, dass Vorschriften Minimalforderungen aufstellen. Ein Übertreffen der Minimalforderungen durch Fahrzeughersteller ist immer möglich.

Dieser Vorschriftenentwurf durchläuft nun die Prozesse der Vereinten Nationen und wird vermutlich Ende 2022 in Kraft treten. Etwa 2 Jahre



*Aktueller Mercedes-Benz Actros (leer) bei einer Bremsung auf den bewegten Kinder-Dummy – Vorversuche der BAST für Euro NCAP und Vorschriften im April 2021, Kollisionen wurden bis zu einer Fahrgeschwindigkeit von etwa 20 Kilometer pro Stunde vermieden: Dieser Lkw-Typ ist weltweit der erste Typ mit automatischer Notbremsung auf bewegte Fußgänger*

später gilt die Vorschrift dann für alle neu genehmigten Fahrzeuge und noch etwas später für alle Neuzulassungen.

### Gültig erst in einigen Jahren – was passiert bis dahin?

Fahrzeugtechnische Vorschriften sind ein mächtiges Werkzeug für die Verkehrssicherheit, da sie Mindestanforderungen für alle Fahrzeuge vorgeben, die auf den Markt kommen. Sie sind aufgrund des komplexen Entstehungsprozesses und der Übergangsbestimmungen aber auch ein langsames Werkzeug.

In der Zwischenzeit können Verbraucherschutzorganisationen wie Euro NCAP helfen, den Fahrzeugherstellern eine Art von Anreiz für die Übererfüllung der aktuellen oder frühzeitige Erfüllung der neuen Vorschriften zu geben. Derzeit entwickelt Euro NCAP ein Konzept für eine Lkw-Bewertung und -zertifizierung unter anderem für Autobahnen, die Spe-

ditoren und auch Kommunen eine Einschätzung der Verkehrssicherheit von Lkw an die Hand geben soll. Kernbestandteil dieser Zertifizierung wird die kommende Vorschriftenlage sein. ■



Sigrid Limbeck, Verfahrensingenieurin, Referat „Emissionen im Kraftfahrzeugbereich“

Die Abgasuntersuchung (AU) für Kraftfahrzeuge ist ein Bestandteil der Hauptuntersuchung, deren Grundlage die Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) ist. In der zugehörigen Richtlinie wird genau festgelegt, wie diese Untersuchung durchzuführen ist, mit dem Ziel beispielsweise für Dieselfahrzeuge, unter anderem die Reinigungswirkung des im Fahrzeug verbauten Filters zu überprüfen. Bei einem funktionsfähigen Filter werden 95 bis 99 Prozent der Partikel aus dem Abgas entfernt.

Aktuell ist bei Dieselfahrzeugen eine Trübungsmessung die Grundlage für die Untersuchung. Die Ablösung der für neu entwickelte Fahrzeuge unzureichenden Trübungsmessung durch die Partikelanzahlmessung ist angekündigt. Hier werden die Rußpartikel gezählt, die am Endrohr des Fahrzeugs emittiert werden. Diese winzigen Partikel liegen in einem Größenbereich zwischen 25 bis 200 Nanometer. Damit sind sie lungengängig und werden von Medizinern als gesundheitsgefährdend und krebserregend eingestuft.

## Messung der Partikelanzahl in der Abgasuntersuchung

Die Einführung der Partikelanzahlmessung von der Applikation der Messmethode auf die AU-Messung bis hin zur Einführung in den Prüfstellen erfordert das Zusammenwirken verschiedenster Institutionen. Dazu zählen unter anderem das Bundesverkehrsministerium, Prüfstellen, Messgerätehersteller, die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Eichbehörden sowie Kalibrierlabore. Diese Institutionen wurden in einer Arbeitsgruppe, die von BASt und PTB geleitet wird, zusammengeführt, um die Einführung der Messung zu realisieren. Im ersten Schritt muss eine Messmethode für die Rußpartikel festgelegt werden. Dazu müssen geeignete Messgeräte vorhanden sein, und es muss festgelegt werden, wie die Messung erfolgt. Die Bewertung der Messergebnisse ist erst möglich, wenn ein Grenzwert vorliegt, nach dem ein Filter als funktionsfähig oder defekt beurteilt werden kann. Die BASt hat im Rahmen von 2 Forschungsprojekten ein Messverfahren, eine Mess-

zeugen sind wenige Prozent defekte Fahrzeuge für über 90 Prozent der Abgaspartikelemissionen verantwortlich.

Aktuell entwickeln die Messgerätehersteller passende Geräte für die AU und bringen diese auf den Markt. Der Umfang des Inverkehrbringens der Geräte ist groß, da mehr als 30.000 Prüfstellen in Deutschland eine AU durchführen. Zudem müssen die Geräte baumustergeprüft sein und jährlich kalibriert werden.

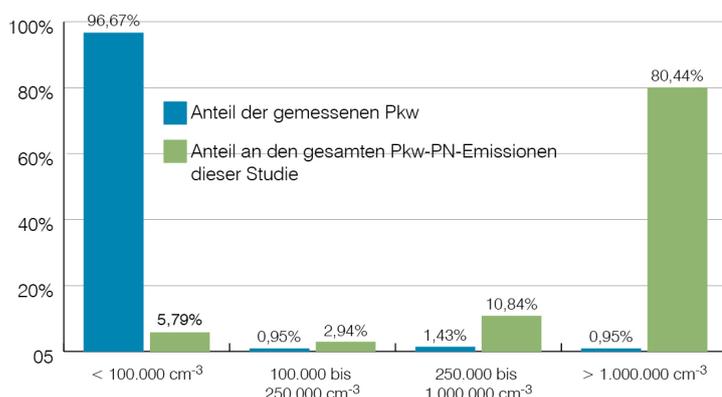
## Fazit und Ausblick

Die Einführung der Partikelanzahlmessung in der AU ist technisch erforderlich, um defekte Partikelfilter zu ermitteln. Der Aufwand, der für die Umstellung auf die neue Messmethode nötig ist, ist sehr groß. Die Anwendung der Messung auf alle Dieselmotorkraftfahrzeuge, Pkw und Lkw erfordert im Vorfeld der Einführung die Einbindung vieler Stakeholder um möglichst alle Faktoren der Änderung dieser Messung zu berücksichtigen.

Da ein einziger defekter Dieselfilter die Emissionen von 100 bis 1.000 Pkw mit intaktem Filter verursacht, ist die Partikelanzahlmessung im Rahmen der AU ein wichtiger Beitrag zur Reduzierung der Partikelemissionen in unserer Luft. ■

## Literatur

[1] Partikelanzahlmessungen im Rahmen der Weiterentwicklung der Abgasuntersuchung (2020), [www.bast.de/abgasuntersuchung](http://www.bast.de/abgasuntersuchung)



Ergebnis aus der Monitoringstudie 2020 – Zuordnung Partikelanzahl zu Anteil der Kraftfahrzeuge (Quelle: VdTÜV [1])

prozedur und einen Grenzwert erarbeitet und dem Bundesverkehrsministerium übermittelt. Ein Ergebnis der Studien zeigt den Nutzen der Untersuchung in der AU sehr anschaulich: Bei einer Untersuchung mit über 500 Kraftfahr-

# Green NCAP



Uwe Ellmers, Physiker, Referatsleiter „Emissionen im Kraftfahrzeugbereich“

Im Bereich der Fahrzeugsicherheit ist Euro NCAP – ein unabhängiges Konsortium nach belgischem Recht mit Vertretern von 7 europäischen Regierungen, Verbraucherverbänden, Automobilclubs und der Versicherungswirtschaft – seit vielen Jahrzehnten eine bekannte und etablierte Institution. Seit 2017 haben einige Mitglieder von Euro NCAP daraus eine auf den Umweltbereich ausgerichtete zweite Säule gebildet – Green NCAP.

Green NCAP ist eine Initiative, die sich mit der Bewertung des Abgas- und Umweltverhaltens aktueller Pkw befasst. Die Mitglieder aus verschiedenen europäischen Ländern und Institutionen haben sich zum Ziel gesetzt, neu auf den Markt kommende Fahrzeuge hinsichtlich ihres realen Abgasverhaltens und ihrer Energieeffizienz zu bewerten – das heißt auch ihres Ressourcenverbrauchs. Dies sollte nicht durch eine Wiederholung der in der Typgenehmigung festgelegten Prozeduren und Schadstoffgrenzen erfolgen, sondern dem Anspruch des Konsortiums folgend deutlich mehr Bereiche im Motorlastkennfeld abdecken. Dieser Anspruch wurde sowohl bei der Entwicklung der Testprozeduren im Labor und für Realfahrten als auch bei der Grenzwertsetzung für die gemessenen Abgaskomponenten verwirklicht. So wird beispielsweise die Geschwindigkeit, die Nutzlast oder auch die Dynamik verändert oder ein Test bei einer niedrigen Temperatur von -7 Grad Celsius durchgeführt. Im letzten Jahr wurde zusätzlich eine dritte Bewertungsgröße hinzugekommen – die Treibhausgase.

Alle Ergebnisse der durchgeführten Tests auf dem Rollenprüfstand und der Realfahrten werden in eine Beurteilungsmatrix eingespeist. So entsteht am Ende für die Verbraucher eine solide und umfassende Bewertung von sehr unterschiedlichen Fahrzeugen hinsichtlich Antriebskonzept, Gewicht und Form. Die Spannweite reicht von herkömmlichen Verbrennungsmotoren über Bi-Fuel-Motoren, Hybridantriebe bis zu rein elektrischen Fahrzeugen. Das geht soweit, dass sogar ein mit Brennstoffzellen-Technologie angetriebenes Fahrzeug getestet wurde.

Ein grundlegender Maßstab für die Bewertung ist die Halbierung der aktuellen Grenzwerte im Bereich der reglementierten Schadstoffe Kohlenmonoxid (CO), Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>), Kohlenwasserstoffe (THC), Partikelanzahl (PN), Partikelmasse (PM). Darüber hinaus werden aber auch die in Europa bislang (noch) nicht reglementierten Klimagase Distickstoffmonoxid (Lachgas, N<sub>2</sub>O), Ammoniak (NH<sub>3</sub>) und Methan (CH<sub>4</sub>) gemessen und bewertet.

Wenig überraschend kann als Zwischenfazit festgehalten werden, dass rein elektrisch angetriebene Fahrzeuge an der Spitze der Bewertung liegen, gefolgt von Hybrid-Fahrzeugen. Am Ende der Skala rangieren die schweren großen

Fahrzeuge, wie SUVs oder Vans mit konventionellen Antrieben.

Insgesamt konnten in dem Programm bislang circa 60 Fahrzeuge untersucht und bewertet werden. Entscheidend dazu beigetragen hat das von der EU finanzierte Projekt „Green Vehicle Index (GVI)“. Die Zahl der getesteten Fahrzeuge soll in den nächsten Jahren stark ansteigen.

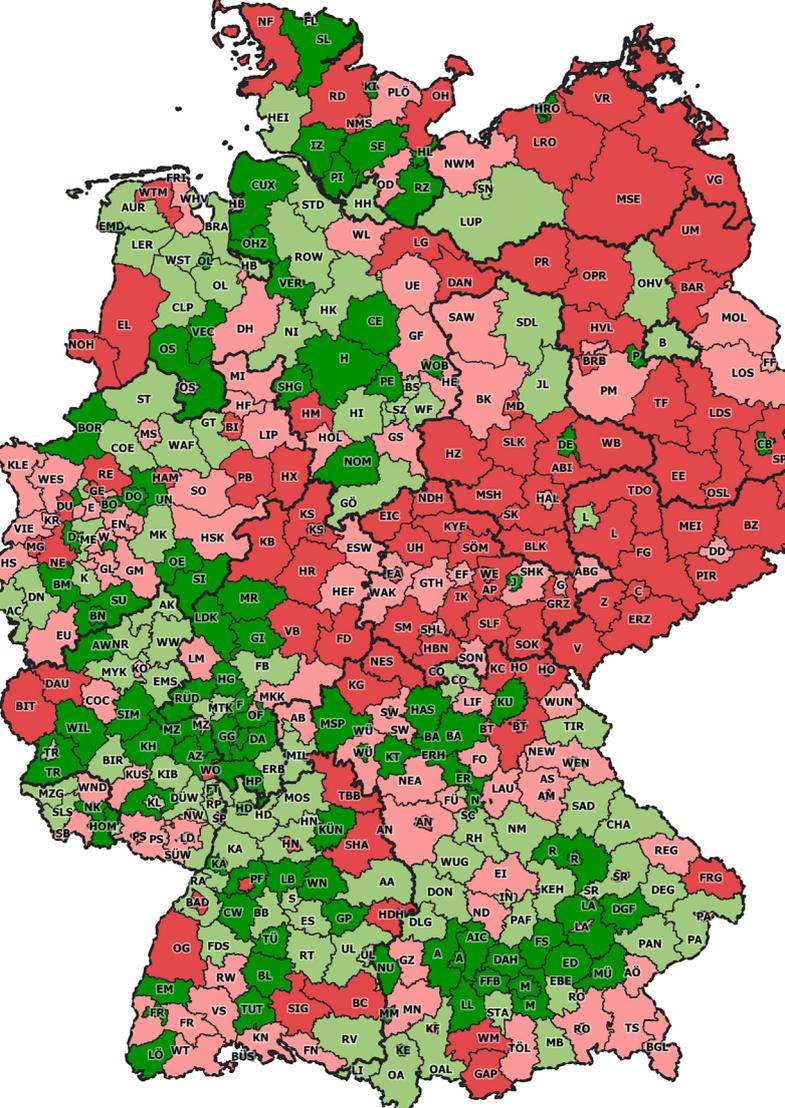


Testfahrzeug auf dem Rollenprüfstand (Bild: Green NCAP)

Die Roadmap von Green NCAP sieht für die nächsten Jahre eine Konsolidierung des begonnenen Programms vor. Insbesondere soll der Blickwinkel von der jetzigen reinen fahrzeugbezogenen Betrachtung „Tank to wheel“ – nur der Energieverbrauch im Fahrzeug wird betrachtet – auf die breiteren Sichtweisen „Well to wheel“ – die gesamte Energiekette von der Herstellung bis zum Verbrauch wird betrachtet – und den Lebenszyklus erweitert werden. ■

[www.greenncap.com](http://www.greenncap.com)

[www.gvi-project.eu](http://www.gvi-project.eu)



# Verkehrssicherheit im Fokus der Forschung

Sicheres Radfahren in einem gemeinsam genutzten Straßenraum

Pedelec: neue Chancen – neue Risiken

Kinderunfallatlas 2015 bis 2019

Verkehrsklima 2020

Optimierung der Fahrschulausbildung



# Sicheres Radfahren in einem gemeinsam genutzten Straßenraum

Dr. Martina Suing, Psychologin, Referat „Grundlagen des Verkehrs- und Mobilitätsverhaltens“ und Dr. Benjamin Schreck-von Below, Verkehrsjingenieur, Referat „Sicherheitskonzeptionen, Sicherheitskommunikation“ (bis Oktober 2021 in der BAST)

Die BAST erstellt anlassbezogen Sicherheitsforschungsprogramme, die zu ausgewählten Themen gezielt Fragestellungen aufgreifen. So befassen sich seit dem Jahr 2021 interdisziplinär 12 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den Abteilungen „Verhalten und Sicherheit im Verkehr“, „Straßenverkehrstechnik“ und „Fahrzeugtechnik“ mit dem Thema „Sicheres Radfahren in einem gemeinsam genutzten Straßenraum“.

## Programmziel

Radfahren wird immer beliebter und ist oft auch eine zeitsparende Alternative zur Fahrt mit dem Pkw. Zugleich ist Radfahren umweltfreundlich und gesundheitsförderlich. In der Stadt findet Radfahren häufig mit anderen Verkehrsteilnehmern im gemeinsam genutzten Straßenraum statt. Dabei ist der zur Verfügung stehende Raum begrenzt und geprägt von einer Konkurrenz der verschiedenen Mobilitätsformen um entsprechende Verkehrsflächen. Die Unfallstatistik zeigt, dass in den letzten Jahren die Zunahme des Radverkehrs auch mit einer Zunahme von Verkehrsunfällen von Radfahrern einherging. Innerorts sind sie die mit Abstand größte Verkehrsteilnehmergruppe von Verunglückten mit schwerem Personenschaden (Getötete und Schwerverletzte).

Ziel dieses Sicherheitsforschungsprogramms ist es deshalb zu untersuchen, welche Maßnahmen dazu beitragen können, die Verkehrssicherheit im gemeinsamen Straßenraum zu erhöhen und ein rücksichtsvolles Miteinander von Radfahrern und anderen Verkehrsteilnehmern

zu fördern. Damit wird angestrebt, die Förderung zur Attraktivitätssteigerung des Radverkehrs von einer Zunahme von Verkehrsunfällen zu entkoppeln.

## Einordnung in das Verkehrssicherheitsprogramm der Bundesregierung

Das Handlungsfeld „Sicherer Radverkehr“ im Verkehrssicherheitsprogramm der Bundesregierung 2021 bis 2030 zeigt auf, dass für einen stetig wachsenden Radverkehr vorhandene erfolgreiche Lösungskonzepte besser umgesetzt und neue Maßnahmenansätze auf Basis von Forschung erarbeitet werden müssen.

Das Sicherheitsforschungsprogramm „Sicheres Radfahren in einem gemeinsam genutzten Straßenraum“ [1] ist als Maßnahme implementiert und leistet damit einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der Verkehrssicherheit.

## Fragestellungen und Forschungsprojekte

Das Sicherheitsforschungsprogramm umfasst eine Reihe von Forschungsprojekten, in denen die Wahrnehmung und das Verhalten von Radfahrern und anderen Verkehrsteilnehmern im gemeinsam genutzten Straßenverkehr untersucht werden. Die Entwicklung und pilothafte Untersuchung von Infrastrukturelementen, zum Beispiel geschützte Kreuzungen – Protected Intersections, die Untersuchung fahrzeugtechnischer Sicherungssysteme, die Betrachtung und Verbesserung der Sichtbarkeit von Radfahrern, beispielsweise durch die LED-Beleuchtung im Straßenraum, sowie von deren persönlicher Schutzausrüstung sind einige dieser Projekte. Ebenso sind die Untersuchung und Entwicklung von Kommunikationsmaßnahmen zur Aufklärung und Verhaltensbeeinflussung ein Baustein des Programms. Weiterhin arbeitet die BAST eng mit der Stadt Freiburg im Breisgau zu-



*Begrenzte Flächenkapazitäten in der Stadt: Wie kann das Radfahren im gemeinsam genutzten Straßenraum sicher und zugleich attraktiv gestaltet werden?*

sammen, um neue Infrastrukturelemente pilothaft zu untersuchen.

Bei der Bewertung von Maßnahmen zur Förderung des Radverkehrs kommen neben objektiven Kriterien – unter anderem Unfallentwicklung, Interaktionen und Konflikte – auch subjektive Kriterien zum Einsatz, wie vor allem das subjektiv wahrgenommene Sicherheitsempfinden. Es wird davon ausgegangen, dass das subjektive Sicherheitsempfinden die Akzeptanz und damit die Nutzung von Radverkehrselementen – zum Beispiel Schutzstreifen – mitbestimmt und sogar ein entscheidender Faktor dafür ist, ob das Fahrrad bei der Verkehrsmittelwahl überhaupt in Betracht gezogen wird.

Im Sicherheitsforschungsprogramm sollen insbesondere zu folgenden Fragestellungen wissenschaftliche Erkenntnisse ermittelt werden:

- Welchen Anteil hat die subjektiv wahrgenommene Sicherheit bei der Verkehrsmittelwahl, der Routenwahl, der Flächennutzung und beim Verhalten der Verkehrsteilnehmer, und wie kann diese positiv beeinflusst werden?
  - In welchen Situationen weicht die subjektive Gefahrenwahrnehmung von der tatsächlichen Gefahr ab, und wie kann die Sicherheit von Radfahrern durch Maßnahmen zur Verbesserung der Gefahrenwahrnehmung erhöht werden?
  - Welche Verkehrsregeln sind bei den Verkehrsteilnehmern bekannt, welche werden eingehalten und was sind Gründe für deren Missachtung?
  - Welchen Einfluss haben Radverkehrsnetze auf die gemeinsam genutzten Straßenräume, und welche Weiterentwicklungen der Radverkehrsnetze sind zu schaffen?
- Wie sicher sind Infrastrukturelemente, beispielsweise „Protected Bike Lanes“ und „Geschützte Kreuzungen“ (Protected Intersections), und ist es sinnvoll, diese in Deutschland zu etablieren?
  - Wie effektiv können technische Innovationen – zum Beispiel Straßenbeleuchtung mit LED, Bremsentechnik für Pedelecs/Lastenräder, Tagfahrlicht für Fahrräder – zur Verbesserung der Verkehrssicherheit beitragen?

### Mitglieder der Arbeitsgruppe

Dr. Martina Suing, Leiterin der Arbeitsgruppe, Referat „Grundlagen des Verkehrs- und Mobilitätsverhaltens“

Dr. Ingo Koßmann, Programmentwicklung, Leiter der Abteilung „Verhalten und Sicherheit im Verkehr“

Dr. Benjamin Schreck-von Below, Programmentwicklung, Referat „Sicherheitskonzeptionen, Sicherheitskommunikation“ (bis Oktober 2021 in der BAST)

Michael Bahr, Referat „Fahreignung, Fahrausbildung, Kraftfahrerrehabilitation“

Eleni Behrens, Referat „Grundlagen des Verkehrs- und Mobilitätsverhaltens“

Maxim Bierbach, Referat „Aktive Fahrzeugsicherheit und Fahrerassistenzsysteme“

Simon Hummel, Referat „Straßenentwurf, Verkehrsablauf, Verkehrsregelung“

Kristin Nickel, Referat „Sicherheitskonzeptionen, Sicherheitskommunikation“

Tobias Panwinkler, Referat „Unfallanalyse, Unfallstatistik“

Dr. Jan Ritter, Referat „Straßenausstattung“

Dr. Andreas Walkling, Referat „Umweltschutz“

Oliver Zander, Referat „Passive Fahrzeugtechnik, Biomechanik“



Von links: Michael Bahr, Dr. Andreas Walkling, Tobias Panwinkler, Oliver Zander, Eleni Behrens, Dr. Ingo Koßmann, Simon Hummel, Dr. Martina Suing, Dr. Jan Ritter und Maxim Bierbach

### Verbreitung der Forschungsergebnisse

Die interdisziplinäre Arbeitsgruppe der BAST wird sich über eine Laufzeit von 6 Jahren mit diesen Fragestellungen befassen. Die Erkenntnisse werden im Internet, in der Schriftenreihe der BAST, in Fachzeitschriften und auf Konferenzen veröffentlicht. ■

### Literatur

- [1] Sicheres Radfahren in einem gemeinsam genutzten Straßenraum, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft A 44, 2021



Das Pedelec 25 – Pedal Electric Cycle oder Elektrofahrrad – erfreut sich in den letzten Jahren zunehmend großer Beliebtheit [1]. Da der Hilfsmotor mit maximal 250 Watt Nennleistung die Fahrer beim Treten lediglich bis zu einer Geschwindigkeit von 25 Kilometer pro Stunde unterstützt, wird das Pedelec 25 rechtlich dem konventionellen Fahrrad gleichgestellt. Es gelten somit die gleichen Rechte und Pflichten. Das macht das Pedelec attraktiv auch für viele, die bisher nicht mit einem konventionellen Fahrrad unterwegs waren, etwa weil sich mit dem Pedelec 25 Höhenunterschiede leichter überwinden lassen oder weitere Strecken zurückgelegt werden können. Dadurch ergeben sich Chancen für eine nachhaltige Verkehrswende, etwa die Reduzierung des Pkw-Verkehrs – und damit des CO<sub>2</sub> Ausstoßes – und auch von Staus.

## Unfallentwicklung

Allerdings führten die steigenden Pedeleczahlen auch zu mehr Unfällen unter Beteiligung dieser Fahrzeuge. Bei einer relativ konstanten Anzahl an Unfällen konventioneller Fahrräder bewirkte dieser Anstieg der Pedelec-Unfälle in Summe einen Anstieg aller Fahrradunfälle in den letzten 5 Jahren. Daher ist es notwendig, Unfälle unter Beteiligung von Pedelecs 25 detailliert zu betrachten, um spezifische Erkenntnisse für die Verkehrssicherheitsarbeit zu gewinnen. Pedelecs 25 werden im Rahmen der polizeilichen Unfallaufnahme erst seit 2013 separat codiert. Informationen zum Unfallgeschehen dieser Fahrzeuge lagen deshalb nicht in ausreichendem Maße vor. Daher

wurden durch die BAST mehrere Forschungsprojekte initiiert, die das Unfallgeschehen von Pedelecs 25 zu unterschiedlichen Detailfragen untersuchen.

Die ersten detaillierten Analysen [2] der Straßenverkehrsunfallstatistik erfolgten 2017 durch die BAST. Diese ergaben, dass Pedelec 25-Unfälle im Vergleich zu Unfällen unter Beteiligung konventioneller Fahrräder häufig schwerere Folgen haben, sich öfter außerhalb von Ortschaften ereignen und die verunfallten Pedelec 25-Nutzer im Mittel älter sind als verunglückte Nutzer konventioneller Fahrräder. Außerdem sind Pedelec 25-Unfälle häufiger Alleinunfälle [3].

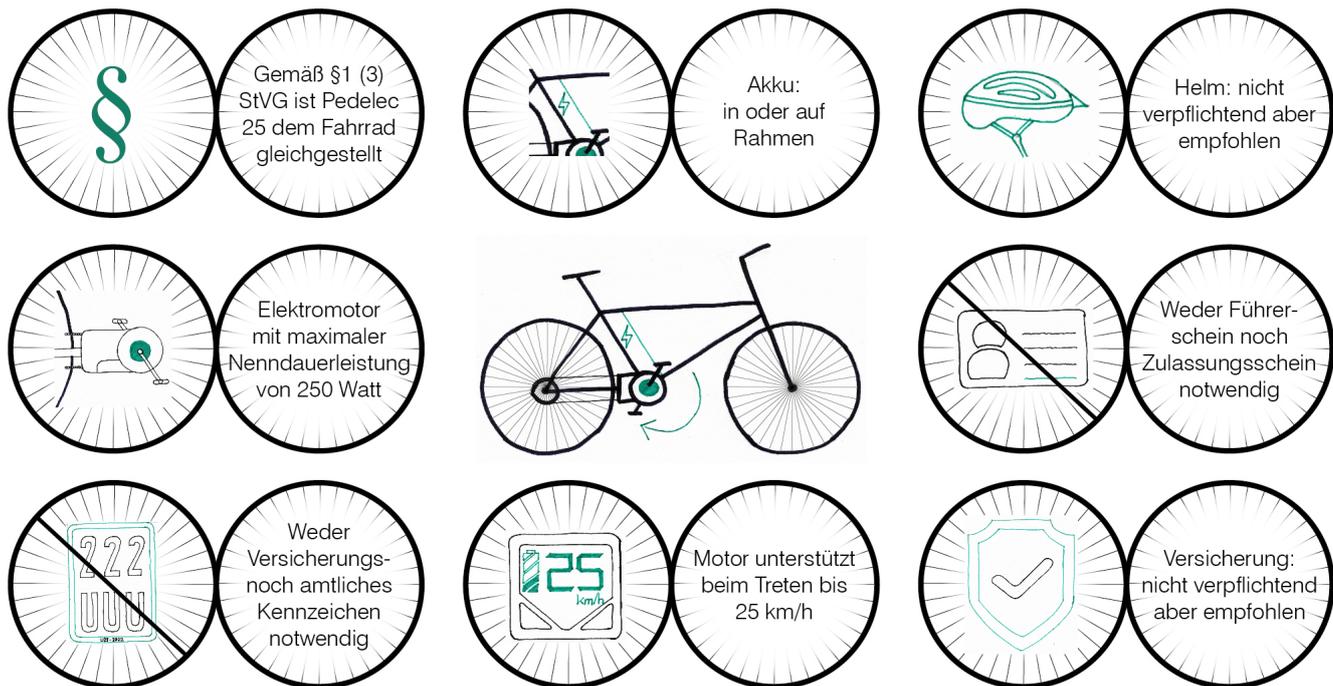
In der amtlichen Statistik sind nur wenige zweiradspezifische Zusatzinformationen verfügbar, die die Besonderheiten von Pedelec-Unfällen adäquat beschreiben können. Die Polizei nimmt jedoch neben den Merkmalen der amtlichen Unfallstatistik weitere Informationen zum

Unfall auf. Dazu gehört unter anderem die Beschreibung des Unfallhergangs, in der die Polizei als Freitext und gegebenenfalls mit Skizze den Ablauf, mögliche Unfallursachen sowie weitere unfallbegünstigende Faktoren beschreiben kann. Mit Unterstützung der Arbeitsgemeinschaft Verkehrspolizeiliche Angelegenheiten startete die BAST daher ein umfangreiches Projekt [4], in dem die anonymisierten Texte von 6.253 Pedelec 25-Unfällen gelesen und deren Informationen erfasst, systematisiert und analysiert werden, um Besonderheiten des Unfallgeschehens von Pedelecs 25 zu identifizieren.

## Unfallursachen

Darauf aufbauend wurden 2020 und 2021 vertiefte Analysen [5] zu Alleinunfällen von Pedelecs 25 durchgeführt. Ziel dieser Studie war es herauszufinden, ob diese Unfälle besondere Ursachen haben, die nicht in der amtlichen Unfallstatistik erfasst werden, welche Ursachen





häufig auftreten und bei welchen Ursachen mit besonders schweren Verletzungen zu rechnen ist. Dazu wurden die Freitextbeschreibungen der Unfallanzeigen analysiert und die Ergebnisse mit einer Auswertung der German In-Depth Accident Study (GIDAS) Daten verglichen. Aus den Freitextbeschreibungen konnten zahlreiche neue pedelec-spezifische Unfallkategorien definiert werden. Die meisten beziehen sich auf die Fahrer oder die Straßengestaltung. Diesen beiden Faktoren wurden auch die meisten Fälle zugeordnet. Von den Kategorien, bei denen im Falle eines Unfalls die meisten schweren Verletzungen zu erwarten sind, beziehen sich die meisten Kategorien ebenfalls auf die Fahrer. Darüber hinaus werden schwere Verletzungen bei Unfällen aufgrund von Problemen mit Gefällstrecken oder technischen Defekten erwartet. Um schwere Pedelec 25-Alleinunfälle zu verhindern oder deren Folgen zu mindern, erscheint daher eine entsprechende Sensibilisierung, insbesondere durch Schulungen, beispielsweise in Einführungskursen

oder Fahrsicherheitstrainings, besonders hilfreich [6].

Ein berechtigter Kritikpunkt, der bis dato nicht berücksichtigt werden konnte, ist die fehlende Betrachtung räumlicher Bezugsgrößen, etwa des Einflusses von demografischen Faktoren auf das Unfallgeschehen. Dazu startete im Frühjahr 2021 eine Untersuchung [7], deren Ergebnisse im Jahr 2022 erwartet werden.

Im Hinblick auf den anhaltenden Pedelec 25-Trend werden diese Forschungsstudien als Grundlage erstellt. Deren Daten und Analysen sollen als Basis für weitere interne wie auch externe Arbeiten, für die Erarbeitung entsprechender Maßnahmen der Verkehrssicherheitsarbeit sowie für weitere Forschung neuer Mobilitätsformen dienen. ■

#### Literatur

[1] ZIV Zweirad-Industrie-Verband: Zahlen – Daten – Fakten zum Deutschen Fahrrad- und E-Bike-Markt 2020, Pressemitteilung, Berlin, 2021

[2] F1100.4217014: Strukturanalyse Pedelecunfälle

[3] PANWINKLER, T., C. HOLZ-RAU: Unfallgeschehen von Pedelecs und konventionellen Fahrrädern im Vergleich: Pedelec vs. Fahrräder, in Zeitschrift für Verkehrssicherheit 65 (05), 336–347, 2019

[4] F1100.4217008: Unfallgeschehen von Pedelecs

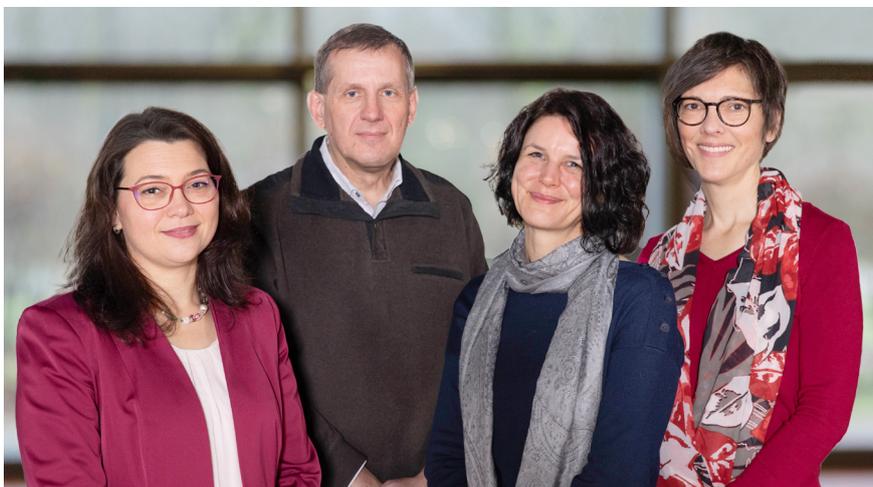
[5] F1100.4220001: Vertiefte Untersuchung von Pedelec-Unfällen

[6] PANWINKLER, T., C. HOLZ-RAU: Causes of pedelec (pedal electric cycle) single accidents and their influence on injury severity, in Accident Analysis & Prevention Volume 154, May 2021, doi.org/10.1016/j.aap.2021.106082

[7] F1100.4221005: Räumliche Analyse Pedelecunfälle

# Kinderunfallatlas 2015 bis 2019

Dr. Martina Suing, Psychologin und Dr. Kerstin Auerbach, Psychologin, Referat „Grundlagen des Verkehrs- und Mobilitätsverhaltens“, Nadja Färber, Bauingenieurin, Referat „Unfallanalyse, Unfallstatistik“ und Hartmut Treichel, Physiker, stellvertretender Referatsleiter „IT-Portfolio-Management“



Von links: Nadja Färber, Hartmut Treichel, Dr. Martina Suing und Dr. Kerstin Auerbach

Wenn ein Kind im Straßenverkehr verunglückt, ist das immer ein besonders tragisches Ereignis. Auch die Unfallforschung befasst sich intensiv mit Verkehrsunfällen von Kindern: Wie viele Kinder verunglücken in Deutschland, und wie verändert sich das Unfallgeschehen im Laufe der Jahre? Gibt es regionale Unterschiede?

Tatsächlich kann auch die dritte Ausgabe des Kinderunfallatlas der BAST wieder veranschaulichen, dass sich die Unfälle von Kindern im Alter bis 14 Jahren nicht gleichmäßig über

das Land verteilen. So zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den Bundesländern, Kreisen/kreisfreien Städten und Gemeinden. Dabei ist es auch entscheidend, wie sich die Kinder im Straßenverkehr fortbewegen, ob zu Fuß, mit dem Fahrrad oder als Pkw-Insassen.

Die aktuelle Ausgabe des Kinderunfallatlas bezieht sich schwerpunktmäßig auf Unfalldaten von Kindern, die im Zeitraum 2015 bis 2019 verunglückt sind, und setzt diese in Beziehung zum zweiten Kinderunfallatlas – Vergleichszeitraum 2006 bis 2010.

Ein besonderes Augenmerk wird hierbei auf Unfälle mit schwerem Personenschaden gesetzt, das heißt auf getötete und schwerverletzte Kinder. Erstmals werden zudem regionalisierte Mobilitätsdaten von Kindern berücksichtigt.

Folgende Unfall- und Mobilitätskenngrößen stehen im Kinderunfallatlas im Fokus:

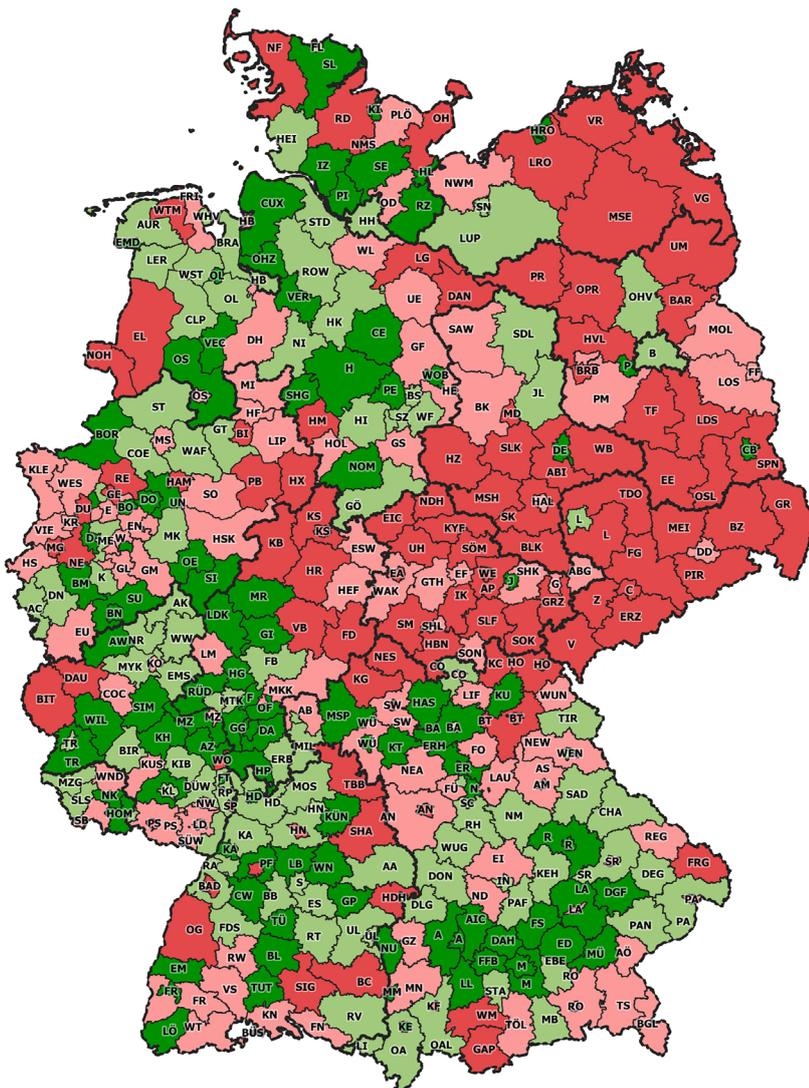
- Verunglücktenbelastung – verunglückte Kinder je 100.000 altersgleiche Einwohner
- Veränderungsrate der Verunglücktenbelastung – im Vergleich zu 2006 bis 2010
- Verkehrsleistung – zurückgelegte Kilometer pro Kind pro Tag
- Verunglücktenrate – verunglückte Kinder je eine Milliarde zurückgelegter Kilometer

## Analyse von getöteten und schwer verletzten Kindern auf Bundesebene

Für den aktuell betrachteten Zeitraum 2015 bis 2019 werden für verunglückte Kinder mit schwerem Personenschaden (SP) folgende

	Schwer verunglückte Kinder (SP) in Absolutzahlen					Kinderbevölkerung [0-14 Jahre]	Verunglücktenbelastung (SP) [je 100.000 Kinder]				
				als sonstige Verkehrsteilnehmer	Gesamt					als sonstige Verkehrsteilnehmer	Gesamt
Kinderunfallatlas 2006 bis 2010	11.030	7.948	5.743	1.292	26.013	56.534.674	19,5	14,1	10,2	2,3	46,0
Kinderunfallatlas 2015 bis 2019	8.106	5.703	6.375	903	21.087	55.078.991	14,7	10,4	11,6	1,6	38,3
Prozentuale Veränderung	-26,5%	-28,2%	11,0%	-30,1%	-18,9%	-2,6%	-24,6%	-26,3%	13,9%	-28,3%	-16,8%

Anzahl und Verunglücktenbelastung getöteter und schwerverletzter Kinder nach Verkehrsbeteiligungsart: Vergleich des Kinderunfallatlas 2015 bis 2019 mit dem Kinderunfallatlas 2006 bis 2010; SP = Schwerer Personenschaden (Getötete + Schwerverletzte)



ebene für alle Verkehrsbeteiligungsarten zusammengefasst dargestellt: Fußgänger, Radfahrer, Pkw-Insassen und Sonstige. Hier zeigt sich in den Bundesländern Thüringen, Sachsen und Sachsen-Anhalt ein hoher Anteil an Kreisen/kreisfreien Städte mit einer vergleichsweise hohen Verunglücktenbelastung. In den Bundesländern Baden-Württemberg, Niedersachsen und Rheinland-Pfalz überwiegt dagegen der Anteil der Kreise/kreisfreien Städte mit eher niedrigen Verunglücktenbelastungswerten.

Differenziert nach verschiedenen Verkehrsbeteiligungsarten zeigt sich tendenziell, dass viele dichtbesiedelte, kreisfreie Städte eine vergleichsweise hohe Fußgänger-Verunglücktenbelastung und eine eher niedrige Verunglücktenbelastung bei Kindern als Pkw-Insassen aufweisen. Genau umgekehrt verhält es sich bei vielen Landkreisen in ländlichen Gegenden. Die Analyse auf Gemeindeebene offenbart, dass Kinder als Radfahrer vor allem in zentralen Städten ländlicher Regionen gefährdet sind.

Quartile	0,0 – <25,0 Prozent	25,0 – <50,0 Prozent	50,0 – <75,0 Prozent	75,0–100,0 Prozent
Verunglücktenbelastung (SP) je 100.000 Kinder	gering	gering bis mittel	mittel bis hoch	hoch

Verunglücktenbelastung 2015 bis 2019 von Kindern mit schwerem Personenschaden aller Verkehrsbeteiligungsarten (gesamt) nach Kreisen/kreisfreien Städten (bundesweiter Vergleich); SP = Schwerer Personenschaden (Getötete + Schwerverletzte)

Verunglücktenbelastungswerte (VB) je 100.000 altersgleiche Einwohner ermittelt. Die höchste Verunglücktenbelastung zeigt sich bei Kindern als Fußgänger (VB (SP) = 14,7), gefolgt von Kindern als Pkw-Insassen (VB (SP) = 11,6) und als Radfahrer (VB (SP) = 10,4). Im Vergleich zum zweiten Kinderunfallatlas 2006 bis 2010 zeigt sich bei Kindern als Fußgänger und Radfahrer eine deutliche Reduktion der Verunglücktenbelastung (-24,6 Prozent und -26,3 Pro-

zent), wohingegen sich bei Kindern als Pkw-Insassen eine Zunahme (+13,9 Prozent) feststellen lässt.

### Regionale Analyse von Unfall- und Mobilitätskenngrößen

Die regionale Analyse der Unfall- und der Mobilitätskenngrößen erfolgt nach den Vergleichsebenen Bundesländer, Kreise/kreisfreie Städte und Gemeinden. In der Karte ist beispielhaft die Verunglücktenbelastung für Kinder im Straßenverkehr auf Kreis-

### Fazit

Durch die Aufschlüsselung dieser regionalisierten Kenngrößen können sich Verantwortliche aus den Bereichen Politik, Verwaltung und Polizei für ihren Zuständigkeitsbereich einen Überblick über den Status Quo des Unfallgeschehens verunglückter Kinder sowie die Entwicklung in den letzten Jahren verschaffen, um schließlich gezielt Maßnahmen zur Verbesserung der Verkehrssicherheit abzuleiten. ■

### Literatur

SUING, M., AUERBACH, K., FÄRBER, N., TREICHEL, H.: Kinderunfallatlas 2015-2019; Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft M 326, 2022



Die Art und Weise, wie Verkehrsteilnehmer miteinander umgehen, ist ein beliebtes Medienthema. So ist oft zu hören und zu lesen, dass der Straßenverkehr immer aggressiver wird und das Verkehrsklima immer schlechter. Gezogen werden solche Schlussfolgerungen häufig aus aktuell berichteten Einzelfällen aggressiver Verhaltensweisen oder aus Ergebnissen von Befragungen in der Bevölkerung. Verallgemeinerungen wie diese konnten in der Wissenschaft jedoch bislang nicht bestätigt werden. Es fehlen zuverlässige objektive Kriterien, deren Messungen entsprechende Aussagen erlauben. So ist zum Beispiel die Häufigkeit erfasster Aggressionsdelikte im Straßenverkehr sehr stark vom Umfang und Ausrichtung der polizeilichen Überwachung abhängig. Es ist derzeit nicht möglich, auf Grundlage objektiver Messgrößen exakt anzugeben, wie häufig Aggressionen im Straßenverkehr tatsächlich vorkommen und wie sich das Verkehrsklima entwickelt hat. Zu diesem Umstand tragen auch die uneinheitlichen Vorstellungen von Experten und Verkehrsteilnehmern darüber bei, welches Verhalten im Straßenverkehr als aggressiv bezeichnet werden kann, und was mit dem Begriff „Verkehrsklima“ gemeint ist [1,2].

## Kriterien

Da objektive Kriterien für zuverlässige Messungen des Verkehrsklimas bislang nicht verfügbar sind, wird in der Forschung zu diesem Thema auf den persönlichen Einschätzungen von befragten Verkehrsteilnehmern zurückgegriffen. In einer neuen Studie der BASt [3] wurde eine erste

Messung des Verkehrsklimas durchgeführt. Diese als Basis-Messung bezeichnete Verkehrsklimaerhebung ist Auftakt einer geplanten, kontinuierlichen Erfassung des Verkehrsklimas. Zugrunde gelegt wird eine enge Definition, nach der das Verkehrsklima ausschließlich durch die Wahrnehmung und Bewertung des Umgangs von Verkehrsteilnehmern miteinander bestimmt wird. So lautete eine Frage zum Beispiel: „Wie würden Sie den Umgang zwischen verschiedenen Verkehrsteilnehmergruppen anhand der folgenden Eigenschaftspaare beschreiben? Autofahrer/innen verhalten sich gegenüber Autofahrern/innen häufiger ...“ Zur Beantwortung vorgelegt wurden die Eigenschaftspaare angespannt/harmonisch, aggressiv/freundlich, egoistisch/hilfsbereit, unfair/fair, fordernd/nachgiebig, rau/höflich und rücksichtslos/rücksichtsvoll. Für jedes Eigenschaftspaar konnte eine Zahl zwischen -3 (zum Beispiel sehr aggressiv) und +3 (beispielsweise sehr freundlich) vergeben werden.

Das Verkehrsklima wurde mithilfe von 4 unterschiedlichen Gesamtwerten beschrieben, die durch Aufsummierung der Antworten der 7 Eigenschaftspaare gebildet wurden: Allgemeiner Verkehrsklima-Index: Bestehend aus dem Verkehrsklima-Gesamturteil der Befragten, Beurteilung des Verhaltens von Autofahrern gegenüber anderen Verkehrsteilnehmern, Beurteilung des Verhaltens von Radfahrern gegenüber anderen Verkehrsteilnehmern und differenzierte Beurteilung des Verhaltens von Autofahrern und Radfahrern. Für die Erhebung des Verkehrs-

klimas wurde eine Repräsentativbefragung mit 2.477 Personen online oder per Telefon durchgeführt. Die Grundgesamtheit dieser Studie bildeten deutschsprachige, in Privathaushalten lebende Personen ab 16 Jahren.

## Ergebnisse

Für ganz Deutschland liegt der allgemeine Verkehrsklima-Index mit einem Wert von -2,4, relativ nahe dem 0-Punkt der Verkehrsklimaskala, die von -24 bis +24 reicht. Somit kann dieses Ergebnis lediglich als eine sehr schwache Tendenz einer negativen Beurteilung des Verkehrsklimas gedeutet werden. Wie die Ergebnisse zeigen, bestehen jedoch innerhalb der Bevölkerung deutliche Unterschiede in der Beurteilung des Verkehrsklimas. So fällt diese Beurteilung bei den 25- bis 64-Jährigen schlechter aus als bei den 16- bis 24-Jährigen und Personen ab 65 Jahren. Die beste Beurteilung kommt von Personen ab 75 Jahren. Eine bessere Beurteilung kommt außerdem von Personen mit gehobener Schulbildung als von Personen mit niedriger Schulbildung und von Auto-Vielfahrern als von -Wenigfahrern. Personen, die häufig das aggressive Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer beobachten, beurteilen das Verkehrsklima schlechter als Personen, die eine solche Beobachtung weniger häufig machen.

Auf die Frage, ob sich das Verkehrsklima in den letzten 3 Jahren verändert habe, gaben 7,6 Prozent der Befragten eine Verbesserung an, für 40,8 Prozent ist es gleich geblieben und für 51,7 Prozent hat es sich ver-

schlechtert. Am häufigsten wird eine Verschlechterung von den 40- bis 64-Jährigen (59,3 Prozent) und den 65- bis 74-Jährigen (58,4 Prozent) berichtet, am wenigsten von den 16- bis 24-Jährigen (27,3 Prozent). Männer und Frauen unterscheiden sich diesbezüglich nicht.

### Verhalten von Verkehrsteilnehmergruppen

Das Verhalten der Autofahrer wird insgesamt unwesentlich besser beurteilt als das der Radfahrer. Männer beurteilen das Verhalten von Radfahrern schlechter als Frauen, Personen, die älter als 24 Jahre sind (insbesondere die 40- bis 64-Jährigen) schlechter als Personen zwischen 16 und 24 Jahren, und Personen aus dem Bundesland Berlin deutlich schlechter als Personen aus den meisten anderen Bundesländern. Wer viel mit dem Rad unterwegs ist, hat ein negativeres Bild von Autofahrern als Personen, die weniger Rad fahren. Personen mit einer starken Autobindung beurteilen Radfahrer negativer als Personen mit einer schwachen Autobindung. Die schlechteste Bewertung des Verhaltens von Autofahrern ergab sich in Bezug auf das Verhalten gegenüber anderen Autofahrern (-2,09). Die Bewertung des Verhaltens von Autofahrern gegenüber Radfahrern fiel nur geringfügig besser aus (-1,78).

Das Verhalten der Autofahrer gegenüber Fußgängern wurde positiv bewertet (2,86). Die schlechteste Bewertung des Verhaltens von Radfahrern ergab sich in Bezug auf das Verhalten gegenüber Autofahrern (-3,46). Die Bewertung des Verhaltens von Radfahrern gegenüber Fußgängern fiel geringfügig besser aus (-2,91). Das Verhalten der Radfahrer gegenüber anderen Radfahrern wurde jedoch positiv bewertet (1,09). Auch hier sind alle Abwei-



© Paolese - stock.adobe.com

chungen von Durchschnittswert der Verkehrsklimabeurteilung als eher geringfügig anzusehen.

### Fazit

Zusammengefasst wird das Verkehrsklima im Jahr 2020 in Deutschland im Durchschnitt weder besonders positiv noch besonders negativ beurteilt. Damit bestätigen diese Ergebnisse nicht den in der öffentlichen Meinung häufig vermittelten Eindruck, das Verkehrsklima sei insgesamt schlecht. Wie die Ergebnisse weiterhin zeigen, bestehen deutliche regionale Unterschiede in der Beurteilung des Verkehrsklimas. Insbesondere in Berlin wird das Verkehrsklima häufig negativer als in anderen Teilen Deutschlands beurteilt. Es zeigte sich außerdem, je weniger die Verkehrsteilnehmer aggressive Verhaltensweisen wahrnehmen und erleben, um so positiver wird das Verkehrsklima beurteilt. Daher ist eine Verbesserung des Verkehrsklimas zu erwarten, wenn sich die aggressiven Verhaltensweisen im Straßenverkehr verringern. Folglich sind Maßnahmen zur Verringerung aggressiver Verhaltensweisen auch Maßnahmen zur Verbesserung des Verkehrsklimas. ■

### Literatur

- [1] HOLTE, H.: Aggressives Verhalten im Straßenverkehr und Verkehrsklima – Häufigkeit, Ursachen und Maßnahmen. In Deutscher Verkehrsgerichtstag (Hrsg.), Veröffentlichung der auf dem 58. Deutschen Verkehrsgerichtstag vom 29.–31.01.2020 in Goslar gehaltenen Vorträge, Referate und erarbeiteten Empfehlungen (S. 125-143), Köln, Luchterhand, 2020
- [2] HOLTE, H.: Aggressionen im Straßenverkehr und Verkehrsklima, Die Polizei, 1, 10–17, 2021
- [3] HOLTE, H.: VERKEHRSKLIMA 2020 – Kontinuierliche Erfassung des Verkehrsklimas Baseline Messung; Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft M 316, 2021

# Optimierung der Fahrschul Ausbildung



Dr. Heidi Grattenthaler, Psychologin, Referat „Fahreignung, Fahrausbildung, Kraftfahrerrehabilitation“

Die Fahrausbildung bereitet Menschen auf ihre Fahrkarriere vor. Sie bedarf der Anpassung an neue Herausforderungen. Bereits mit dem Projekt „Optimierung der Fahrschul Ausbildung“ (OFSA I) wurden wissenschaftlich begründete Ansatzpunkte zur Weiterentwicklung der Fahrausbildung in Deutschland erarbeitet [1]. Im Folgeprojekt OFSA II wurden diese Ansatzpunkte aufgegriffen, angepasst an aktuelle Entwicklungen und wissenschaftliche Erkenntnisse sowie mit dem Fokus auf die Pkw-Fahrausbildung ausgearbeitet [2].

Grundlage für das im OFSA II Projekt ausgearbeitete Konzept für eine zukünftig optimierte Fahrausbildung waren sowohl wissenschaftliche Erkenntnisse – beispielsweise zu Ausbildungsinhalten – als auch empirische Befunde zur aktuellen Ausbildungspraxis – zum Beispiel Qualität der Ausbildung, Lernverhalten der Fahrschüler. Weitere Arbeiten in OFSA II konzentrierten sich unter anderem auf die Bewertung der Qualität von in der Fahrausbildung eingesetzten Lehr-Lernmedien.

Im Kern des in OFSA II ausgearbeiteten Konzepts stehen ein Kompetenzrahmen und ein Ausbildungsplan. Das Konzept beinhaltet unter anderem die folgenden Optimierungen:

### Aktualisierung der Ausbildungsinhalte und Festlegung von Mindestinhalten

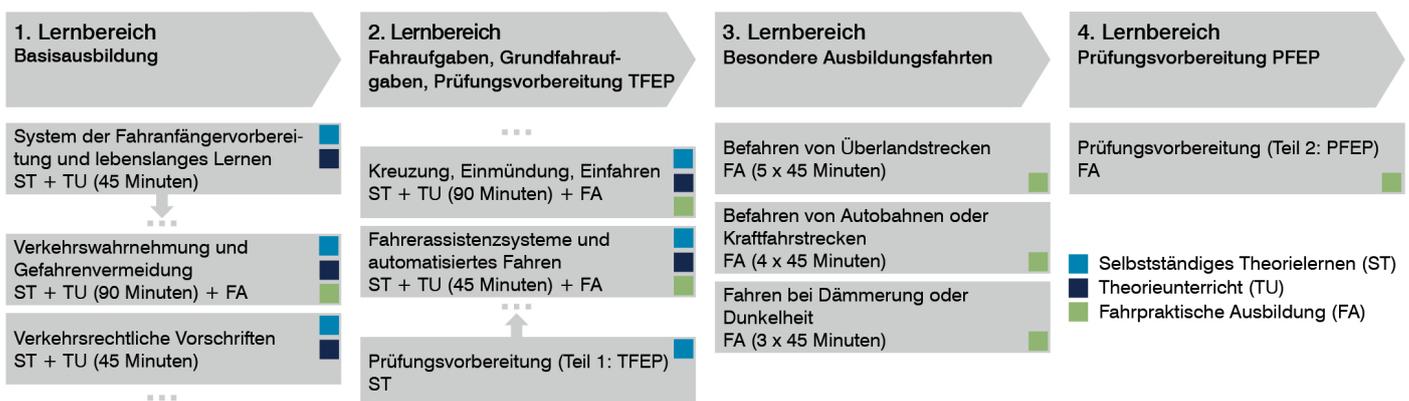
Die Ausbildungsinhalte wurden aktualisiert, priorisiert und sind erstmalig als Mindest-Ausbildungsinhalte festgelegt. Aufgeteilt sind sie auf 4 Lernbereiche, die nacheinander zu bearbeiten sind, wobei innerhalb eines Lernbereichs auch Freiräume für die Sequenzierung und Lernzeitgestaltung bestehen. Auch die zeitlichen Rahmenbedingungen für die Vermittlung der Ausbildungseinheiten sind angepasst. Dabei wird die aktuell für den Theorieunterricht aufzuwendende Zeit beibehalten.

### Verbesserte Steuerungsinstrumente

Kompetenzrahmen und Ausbildungsplan sind im Vergleich zu den aktuellen deutlich verbesserte Steuerungsinstrumente. Der Kom-

petenzrahmen beschreibt die zum Erwerb von Fahr- und Verkehrskompetenz erforderlichen Kompetenzen nach aktuellem, wissenschaftlichem Stand und legt die Mindest-Ausbildungsinhalte fest. Der Ausbildungsplan teilt die Mindest-Ausbildungsinhalte systematisch den 3 Lehr-Lernformen der Fahrausbildung zu: selbstständiges Theorielernen, Theorieunterricht, fahrpraktische Ausbildung. Außerdem ordnet er sie im Lehr-Lernprozess zeitlich an. Der Ausbildungsplan lässt bei fachgerechter Umsetzung durch die Fahrlehrer eine hohe Lernwirksamkeit erwarten.

Mit Kompetenzrahmen und Ausbildungsplan wird erstmalig das für Fahrschüler erforderliche Wissen und Können auf kompetenztheoretischer Grundlage definiert und mit Kompetenzstandards versehen. Durch die Kompetenzorientierung wird das Lehren und Lernen in der Fahrausbildung stärker als bisher auf das Aneignen und Trainieren von praxisrelevanten Handlungsmustern für die Bewältigung realer Anforderungen im Straßenverkehr



Ausschnitt aus dem Ausbildungsplan für die optimierte Fahrausbildung (TFEP = Theoretische Fahrerlaubnisprüfung, PFEP = Praktische Fahrerlaubnisprüfung)

ausgerichtet. Damit wird auch einer typischen Kritik am Theorieunterricht – wenig praxisrelevantes Faktenwissen zu transportieren – Rechnung getragen.

### Hervorhebung von Lernstandsbeurteilungen und Prüfungsvorbereitung

Die Kompetenzorientierung zielt auch auf eine Optimierung ausbildungsbegleitender Lernstandsbeurteilungen ab – insbesondere auf die Feststellung der Prüfungsreife. Im Ergebnis der Analyse der derzeitigen Ausbildungspraxis zeigte sich, dass manche Fahrlehrer nicht regelmäßig Lernstandsbeurteilungen und mitunter auch keine Prüfungsreife-feststellungen durchführen. Daher wurde im Kompetenzrahmen und im Ausbildungsplan je eine eigene Kompetenz beziehungsweise Ausbildungseinheit zur Vorbereitung auf die theoretische und auf die praktische Fahrerlaubnisprüfung aufgenommen. Eine professionelle Prüfungsvorbereitung ist für Fahrschüler von hoher Bedeutung, weil sie zu einer Überprüfung der Lernergebnisse, zum zielgerichteten Ausbau des Lernstands und zur Verringerung von Prüfungsangst beitragen kann.

### Digitale Unterstützung der Fahrausbildung: Blended Learning

Der Wunsch nach und die Notwendigkeit von digitalem Lernen wurde mit der Corona-Pandemie in verschiedenen Bereichen deutlich verstärkt – auch in der Fahrausbildung. Im Rahmen des selbstständigen Theorielernens soll E-Learning künftig nicht mehr nur zum Lernen der Theorieprüfungsfragen eingesetzt werden, sondern im Sinne des Blended Learning systematisch zur Vor- und Nachbereitung des Theorieunterrichts. So können beide Lehr-Lernformen zielgerichteter als bisher miteinander verbunden, das Lernen

individuell angepasster und – vor dem Hintergrund des begrenzten zeitlichen Umfangs des Theorieunterrichts – auch eine kostengünstige Lernzeitverlängerung erreicht werden. Hierzu wurden in OFSA II konkrete Gestaltungsempfehlungen erarbeitet.

Dem selbstständigen Theorielernen würde damit künftig eine wichtige Schlüsselrolle zukommen. Nicht jeder Lernende ist – wie sich auch in der Corona-Pandemie gezeigt hat – in der Lage, erfolgreich selbstständig zu lernen. Hier werden Fahrlehrer künftig noch stärker gefordert sein, Betreuungsbedarfe zu entdecken und ihnen mit individualisierter Lernbegleitung zu begegnen. Der Ausbildungsplan wird bei konsequenter Umsetzung zu einem Wandel der Rolle des Fahrlehrers vom Ausbildungsinstrukteur zum begleitenden Bildungsmanager für Fahrschüler führen. Dieser Wandel wurde auch durch die reformierte Fahrlehrerausbildung [3] vorbereitet. Künftig würde zudem die Qualität der genutzten digitalen Lehr-Lernmedien stärker in den Fokus rücken. Entsprechende Qualitätskriterien wurden ebenfalls in OFSA II zusammengestellt, und die Einführung eines Qualitätssiegels wird vorgeschlagen.

### Verbesserte Abstimmung im System der Fahranfängervorbereitung

Fahrausbildung und Fahrerlaubnisprüfungen werden inhaltlich und methodisch besser verschränkt. Fahraufgabenkonzept und -katalog [4] stellen hierzu ein zentrales, gemeinsames Bindeglied dar. Der Ausbildungsplan korrespondiert mit der reformierten Fahrlehrerausbildung.

### Ausblick

Derzeit diskutieren Bund und Länder das in OFSA II erarbeitete Konzept mit der Fachöffentlichkeit – bei-

spielsweise Fahrlehrerverbänden – in Vorbereitung auf das für eine Umsetzung notwendige Rechtsetzungsverfahren. Für die spätere Überführung der Projektergebnisse in die Ausbildungspraxis ist von Vorteil, dass hierzu in OFSA II ebenfalls bereits konzeptionelle Grundlagen erarbeitet wurden. Diese gehen auf wichtige Arbeitsschritte und Beteiligte der Umsetzung ein – zum Beispiel Fahrlehrerfortbildung, Lehr-Lernmittelverlage – sowie auf begleitende wissenschaftliche Evaluationsstudien. ■

### Literatur

- [1] BREDOW, B. & STURZBECHER, D.: Ansätze zur Optimierung der Fahrschulausbildung in Deutschland, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft M 269, 2016
- [2] STURZBECHER, D. & BRÜNKEN, R.: Ausbildungs- und Evaluationskonzept zur Optimierung der Fahrausbildung in Deutschland, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft M 330, 2022
- [3] BREDOW, B., EWALD, S., THÜS, D., MALONE, S. & BRÜNKEN, R.: Untersuchungen zur wissenschaftlichen Begleitung des reformierten Fahrlehrerrechts, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft M 315, 2021
- [4] BMVI: Richtlinie für die praktische Prüfung der Bewerber um eine Erlaubnis zum Führen von Kraftfahrzeugen nach Anlage 7 der Fahrerlaubnisverordnung (FeV), Teil B – Fahraufgabenkatalog der praktischen Fahrerlaubnisprüfung, Verkehrsblatt – Sammlung Nr. S 3210, Dortmund: Verkehrsblatt-Verlag, 2021

# Ausbildung in der BASt

## Baustoffprüfer – die Straße liegt in ihren Händen

Die Straße – wir nutzen sie täglich für verschiedene Wege. Von oben sehen wir nur ihre Oberfläche in unterschiedlichen Schwarz- und Grautönen. Mal ist sie glatt, mal etwas rauer, mal hat sie eine offene-porige Struktur.

Aber was liegt alles unter der schwarzen oder grauen Oberfläche? Wie ist eine Straße aufgebaut? Was hat sie für Schichten und welche Baustoffe kommen zum Einsatz? Wie müssen die einzelnen Schichten zusammengesetzt sein, damit sie unseren Verkehr dauerhaft aushalten und welche Eigenschaften müssen sie haben? Können diese Eigenschaften kontrolliert werden, damit die Straßen immer sicher von allen Verkehrsteilnehmern genutzt werden können?

Mit diesen Fragen beschäftigen sich Baustoffprüfer – auch die in der BASt.

### Einsatz im Labor

In den unterschiedlichen Laboren der BASt werden Gesteinskörnungen für ungebundene Tragschichten für Asphalt und Beton, aber auch Asphalt- und Betonprobekörper untersucht.

Daniel Bengels bedient im Gesteinslabor die Siebmaschine. Rasselnd teilt er das Gesteinskörnungsgemisch in unterschiedliche Korngruppen ein. Die Rückstände auf den unterschiedlichen Sieben wiegt er nach Abschluss des Versuchs ab und dokumentiert sie. Zeitgleich surrt im Asphaltlabor der dynamische Spaltzug-Schwellversuch. Nach Abschluss des automatisierten Versuchs muss die Er-

müdungsfunktion der untersuchten Asphalt-schicht aus den Messwerten ermittelt werden. Im Betonlabor tragen alle Ohrenschützer. Hier werden mit den Kreissägen aus Betonbohrkernen Prüfkörper für verschiedene Prüfverfahren zu-rechtgesägt.

### Unterwegs auf Baustellen und Untersuchungstrecken

Während die einen die Prüfungen der Baustoffgemische und Asphalt- und Betonproben im Labor durchführen, sind andere draußen auf der Baustelle im Einsatz. Fabian Müller und Dennis Tschoecke prüfen hier zum Beispiel mit dem Leichten Fall-gewichtsgerät die Tragfähigkeit des Planums. Oder sie entnehmen auf einer Untersuchungstrecke mit einer großen Bohrkernmaschine Bohrkern-e aus einer Asphaltstraße, die



Fabian Müller und Dennis Tschoecke an der großen Bohrkernmaschine auf dem duraBASt



*Mobile Wehner-Schulze-Anlage mit Roboter im Messfahrzeug im Einsatz*

sie später im Labor für die verschiedenen Prüfungen vorbereiten werden.

Im Großen und Ganzen geht es beim Prüfen darum, sowohl die Qualität der Baustoffe als auch die Eigenschaften der fertig eingebauten Schichten im Labor und vor Ort zu überprüfen. Für fast alle Prüfungen gibt es Vorschriften, die vorgeben, wie die einzelnen Prüfungen durchzuführen sind.

Die BAST hat dafür einige einzigartige Prüfgeräte, beispielsweise die mobile Wehner-Schulze-Anlage, mit der die Griffigkeit nach dem Laborprüfverfahren Wehner/Schulze nun auch draußen auf Versuchsstrecken gemessen werden kann.

Wenn es um Forschungsarbeiten geht, wird in der BAST aber auch viel experimentiert: Prüfungen werden abweichend vom Üblichen durchgeführt oder es werden Prüfverfahren weiterentwickelt zum Teil sogar komplett neu konzipiert. In Forschungsprojekten geht es aber häufig auch darum, die Wirkung einzelner innovativer Zusätze oder besondere Gemische zu untersuchen und hinsichtlich ihres Einsatzes zu bewerten.

Der Beruf der Baustoffprüferin/des Baustoffprüfers ist sehr vielfältig und abwechslungsreich, langweilig ist er eigentlich nie. Seit mehreren Jahren bildet die BAST Baustoffprüfer in der Geotechnik und der Betontechnik aus – zukünftig auch in der Asphalttechnik.

### Weitere Ausbildungsberufe in der BAST

Auch in weiteren Sparten bildet die BAST junge Menschen aus und zwar in folgenden Berufen:

- Chemielaborantin/Chemielaborant
- Metallbauerin/Metallbauer
- Physikalaborantin/Physiklaborant
- Verwaltungsfachangestellte/Verwaltungsfachangestellter

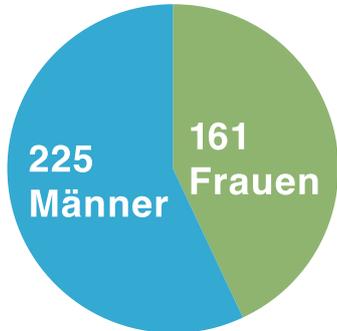
Die einzelnen Ausbildungsstellen werden nicht in jedem Beruf jedes Jahr besetzt. In einigen Berufen werden die Ausbildungsstellen erst nach Abschluss des jeweiligen Ausbildungszeitraumes (zwischen 3 und 3,5 Jahren) nachbesetzt.

Im Anschluss an eine erfolgreich absolvierte Ausbildung bietet die BAST ihren Auszubildenden einen Arbeitsvertrag zunächst über 2 Jahre an, um erste praktische Erfahrungen direkt vor Ort sammeln zu können. Sofern es freie Stellen gibt, werden ehemalige Auszubildende natürlich gerne auch unbefristet übernommen.

Informationen zu allen Ausbildungsberufen bei der BAST und zu offenen Ausbildungsplätzen gibt es im Internet.

[www.bast.de/ausbildung](http://www.bast.de/ausbildung)

# BASt Zahlen und Fakten 2021



386

Beschäftigte

16



Auszubildende



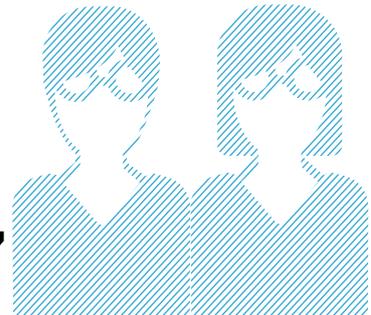
85



Berichte

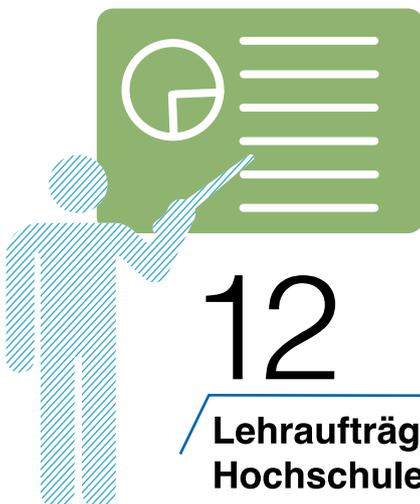
in eigener Schriftenreihe

187



Wissenschaftlerinnen  
und Wissenschaftler

12



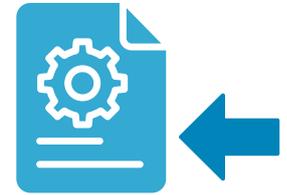
Lehraufträge an  
Hochschulen

45



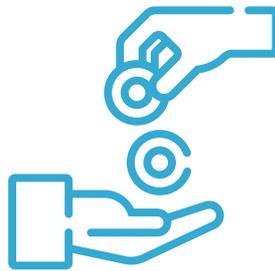
Durchschnittsalter  
der Beschäftigten

Mitarbeit in  
**833**  
Gremien

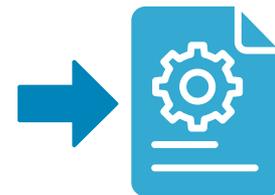


rund 260 eigene  
Forschungsprojekte

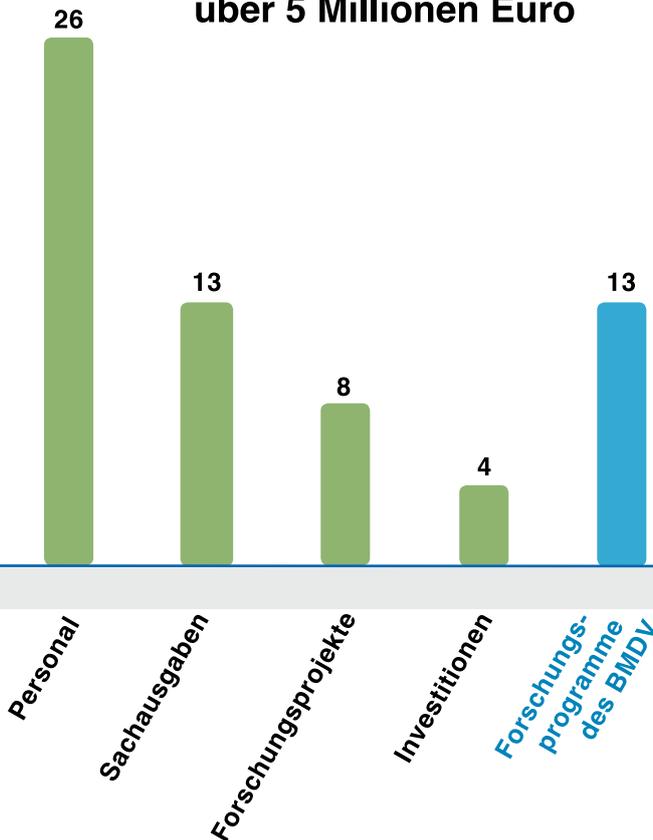
**24**



laufende  
**Drittmittelprojekte**  
mit einem Gesamtbudget von  
über 5 Millionen Euro



Bearbeitung von über  
300 externen Projekten



**51** Millionen  
**Etat der BAST**

# Lehraufträge und Promotionen

Wie erfolgreich die BAST-Beschäftigten im Jahr 2021 waren, zeigen auch Promotionen sowie ausgewählte Lehraufträge an unterschiedlichen Hochschulen und Fakultäten.



Jennifer Bednorz: Lehrauftrag an der Technischen Hochschule Köln im Mastermodul „BIM im Brücken- und Ingenieurbau“.



Dr. Dirk Jansen: Lehraufträge an der Universität Siegen im Bereich Straßenbautechnik.



Dr. Claudia Evers: Lehrauftrag an der Deutschen Psychologen Akademie (DPA) Berlin im Bereich Verkehrspsychologie.



Dr. Ingo Kaundinya: Lehrauftrag an der Fachhochschule Aachen im Lehrgebiet Tunnelplanung (Masterstudium).



Dr. Alexander Frey: Verleihung des akademischen Grads „Doktor der Naturwissenschaften“ von der Technischen Universität Braunschweig.



Bernhard Kollmus: Lehrauftrag an der Technischen Universität Dresden, Lehrveranstaltung „Verkehrssicherheit bei Planung, Entwurf und Betrieb von Straßen“.



Dr. Maximilian Grabowski: Verleihung des akademischen Grads „Doktor der Naturwissenschaften“ von der Ruhr-Universität Bochum.



Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Markus Oeser: Lehrauftrag an der RWTH Aachen für Tunnelplanung und Tunnelbetrieb (Masterstudium) und Gastprofessor am Harbin Institute of Technology (HIT) in Harbin, Heilongjiang, China.



Ralph Holst: Lehraufträge an der Bauhaus-Universität und der Bauhaus Weiterbildungsakademie Weimar e. V. im Bereich Bauwerksprüfung und Bauwerksmanagement.



Dr. Benjamin Schreck-von Below: Verleihung des akademischen Grads „Doktoringenieur“ von Technische Universität Dresden.



Andre Seeck: Lehraufträge an der Dresden International University und an der Technischen Universität Graz im Bereich Fahrzeugsicherheit.



Dr. Patrick Seiniger: Lehrauftrag an der Technischen Universität Darmstadt im Fachgebiet Fahrzeugtechnik zum Thema Motorräder.



Elisabeth Shi: Lehrauftrag an der Rheinischen Fachhochschule Köln im Bereich Statistik für die Studiengänge Psychologie und Wirtschaftspsychologie.



André Wiggerich: Lehrauftrag an der Rheinischen Fachhochschule Köln im Bereich psychologische Methodenlehre und Statistik.



Prof. Dr. Ulf Zander: Lehrauftrag an der Universität Siegen im Bereich Straßenbau.

# Organisation der BASt

