



Bundesministerium
für Verkehr und
digitale Infrastruktur



Expertennetzwerk

Wissen Können Handeln

Verkehr und Infrastruktur 2018

1. Tagung des BMVI-Expertennetzwerks

14. Juni 2018, BMVI, Berlin

Programm



Verkehr und Infrastruktur 2018

1. Tagung des BMVI-Expertennetzwerks

Das BMVI-Expertennetzwerk ist ein neues Forschungsformat in der Ressortforschung. Unter dem Leitmotiv „Wissen – Können – Handeln“ haben sich sieben Ressortforschungseinrichtungen und Fachbehörden des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) 2016 zu einem Netzwerk zusammengeschlossen. Ziel des Netzwerks ist es, die Kompetenzen der beteiligten Behörden auf eine breitere gemeinsame Basis zu stellen, sich intensiver miteinander zu vernetzen und so einen verkehrsträgerübergreifenden Wissens- und Technologietransfer zu fördern.

Die am BMVI-Expertennetzwerk beteiligten Ressortforschungseinrichtungen und Fachbehörden sind

- das Bundesamt für Güterverkehr (BAG),
- das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH),
- die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG),
- die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt),
- die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW),
- der Deutsche Wetterdienst (DWD) und
- das Eisenbahn-Bundesamt (EBA).

Mit der 1. Verkehrs- und Infrastrukturtagung intensiviert das BMVI-Expertennetzwerk den Dialog mit Politik und Verwaltung sowie mit Akteuren aus Industrie, Wirtschaft, Wissenschaft und Forschung. Drei Leitthemen stehen dabei im Fokus der Tagung: die Zuverlässigkeit alternder Infrastruktur zu verbessern, die Resilienz bei außergewöhnlichen Ereignissen zu stärken sowie eine umweltgerechte Verkehrs- und Infrastrukturentwicklung zu fördern. Zu diesen Themen werden im Rahmen der Tagung Ergebnisse und Zwischenergebnisse der praxisnahen Forschung des BMVI-Expertennetzwerks vorgestellt.



Programm

14. Juni 2018

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
Invalidenstraße 44, 10115 Berlin

Moderation: Nikolaus Lisson

Ab 8:30 Uhr Eintreffen und Registrierung

9:30 - 9:50 Uhr Begrüßung

- Steffen Bilger, Parlamentarischer Staatssekretär beim Bundesminister für Verkehr und digitale Infrastruktur
- Prof. Dr. Christoph Heinzelmann, Leiter der Bundesanstalt für Wasserbau
- Stefan Strick, Präsident der Bundesanstalt für Straßenwesen

9:50 - 11:00 Uhr Leitthemen des Expertennetzwerks

- **Zuverlässigkeit alternder Verkehrsinfrastruktur**
Claus Kunz (BAW), Ralph Holst (BASt), Meike Holtkämper (EBA)
- **Resilienz bei außergewöhnlichen Ereignissen**
Dr. Jürgen Krieger (BASt), Dr. Stephanie Hänsel (DWD), Dr. Enno Nilson (BfG)
- **Umweltgerechte Verkehrs- und Infrastrukturentwicklung**
Dr. Franz Schöll (BfG), Michael Cox (BAG), Dr. Torben Kirchgeorg (BSH)

11:00 - 11:30 Uhr Postersession: Vorstellung von drei Beispielen im Plenum

- **Zustands- und Zuverlässigkeitsbewertung von Ingenieurbauwerken der Verkehrssysteme** (Seite 8 f.)
Heike Schmidt-Bäumler (BAW), Markus Reinhardt (EBA)
- **Datengrundlagen und Auswerterrahmen für die Klimawirkungsanalyse des Verkehrssystems** (Seite 48 f.)
Dr. Andreas Walter (DWD), Dr. Anette Ganske (BSH), Dr. Martin Helms (BfG)
- **Verkehrsträgerübergreifende Betrachtungen zur Lebensraumvernetzung auf Verkehrsnebenflächen** (Seite 60 f.)
Dr. Daniel Esser (BfG), Dr. Pia Bartels (BASt)

11:30 - 12:00 Uhr Postersession: Ausstellung

- **Zuverlässigkeit alternder Infrastruktur**
 - Zustandserfassung und Beurteilung von Ingenieurbauwerken – Neue Ansätze und neue Entwicklungen (Seite 7 ff.)
 - Optimierte Baumaßnahmen unter Betrieb (Seite 23 ff.)
- **Resilienz bei außergewöhnlichen Ereignissen**
 - Resilienz des Verkehrssystems – Fallbeispiele (Seite 33 ff.)
 - Klimawirkungsanalysen – Grundlagen und Beispiele (Seite 47 ff.)
- **Umweltgerechte Verkehrs- und Infrastrukturentwicklung**
 - Lebensraumvernetzung und Biodiversität (Seite 59 ff.)
 - Stoffliche und geräuschbedingte Emissionen und Immissionen (Seite 71 ff.)

12:00 - 13:00 Uhr Mittagspause und Fortführung der Postersession

13:00 - 14:50 Uhr Parallele Fachsessions

- **Zuverlässigkeit von alternden Infrastrukturen verbessern** (Seite 88)
Dr. Martin Friese (BASt), Andreas Panenka (BAW)
- **Verbesserung der Resilienz des Verkehrssystems bei außergewöhnlichen Ereignissen** (Seite 89)
Eckhard Roll (EBA), Dr. Andreas Schacht (BASt)
- **Beiträge für eine integrierte Klimawirkungsanalyse der Bundesverkehrsinfrastruktur** (Seite 90)
Dr. Annegret Gratzki (DWD), Dr. Gudrun Hillebrand (BfG)
- **Verkehr und Infrastruktur umweltgerecht gestalten** (Seite 91)
Dr. Sabrina Michael (EBA), Dr. Stefan Schmolke (BSH)

14:50 - 15:15 Uhr Pause

15:15 - 15:40 Uhr Rückblick auf die Fachsessions

15:40 - 16:30 Uhr Podiumsgespräch: Strategische Weiterentwicklung des Expertennetzwerks

- Dr. Paul Becker, stellvertretender Präsident des Deutschen Wetterdienstes
- Dr. Bernd Brügge, Forschungsbeauftragter des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie
- Ingo Christian Hartmann, Forschungsbeauftragter des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur
- Prof. Dr. Christoph Heinzelmann, Leiter der Bundesanstalt für Wasserbau
- Gerald Hörster, Präsident des Eisenbahn-Bundesamtes
- Andreas Marquardt, Präsident des Bundesamtes für Güterverkehr
- Stefan Strick, Präsident der Bundesanstalt für Straßenwesen
- Prof. Dr. Thomas Ternes, Forschungsbeauftragter der Bundesanstalt für Gewässerkunde

Ab 16:30 Uhr Ausklang und Get-together

Postersession

Sämtliche Poster der Tagung sind auch online verfügbar unter www.bmvi-expertennetzwerk.de/VIT



Zustandserfassung und Beurteilung von Ingenieurbauwerken – Neue Ansätze und neue Entwicklungen

Die Erfassung und Bewertung des aktuellen Zustandes sowie Aussagen zum zukünftigen Verhalten der Bauwerke der Verkehrsinfrastrukturen bilden die wichtigste Grundlage für durchzuführende Erhaltungsmaßnahmen. Daher sollen neue und innovative Techniken, die Einblicke in die innere Konstruktion erlauben, im Hinblick auf ihre Praxistauglichkeit erkundet, untersucht und optimiert werden. Dabei werden insbesondere zerstörungsfreie Prüfverfahren, Monitoring und Unmanned Aerial Systems („Drohnen“) genauer betrachtet. Für das zukünftige Verhalten ist es wichtig, neben der bisherigen deterministischen Vorgehensweise auch praxisrelevante Methoden zu Zuverlässigkeitsaussagen zu entwickeln und pilothaft anzuwenden.

Poster

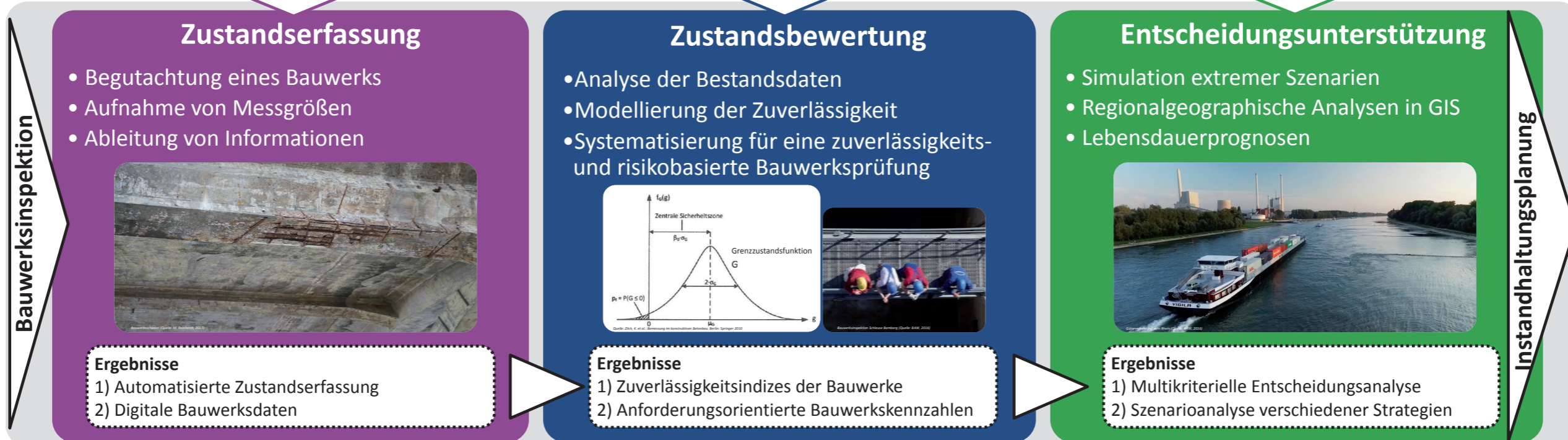
- ❖ **Zustands- und Zuverlässigkeitsbewertung von Ingenieurbauwerken der Verkehrssysteme**
Heike Schmidt-Bäumler (BAW), Rolf Rabe (BASt), Markus Reinhardt (EBA)
- ❖ **Der Blick ins Bauwerk: Monitoring und zerstörungsfreie Prüfverfahren**
Dr. Martin Friese (BASt), Mehdi Fedan (BfG), Dr. Iris Hindersmann (BASt), Markus Reinhardt (EBA)
- ❖ **Zustandserfassung und -bewertung von Infrastrukturbauwerken mittels berührungsfreier Oberflächenerfassung**
Mehdi Fedan (BfG), Patrick Havel (BfG), Rolf Rabe (BASt), Julia Sorgatz (BAW)
- ❖ **Zuverlässigkeitsbasierte Ansätze für die Zustandsbewertung von Ingenieurbauwerken**
Andreas Panenka (BAW), Rolf Rabe (BASt), Francois Nyobeu (BAW),
Dr. Viktória Malárics-Pfaff (BAW/KIT), Jan Höffgen (BAW/KIT), Dr. Frank Spörel (BAW)
- ❖ **Beiträge zu einer Risikoanalyse für Verkehrsinfrastrukturen**
Heike Schmidt-Bäumler (BAW), Dr. Kalliopi Anastassiadou (BASt), Dr. Martin Klose (BASt),
Dr. Enno Nilson (BfG)
- ❖ **Herausforderungen im Datenaustausch und Datenmanagement der Verkehrsträger**
Dr. Thomas Scharrenbach (BfG), Kasjen Kramer (BfG), Dr. Björn-Rüdiger Beckmann (DWD),
Jens Kuscherka (DWD)
- ❖ **Potenzialanalyse digitaler Technologien und Prädiktion daraus entstehender Aufgaben für Behörden**
Frederik Treuel (BSH), Markus Reinhardt (EBA)

Heike Schmidt-Bäumler (BAW), Rolf Rabe (BAST), Markus Reinhardt (EBA)

Motivation

- 1) Zukünftige Nutzung digitaler Technologien bei der Zustandserfassung und Entwurf von Standards für die Datenerhebung und ihre Auswertung
- 2) Ergänzung der Bauwerksdaten mit zuverlässigkeits- und risikobasierten Kenngrößen zur Entwicklung einer umfassenden Datenbasis für aussagekräftige und vergleichbare Zustandsbewertungen
- 3) Einbindung der Interdependenzen mit anderen (Infrastruktur-)Systemen in Investitionsentscheidungen und Bewertungsmöglichkeit für die Wirksamkeit von Entscheidungsstrategien

Vorgehensweise



Kontakt

Heike Schmidt-Bäumler, BAW
E-Mail: heike.schmidt-baeumler@baw.de



www.bmvi-expertennetzwerk.de

Fazit

Digitale Technologien eröffnen Möglichkeiten, Bauwerke effizient und zielgerichtet zu untersuchen, sie zu bewerten und ihre Instandhaltung zu planen.

Elementare Grundlage sind die Erfassung von Daten und die Ableitung und Verknüpfung der relevanten Informationen.

Zielsetzung ist es, diese Daten reproduzierbar zu erheben und zu analysieren, um eine anschließende Bewertung zu standardisieren.



Ausblick

Aufgrund der Interdependenzen zwischen Gesellschaft, Wirtschaft, Umwelt und den Verkehrsinfrastrukturen wird analysiert, welche Methoden aus dem Risikomanagement sich für eine Verbesserung der Instandhaltungsstrategie eignen.

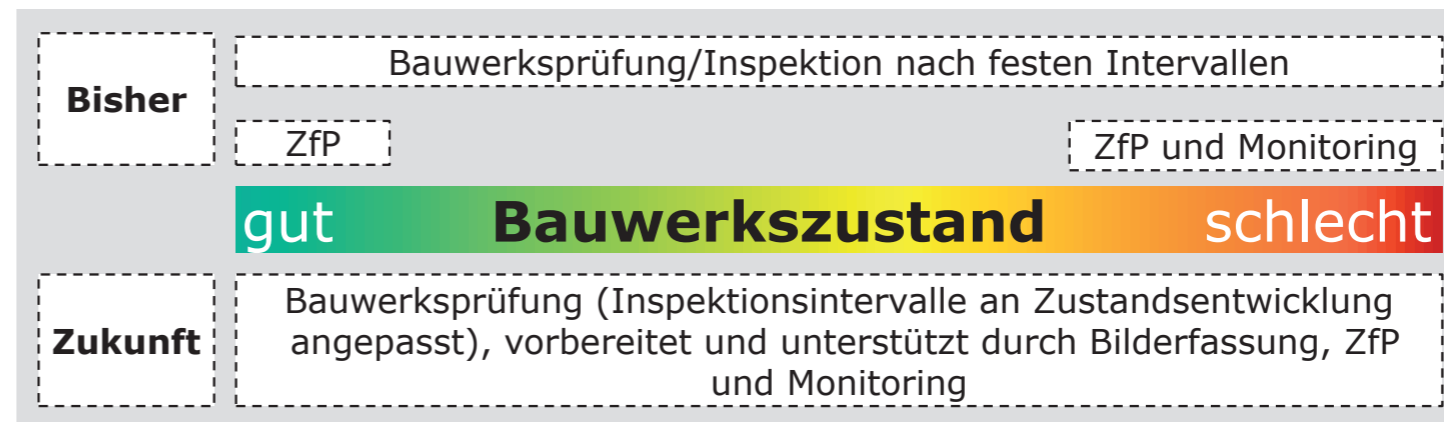
Die Vorteilhaftigkeit zeigt sich dabei in der Ganzheitlichkeit der zu prüfenden Kriterien, was wiederum Voraussetzung für eine transparente und objektive Priorisierung von Investitionen ist.

Martin Friese (BASt), Mehdi Fedan (BfG), Iris Hindersmann (BASt), Markus Reinhardt (EBA)

Motivation

Der zentrale Akteur bei der Erfassung des Bauwerkszustandes ist der Bauwerksprüfer. Moderne Verfahren der ZfP oder des Monitorings werden bei der Beurteilung des Bauwerkszustandes oftmals nicht genutzt. Die damit erlangten Informationen können aber helfen, den Zustand besser zu bewerten. Ein Standard-

verfahren für alle Problemstellungen ist nicht vorhanden. Ziel des Projektes ist die Erfassung vorhandener Verfahren, die bereits zur Gewinnung von Informationen genutzt werden. Weiterhin sollen neue Verfahren zur Bereitstellung zusätzlicher Informationen in der Bauwerksprüfung angezeigt werden.



Monitoring von Bauwerken

Mit dem Einsatz von Monitoringsystemen soll das Ziel des *predictive maintenance*, das heißt ein optimiertes, vorausschauendes Erhaltungsmanagement erreicht werden. **Sensoren** liefern zusätzliche Informationen zu im Bauwerk ablaufenden Prozessen. Das übergeordnete Ziel ist eine langfristig sichere Nutzung des Bauwerks. Mit dem Monitoring werden **Einwirkungen** (z.B. Verkehr) auf das Bauwerk und dessen **Reaktionen** (z.B. Verformung) erfasst. Abb. 1 u. 2 zeigen Anwendungsbeispiele.



Abb. 1: Installationsorte der Neigungsmesssysteme im Wehr der Schleusenanlage Hessigheim (Quelle: Geo Basis-DE / BKG 2018)

Ein Monitoringsystem (Neigung und Temperatur) wird zur Überwachung des Wehrbereichsverhaltens an drei Pfeilern in der Schleusenanlage Hessigheim (Abb. 1) eingesetzt. Feuchtesensoren liefern Informationen zum Wassergehalt und zur Überschreitung von möglichen Alarmwerten an Bauwerken (Abb. 2).

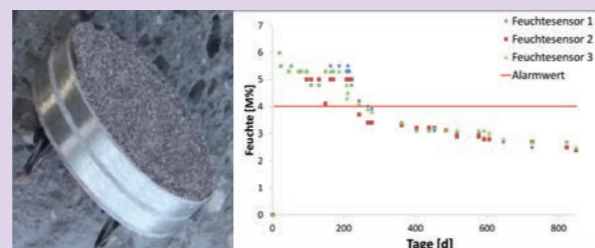


Abb. 2: Feuchtesensor (BS2 Sicherheitssysteme GmbH) und Auswertung von Feuchtedaten (Quelle: BASt 2016)

Zerstörungsfreie Prüfverfahren (ZfP)

Bei der klassischen Bauwerksprüfung werden Schäden entdeckt, deren Auswirkungen an der Bauteiloberfläche feststellbar sind. ZfP im Bauwesen erweitern die Möglichkeiten und bieten einen „Röntgenblick“ ins Bauwerk beispielsweise bei Schadensdiagnose und Qualitätssicherung (Abb. 3).

Voraussetzung für einen erfolgreichen Einsatz von ZfP sind **validierte Lösungen**, **informierte Verantwortliche** und **qualitätsbewusste Prüfer**. Es werden **Validierungskonzepte** und Maßnahmen zur **Qualitätssicherung der ZfP** erarbeitet

und es wird ein **Verfahrenskatalog** erstellt, der zur Prüfaufgabe passende ZfP-Verfahren beschreibt.



Abb. 3: Radarmessung an einer Brücke (Quelle: BASt 2018)

Kontakt

Martin Friese, BASt
E-Mail: friese@bast.de



www.bmvi-expertennetzwerk.de

Fazit

Für die vorausschauende Erhaltung gilt es, die klassische Bauwerksprüfung durch weitere Verfahren zu ergänzen. Diese Verfahren können kontinuierlich über Einwirkungen und Zustandsentwicklung informieren (Monitoring), Informationen aus dem Bauteilinneren aufzeigen (ZfP) und den Prüfaufwand durch die Auswahl relevanter Bereiche optimieren.

Ausblick

Damit ergänzende Verfahren in die breite Anwendung kommen, müssen Möglichkeiten, Grenzen sowie Nutzen dieser Verfahren erforscht und dokumentiert sein. Die Verfahren liefern zusätzliche Informationen, die Bauwerksverantwortliche in die Lage versetzen, Erhaltungsmaßnahmen frühzeitig zu planen, noch bevor Schäden an der Bauteiloberfläche erkennbar sind.

Mehdi Fedan (BfG), Patrick Havel (BfG), Rolf Rabe (BASt), Julia Sorgatz (BAW)

Motivation

Anwendungen aus Photogrammetrie, Laserscanner und Fernerkundung bieten **effiziente** und **wirtschaftliche** Lösungen zur Bauwerksprüfung. Sie ermöglichen eine zunehmend automatisierte, objektivere **Zustandserfassung**.

Erfassungszeit und **Personalaufwand** vor Ort werden erheblich **reduziert**. Technologien wie Unmanned Aerial Vehicles (UAV) erlauben es, **schwer zugängliche Bauwerksbereiche** zu erfassen. Die Verfahren können so derzeitige Erfassungsmethoden ergänzen.

Am Bauwerk: Laserscanning und Nahbereichsphotogrammetrie

Die Bauwerkserfassung mittels **terrestrischen Laserscannern** kann eine **frühzeitige Schadenserkennung** und **Schadensbewertung** über den gesamten **Lebenszyklus** eines Bauwerks ermöglichen. Mithilfe eines (lokalen) Bezugssystems können unterschiedliche Messepochen überlagert und **Geometrieveränderungen** (oberhalb des Wasserspiegels) als **Differenzmodell im Millimeterbereich** erfasst werden. Abb. 1 und 2 veranschaulichen das Verfahren am Beispiel einer Ufersicherung.



Abb. 1: (a) Festpunkt, (b) Reflektor und (c) terrestrische Erfassung einer Uferböschung mittels Laserscanner

Aus der Luft: UAV-gestützte Photogrammetrie und Laserscanning

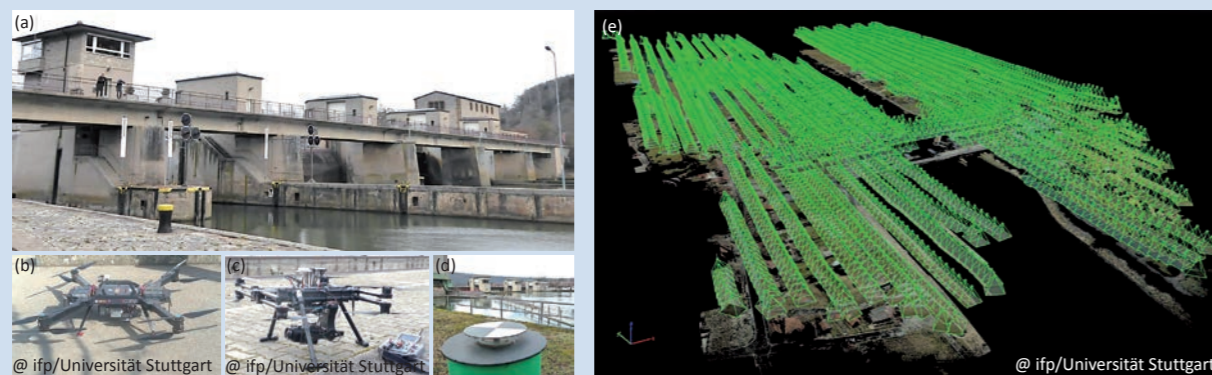


Abb. 5: (a) Schleusenanlage Hessigheim, (b) UAV mit Laserscanner, (c) UAV mit digitaler Kamera, (d) Pfeilerpasspunkt und (e) Bildfluganordnung

Der Einsatz von **UAV-Systemen** bietet gegenüber bisher eingesetzten Techniken neue fachliche und wirtschaftlichere Möglichkeiten zur **hochauflösenden** und **flächenhaften Erfassung** sowie **Beurteilung** von Bauwerken und deren Umfeld.

Aus den gewonnenen digitalen Bild- und Laserscannerdaten werden digitale **Oberflächen-** und **Differenzmodelle** in 10-cm-Auflösung erzeugt, um somit mögliche **3D-Veränderungen** zu detektieren.

Das **Ziel** sind neue messtechnische **Erfassungs- und Auswertekonzepte** für ein effizientes Monitoring, welche in diesem Zusammenhang an der Schleusenanlage Hessigheim/Neckar entwickelt werden (s. Abb. 5).



Abb. 2: Differenzmodell der Uferböschung

In einer Pilotstudie wurde die **Prüfbarkeit von Schäden** aus digitalen Aufnahmen mit **UAV** unter anderem an **schwer zugänglichen Bauwerksbereichen** untersucht. Die Ergebnisse sind auszugswise in Tab. 1 dargestellt.

Potenzielle Schäden	Voreinschätzung	Aktuelle Einschätzung
Allgemein:		
Bauwerke aus Beton / Außenflächen	🟡	🟢
Bauwerke aus Stahl / Außenflächen	🟡	🟢
Bauwerke aus Stein / Außenflächen	🟢	🟢
Hohlkästen / Innenflächen	🟡	🟡
Beton:		
Betonoberfläche: Abplatzung / Bindedrahtreste / Fremdkörper / Betonoberfläche: Schalungsanker / Grobkornstelle/ Anhaftung	🟡	🟢
Betonoberflächen: Einstufung in Sichtbetonqualitätsstufe		🟢
Tausalze / Chlorideinwirkungen	🟡	🟡
Alkali-Kieselsäurereaktion	🟡	🟡
Erkennbarkeit Risse, Breite $b \leq 0,2$ ⁽¹⁾	🟡	🟡
Erkennbarkeit Risse, Breite $b > 0,2$ ⁽¹⁾	🟡	🟡
Abplatzung / freiliegende Bewehrung	🟢	🟢
Aussinterung	🟢	🟢
Instandsetzung / Betonersatzsystem:		
Stahl:		
Schraube / Unterlegscheibe / Niet	🟡	🟡
Schweißnähte / Umschweißungen	🟡	🟢
Korrosion	🟢	🟢
Korrosionsschutzbeschichtung:		
Oberfläche / Ausbesserung / Anhaftung	🟡	🟢

🟢 Überwiegend prüfbar 🟡 Teilweise prüfbar 🟠 Überwiegend nicht prüfbar
⁽¹⁾ Erkennbarkeit unter günstigen Randbedingungen, wie z.B. Licht, Feuchtigkeit, usw. Rissbreitenmessung derzeit noch nicht möglich

Tab. 1: Prüfbarkeit von Schäden (modifiziert), Quelle: Bericht zum FE 15.0602/2014/LRB „Unterstützung der Bauwerksprüfung durch innovative digitale Bildauswertung – Pilotstudie“, TÜV Rheinland

Kontakt

Mehdi Fedan, BfG
 E-Mail: fedan@bafg.de



www.bmvi-expertennetzwerk.de

Aus dem Weltall: Fernerkundungsanwendung

Mit Hilfe der **kostenfreien Radardaten** der beiden **Satelliten Sentinel-1A** und **-1B** (s. Abb. 3) des europäischen **Erdbeobachtungsprogramms Copernicus** können Bauwerke und deren Umfeld über einen **längeren Zeitraum** oder gar den gesamten **Lebenszyklus** beobachtet werden.

Unter Zuhilfenahme von natürlichen oder künstlichen persistenten Rückstreuern (s. Abb. 4) und hochentwickelten Auswerteverfahren können **Veränderungen des Bau-**

werks und des erweiterten Bauwerks Umfelds als Raumvektor **millimetergenau** erfasst werden. Die Potenziale der **Sentinel-1**-Daten sowie die Vergleichbarkeit zu den kommerziellen **TerraSAR-X**-Daten werden zurzeit untersucht.



Abb. 3: Satellit Sentinel-1



Abb. 4: Corner-Reflektor

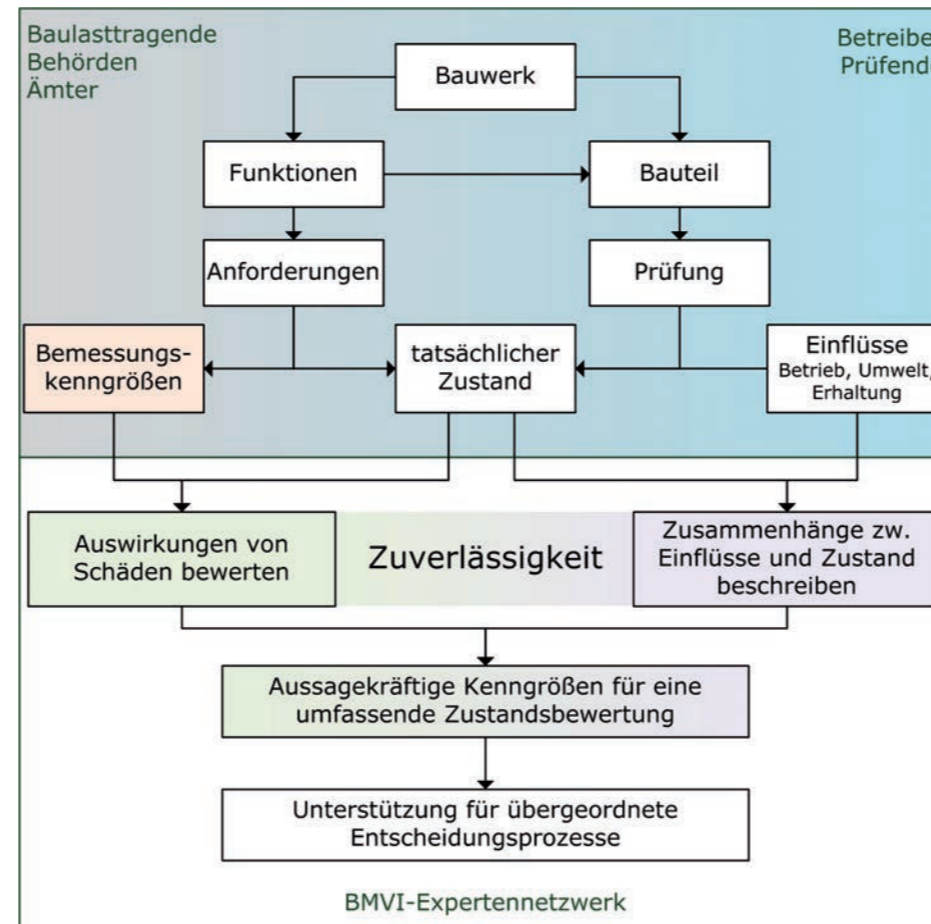
Andreas Panenka (BAW), Rolf Rabe (BASt), François Nyobeu (BAW), Viktória Malárics-Pfaff (BAW/KIT), Jan P. Höffgen (BAW/KIT), Frank Spörel (BAW)

Motivation

Ingenieurbauwerke der Verkehrsinfrastruktur sind **komplexe Systeme**, die einer Vielzahl von äußeren und inneren **Einflüssen** unterliegen. Die Sicherheit eines Bauwerks hängt stark davon ab, welche **Auswirkungen** diese Einflüsse auf den Bauwerkszustand haben und wie umfassend die zugrundeliegenden **Zusammenhänge** bei der Entscheidung über Erhaltungsmaßnahmen berücksichtigt werden. Durch **zuverlässigkeitsbasierte Ansätze** sollen diese Zusammenhänge bereits bei der **Zustandsbewertung** detailliert abgebildet werden, um **aussagekräftige Kenngrößen** (z.B. für die Tragfähigkeit) für übergeordnete Entscheidungsprozesse zu erhalten.

Realistische Bemessungskenngrößen

Für eine realistische Beschreibung der Auswirkungen von Schäden müssen die zugrundeliegenden **Bemessungskenngrößen** so genau wie möglich bekannt sein. Dafür werden komplexe Details, wie z.B. die Scherfestigkeit in Arbeitsfugen oder der Hydroabrasionswiderstand von Betonen, eingehend untersucht und bewertbar gemacht. Die **Untersuchungsmethoden** müssen alle relevanten Einflussgrößen berücksichtigen, dabei aber einfach genug sein, um die Anwendbarkeit zu gewährleisten.



Einflüsse und deren Wirkungen

Je **mehr Einflüsse** in einer Zustandsbewertung berücksichtigt werden, desto **aussagekräftiger** werden ihre **Ergebnisse**. Mit Hilfe einer **qualitativen Zuverlässigkeitsanalyse** können die **Zusammenhänge** zwischen möglichen Einflussgrößen und deren Auswirkungen auf ein System **beschrieben** und in Abhängigkeit von den funktionalen Anforderungen **analysiert** und **bewertet** werden.

Schäden an Bauwerken können auf diese Weise gezielt hinsichtlich ihrer Häufigkeit, Abwendbarkeit und Bedeutung in Bezug auf **unterschiedliche Grenzzustände bewertet** werden.

Für komplexe Systeme bieten sich dafür sog. **Ursache-Wirkungs-Analysen** (z.B. FMEA) an, deren **Kenngrößen** für eine **differenzierte** und **umfassende Zustandsbewertung** zur Verfügung stehen.

Fazit

Zuverlässigkeitsbasierte Ansätze für die Zustandsbewertung von Ingenieurbauwerken bieten die Möglichkeit, mittels **aussagekräftiger Kenngrößen** unterschiedliche Auswirkungen von Einflussgrößen in Abhängigkeit von den Anforderungen an das Bauwerk abzubilden. **Genauere Kenntnisse** über das Bauwerk, seine konstruktiven Besonderheiten und die vorhandenen Schäden sind **unerlässlich** für den Einsatz dieser Methoden.

Die **Ergebnisse** der vorgestellten Methoden können übergeordnete **Entscheidungsprozesse** unterstützen, die für die Entwicklung einer effektiven und nachhaltigen **Erhaltungsstrategie** z.B. mittels **Priorisierung** notwendig sind.

Tragfähigkeit geschädigter Bauwerke

Im Rahmen der Erarbeitung eines Konzeptes für eine **zuverlässigkeitsbasierte Bauwerksprüfung** wird eine Methode zum Vergleich von einer Vielzahl an ähnlichen Bauwerken entwickelt („screening tool“). Dafür wird der **Zuverlässigkeitsindex** als Kenngröße einzelner Ingenieurbauwerke mittels probabilistischer Berechnungsmethoden bestimmt. Dies geschieht in einem ersten

Schritt für den ungeschädigten Zustand. Unter Berücksichtigung der Art, des Ausmaßes und des Ortes der Schäden auf Basis der **Datenbank SIB-Bauwerke** werden anschließend die Zuverlässigkeitsindizes am **geschädigten** Bauwerk bestimmt.

Anhand dieser Indizes kann die **Tragfähigkeit** von ähnlichen Bauwerken **vergleichbar dargestellt** werden.

Kontakt

Andreas Panenka, BAW
E-Mail: andreas.panenka@baw.de



www.bmvi-expertennetzwerk.de

Heike Schmidt-Bäumler (BAW), Kalliopi Anastassiadou (BASt), Martin Klose (BASt), Enno Nilson (BfG)

Motivation

1. Elementare Eigenschaft der Verkehrsinfrastrukturen sind ihre Interdependenzen mit einer Vielzahl anderer komplexer Systeme.
2. Eine Evaluierung der bestehenden Unsicherheiten hinsichtlich der Folgen von Extremereignissen verbessert das Prozessverständnis.
3. Die Ergebnisse werden Bestandteil strategischer Entscheidungen sowie für zukünftige Risikoanalysen.

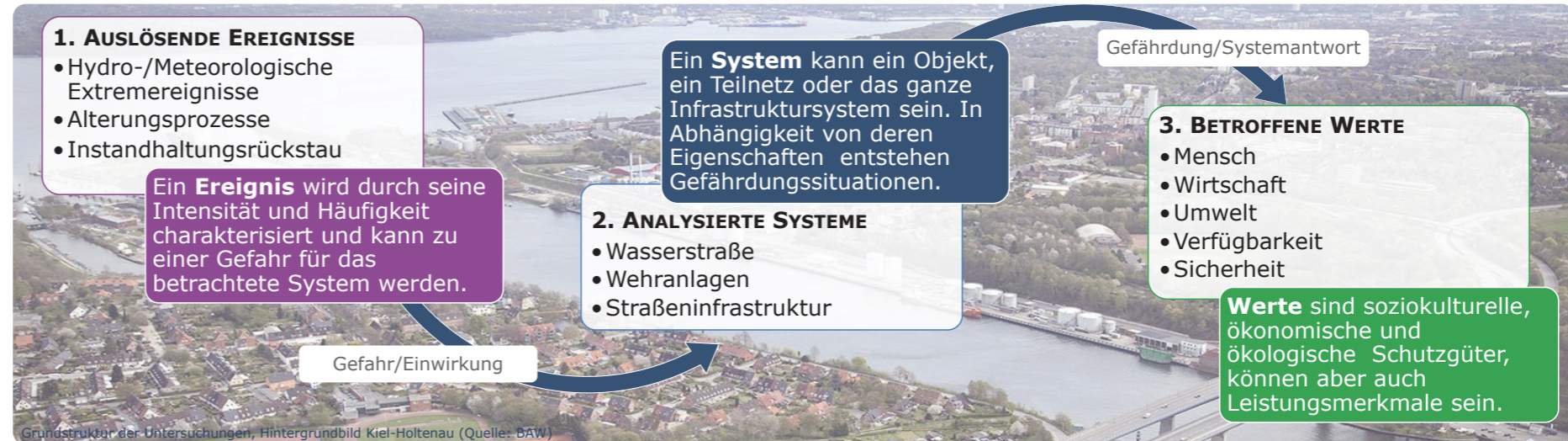
Fragestellungen:

Wie wirken Klimaveränderungen auf die Verkehrsinfrastruktur?

Wie werden kritische Elemente in Infrastruktursystemen identifiziert?

Welche Folgen haben Bauwerksausfälle oder der Ausfall von Verkehrsachsen?

Quantifizierung und Prognose der Auswirkungen bei außergewöhnlichen Ereignissen



Klimawirkungsanalyse für das Bundesverkehrswegeetz

Die Klimawirkungsanalyse dient der Identifizierung von potenziell betroffenen Abschnitten des Bundesverkehrswegeetzes und der Ermittlung des Anpassungsbedarfs. Die Datenanalyse und Ergebnisvisualisierung erfolgt mittels eines Geoinformationssystems (GIS). Die Klimawirkungsanalyse wird für 2031-2060 und 2071-2100 für Hoch- und Niedrigwasser, Hangrutschungen, Sturm und Hitze durchgeführt.

Ein Beispiel für die praktische Anwendung der Methodik zeigt das Poster „Hochwasser“ (Jens Kirsten et al., BASt)



Fazit

Die Analysen der Folgen von hydro-/meteorologischen Extremereignissen und einem Ausfall von Ingenieurbauwerken zeigen die Komplexität der Wirkzusammenhänge und die Relevanz risikobasierter Ansätze.

Ausblick

Ziel sind sowohl die zeitliche und räumliche Verortung der Auswirkungen extremer Ereignisse als auch die Abbildung ihrer Bedeutung innerhalb der Infrastruktursysteme für Planungs- und Entscheidungsebenen.

Langfristiges Ziel ist die Entwicklung von Verfahren zur Analyse und Entscheidungsunterstützung für ein risiko-basiertes Benchmarking auf Objekt- und Netzebene, und zwar für die Optimierung der Verfügbarkeit und der Sicherheit von Verkehrsinfrastrukturen.

Kontakt

Heike Schmidt-Bäumler, BAW
E-Mail: heike.schmidt-baeumler@baw.de



www.bmvi-expertennetzwerk.de

Risikoanalysen für Ingenieurbauwerke

Fallstudien: Versagensfolgen von Wehranlagen und Brücken

Vorgehensweise

1. Auswertung von Bestandsdaten
2. Regionalgeographische Analysen in GIS
3. Auswertung von Verkehrsstatistiken
4. Ermittlung von Wiederherstellungskosten
5. Integration von Zustandsprognosen

Ergebnisse

- Systematische Vergleiche zwischen Objekten
- Identifizierung und Bewertung kritischer Verkehrsinfrastrukturen
- Risikobasierte Priorisierung baulicher Maßnahmen (als Entscheidungsunterstützung innerhalb einer Investitionsstrategie)

Thomas Scharrenbach (BfG), Kasjen Kramer (BfG), Björn-Rüdiger Beckmann (DWD), Jens Kuscherka (DWD)

Linked (Open) Data

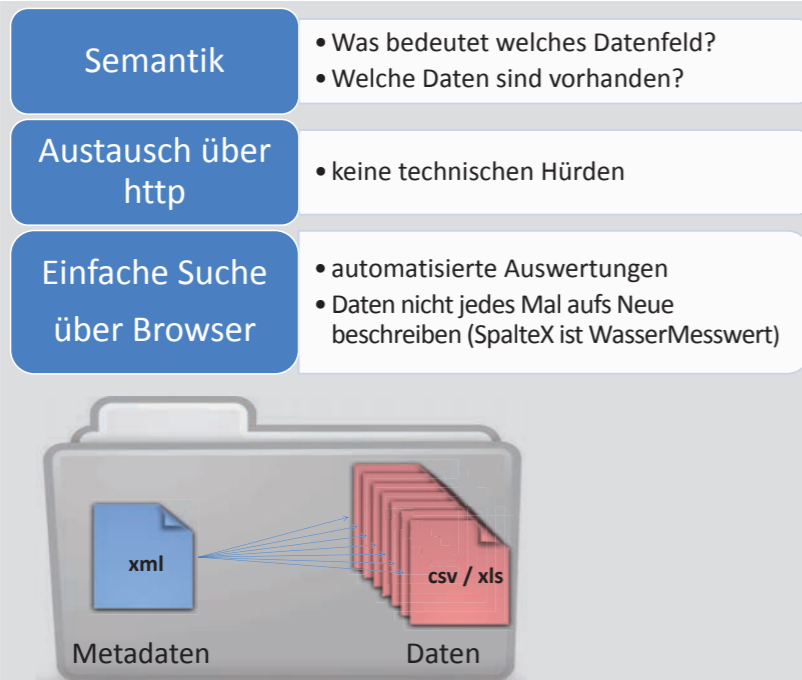


Abb. 1: Erzeugung von Metadaten für Daten

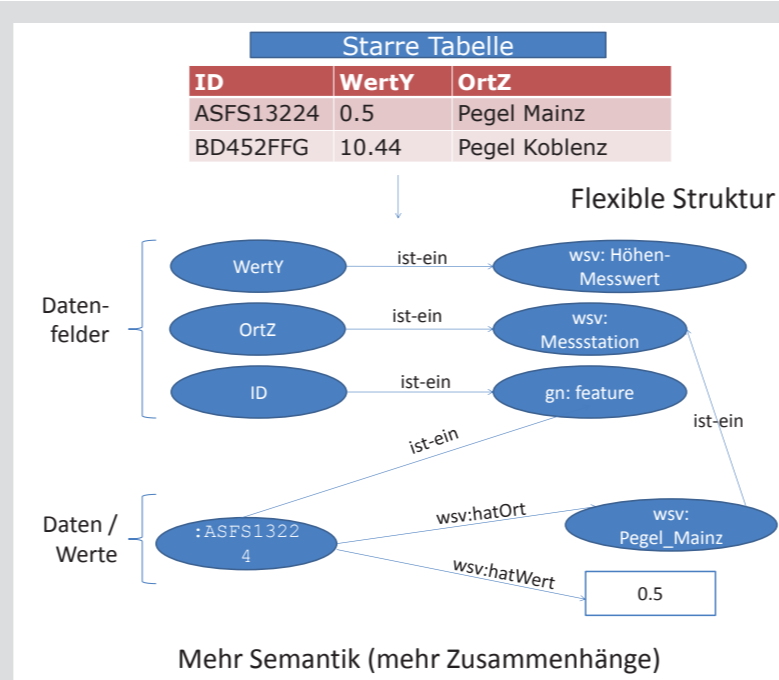


Abb. 2: Funktionsweise von Linked Open Data

Pilotprojekt: Integration von Flugwetterdaten

Ziel: Inhalt dieses Projekts ist es, die bestehenden Flugwetterdaten, wie Flugwetterwarnungen (SIGMET), Flugwetterbeobachtungen (METAR), Flugwettervorhersagen (TAF) und weitere Datenarten, über standardisierte Schnittstellen und Datenformate in die neu entstehende Infrastruktur SWIM (Systemwide Information Management) einzubinden.

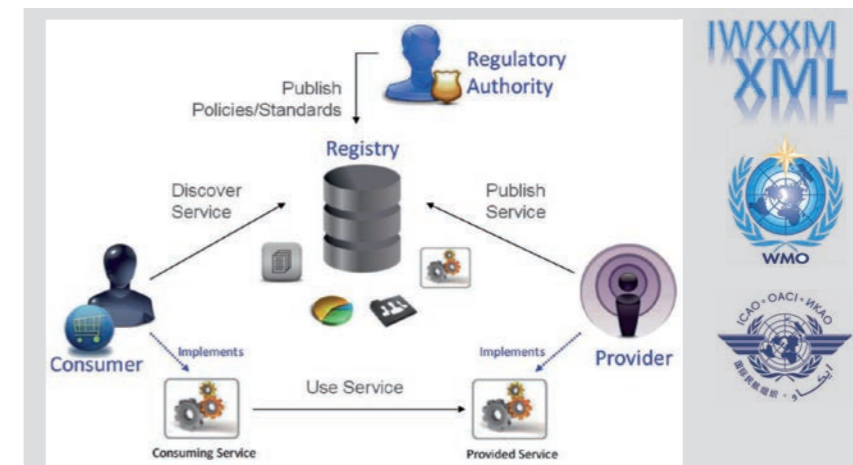


Abb. 3: Funktionsweise SWIM (Quelle: SWIM Factsheet / Eurocontrol)

„One Size Fits All“

- Austausch von Dateien**
 - standardisierte Formate
 - keine technischen Hürden
 - Metadaten über Linked Data möglich
- No-ETL**
 - kein starres Tabellenschema
 - Einbindung in Big-Data-Infrastruktur

SWIM steht für:

- offene Standards
- lose Systemkopplung
- Trennung von Datenlieferanten und Datennutzern
- Nutzung von SOA (Service Oriented Architecture)

Kontakt

Thomas Scharrenbach, BfG
E-Mail: scharrenbach@bafg.de



www.bmvi-expertennetzwerk.de

Fazit / Ausblick

- Einfacher Datenaustausch durch:
- Harmonisierung von Datenfeldern (durch Metadaten)
 - flexible Datenstruktur
 - eindeutiges Vokabular (Ontologie)
 - standardisierte Schnittstellen und Datenformate

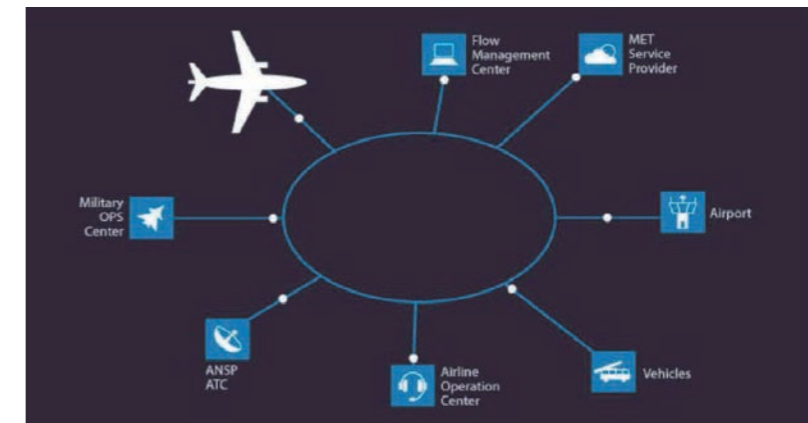


Abb. 4: Akteure SWIM Infrastruktur (Quelle: SWIM Factsheet / Eurocontrol)

Frederik Treuel (BSH), Markus Reinhardt (EBA)

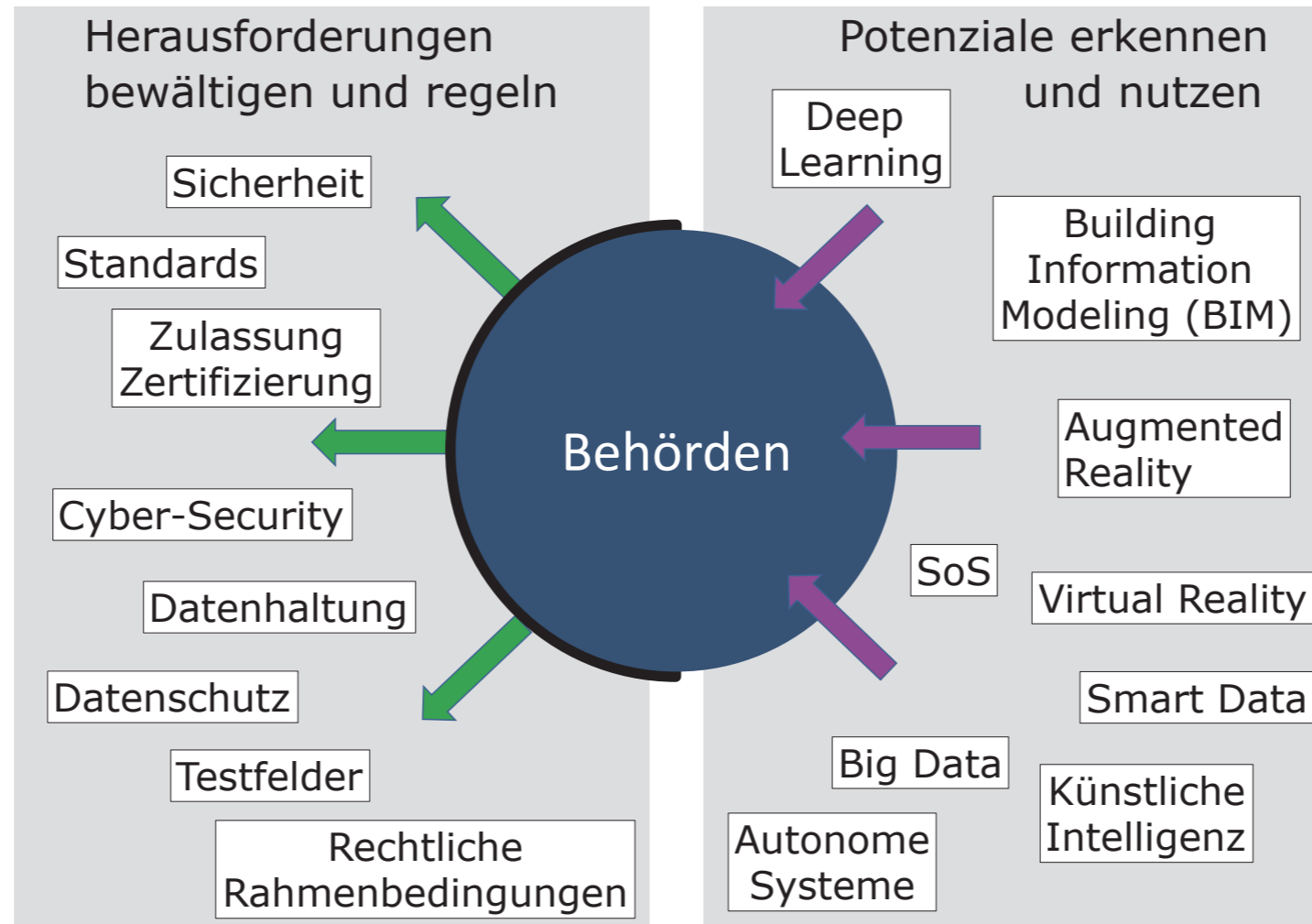
Motivation

Digitale Technologien eröffnen neue Felder in jedem Bereich des Lebens. Auch im Verkehr wird der Mensch immer mehr durch Computer und Systeme unterstützt. Gerade Behörden mit Sicherheitsaufgaben sehen sich dabei neuen Anforderungen ausgesetzt.

Im Expertennetzwerk wird daher eine Strategie verfolgt, Wissen über die Entwicklungen in der digitalen Welt frühzeitig zu erfassen und so die Möglichkeit zu eröffnen, die Potenziale selbst zu erschließen oder steuernd in die Entwicklung einzugreifen.

Beispiel: Autonome Systeme

Für alle Verkehrsträger werden bereits autonome Systeme entwickelt. Ziele sind jeweils höhere Sicherheit und Zuverlässigkeit sowie eine Reduktion des Energieverbrauchs, idealerweise kombiniert mit steigendem Komfort. Dabei ergeben sich Herausforderungen für die Behörden, die diese Systeme zulassen müssen. Dafür werden Expertengespräche und Workshops durchgeführt, um die Entwicklung zu begleiten und Handlungsempfehlungen für Politik und Behörden zu erstellen.



Beispiel BIM

Eingesetzt wird das Building Information Modeling (BIM) heute primär für Planung und Bau von Hochbauten. Ziel ist es, alle Informationen zu Planung, Bau, Betrieb und Abbruch für jedes Bauwerk zentral zu erfassen.

Beim BIM stehen dabei zwei Entwicklungen für das Expertennetzwerk im Fokus:

- **Nutzung in Behörden:** Für Planung und Bau werden primär die Möglichkeiten genutzt, die das 3D-Tool zur Veranschaulichung und zur Beseitigung von Kollisionen bietet. BIM wird dabei schon genutzt. Behörden prüfen derzeit jedoch noch 2D-Pläne, wodurch die Funktionalität eingeschränkt ist.
- **Digitaler Bauwerksbestand:** Der Einsatz von BIM endet heute relativ scharf beim Übergang in den Betrieb. Allerdings bieten sich hier große Potenziale für die Dokumentation der Bauwerkshistorie, insbesondere im Bezug auf Messungen, Umbauten, Schäden oder Prüfungen. Durch Auswertung der Daten ergeben sich große Potenziale für das Erkennen systematischer Schäden.

Insgesamt wird BIM zu einer besseren Bewirtschaftung von Bauwerken führen.

Kontakt

Frederik Treuel, BSH
E-Mail: frederik.treuel@bsh.de



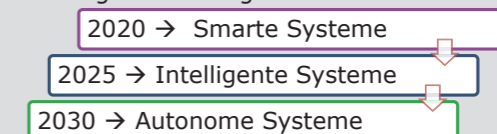
www.bmvi-expertennetzwerk.de

Workshop: Autonomisierung in der Seeschifffahrt

Workshop	Besonders wichtig	Mit Herausforderungen belegt	Übergeordnete Bedeutung
Workshop 1 April 2018	Steigerung der Sicherheit Steigerung Wirtschaftlichkeit Autonomes Fahren in Küstennähe Routingfähige Seekarten Einrichtung Versuchsfelder Weniger Unfälle auf See	Cyber-Sicherheit Zulassung lernender Systeme Arbeitsplatzsicherheit Spannungsfeld Mensch-Maschine Vereinheitlichung Brückensysteme	Fortführung Bedarfsdiskussion
Workshop 2 April 2018	Verringerung Betriebskosten Zuverlässige Vorhersagedaten Hochqualifizierte Fachkräfte Einrichtung Testfelder Stellung Versuchsträger	Cyber-Sicherheit Gewährleistung Maschinenwartung Verlust von Fähigkeiten Steigerung individueller Freizeit	Nationaler politischer Wille

Fazit und Ausblick

Das Expertennetzwerk erfasst globale Technologietrends und hilft dabei, die daraus resultierenden Potenziale und Aufgaben zu bewerten. Es sollen möglichst frühzeitig konkrete Handlungsempfehlungen für Politik und Behörden erstellt werden, um neue Technologien bestmöglich nutzen zu können.





Optimierte Baumaßnahmen unter Betrieb

Ein hohes Alter von Infrastrukturbauwerken bedeutet nicht zwingend einen schlechten Zustand, hat aber in der Regel zunehmende Schäden zur Folge. Das erfordert wiederum einen hohen Unterhaltungsaufwand, der die Verfügbarkeit der Anlagen einschränken kann. Dieser Effekt überlagert sich vielfach mit zunehmenden Belastungen aufgrund des Anwachsens der Verkehrsströme und der steigenden Beanspruchung. Es ist zu erwarten, dass die gleichzeitige Durchführung von einer Vielzahl von Bau- und Erhaltungsmaßnahmen vorübergehend zu einer Einschränkung der Leistungsfähigkeit des Verkehrsnetzes führen wird.

Die hohen Ansprüche an die Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit des Verkehrsnetzes erfordern dementsprechend eine Optimierung der Baumaßnahmen, um die Behinderungen des Verkehrs auf ein Minimum zu reduzieren. Dabei ist es wichtig, diese technisch sinnvoll, wirtschaftlich und mit möglichst geringem Eingriff in den Verkehr durchzuführen. Dafür müssen bestehende Verfahren optimiert und neue entwickelt werden. Bisherige Ergebnisse des BMVI-Expertennetzwerks werden im Rahmen der Postersession vorgestellt.

Poster

- ❖ **Herausforderungen des Bauens unter Verkehr und Lösungsansätze**
Ulrich Schmelter (BAST), Meike Holtkämper (EBA), Mario Hörnig (BAW), Rolf Rabe (BAST)
- ❖ **Bauliche, konstruktive Maßnahmen zur Reduzierung des Eingriffs in den Verkehr**
Markus Duschl (BAST), Meike Holtkämper (EBA), Ulrich Schmelter (BAST)
- ❖ **Prozessoptimierung für verkehrsstörungsfreies Bauen**
Mario Hörnig (BAW), Ulrich Schmelter (BAST), Meike Holtkämper (EBA)
- ❖ **Anpassung von Regelwerken in Bezug auf verbesserte Zuverlässigkeit**
Rolf Rabe (BAST), Meike Holtkämper (EBA), Markus Duschl (BAST), Mario Hörnig (BAW)

Ulrich Schmelter (BAST), Meike Holtkämper (EBA), Mario Hörnig (BAW), Rolf Rabe (BAST)

Motivation

Ein Großteil der bundeseigenen Verkehrsinfrastrukturen erreicht eine erhebliche Nutzungsdauer.

Um diese alternde Infrastruktur langfristig zu erhalten und deren Zuverlässigkeit sicherzustellen, werden zunehmend bauliche Erhaltungs- und Modernisierungsmaßnahmen erforderlich.

Die hiermit für die Verkehrsträger **Wasserstraße**, **Schiene** und **Straße** verbundenen Herausforderungen sind nur teilweise verkehrsträgerspezifisch. Es ergeben sich vielmehr erhebliche Überschneidungen hinsichtlich der zu bewältigenden Herausforderungen beim Bauen im Bestand unter Aufrechterhaltung des Verkehrs.

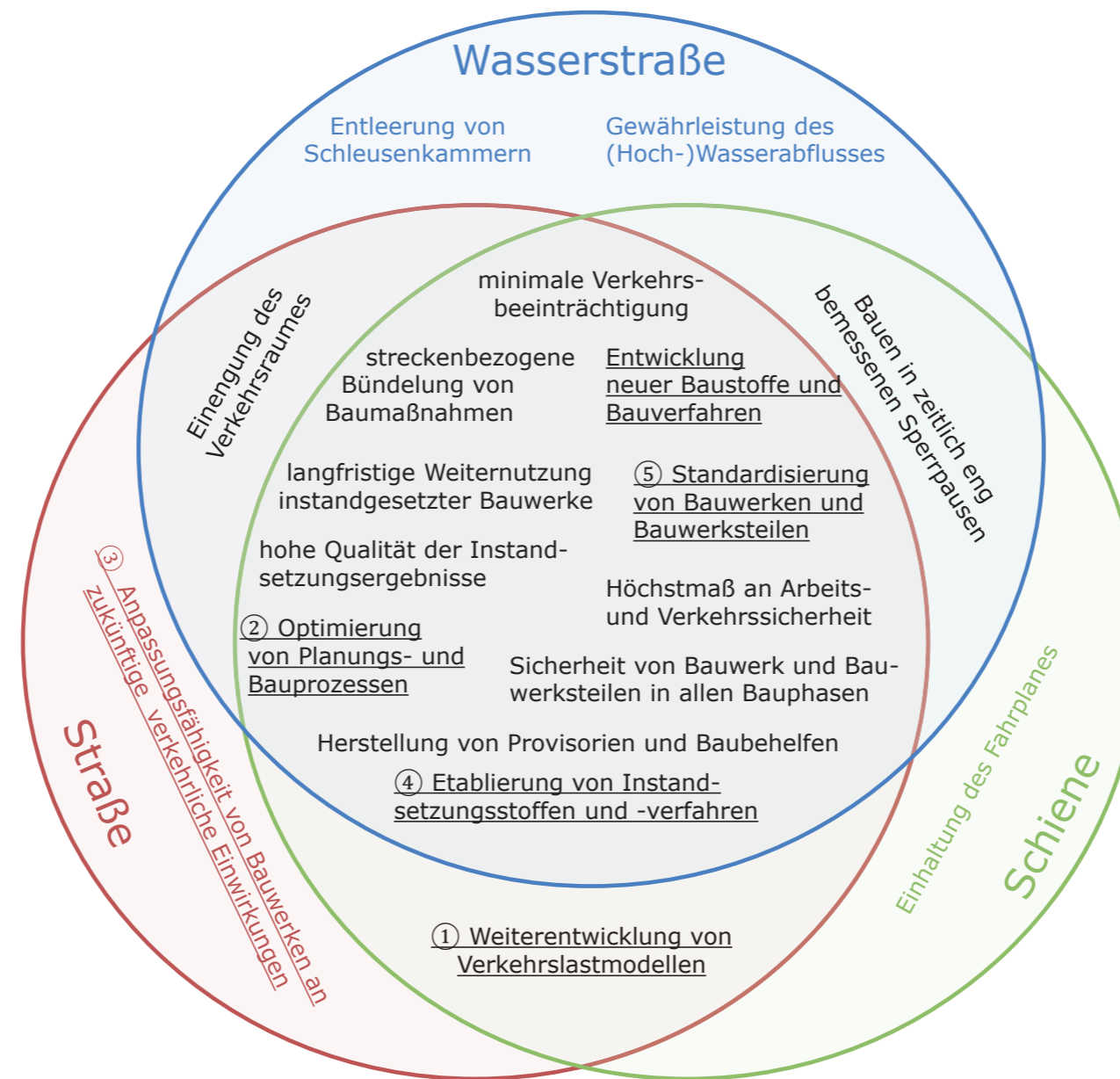


Abb. 1: Verschnidungen der Herausforderungen des Bauens unter Verkehr für die Verkehrsträger Wasserstraße, Schiene und Straße

Lösungsansätze

Folgende Projekte werden unter dem Thema „Ableitung von (Bau-) Maßnahmen unter Betrieb“ bearbeitet, um Lösungsansätze für die Herausforderungen des Bauens unter Verkehr zu gewinnen:

- Zukunftsfähigkeit der Verkehrslastmodelle ①
- Maximierung der Verfügbarkeit von Bestandsbrücken aus Stahl und Beton ②
- Anpassung von Brückenbauwerken an geänderte Nutzungsbedingungen ③
- Reparatur beziehungsweise Ersatz von Korrosionsschutzmaßnahmen zum Erhalt des Korrosionsschutzes und der Stahlkonstruktion (smart repair) ④
- Verwendung von standardisierten Eisenbahnüberführungen zur Beschleunigung von Ersatzmaßnahmen ⑤

Fazit

Aufgrund der größtenteils gleichen Herausforderungen beim Bauen unter Verkehr ergeben sich erhebliche Synergieeffekte, um die Zuverlässigkeit der alternden Infrastruktur zu gewährleisten.

Kontakt

Ulrich Schmelter, BAST
E-Mail: schmelter@bast.de



www.bmvi-expertennetzwerk.de

Markus Duschl (BAST), Meike Holtkämper (EBA), Ulrich Schmelter (BAST)

Motivation

Ingenieurbauwerke werden für eine festgelegte Belastung bemessen. Im Laufe der Lebensdauer eines Bauwerks kann es zu Änderungen der Nutzung und damit auch der Belastung für das Bauwerk kommen (Abb. 1). Muss ein Brückenbauwerk konstruktiv an die geänderten Bedingungen

angepasst werden oder ist ein Ersatzneubau unausweichlich, müssen Baumaßnahmen unter Aufrechterhaltung des Verkehrs durchgeführt werden. Um den Eingriff in den Verkehr während solcher Baumaßnahmen zu minimieren, sind innovative Lösungen gefragt.

Mögliche bauliche Maßnahmen

Vereinfachung des Austauschs von Brückenkappen

- Kappen sind wie Fahrbahnübergänge und Lager ein Verschleißteil und müssen mehrfach während der Nutzungsdauer eines Bauwerkes erneuert werden
- eine einfachere Austauschbarkeit z.B. durch Fertigteil-Kappen
- besondere Lösungen nötig für dauerhaftes Untergussmaterial, Abdichtung der Vergussöffnungen und Fugen sowie der Verankerung mit der Tragkonstruktion

Berücksichtigung möglicher Änderungen der Konstruktion beim Neubau

- Anbringen von Anschlüssen für zusätzliche Bauteile (Abb. 2)
- Öffnungen zur Durchführung, Umlenkung und Verankerung von zusätzlicher interner oder externer Vorspannung
- adaptive Vorspannung

Standardisierung von Rahmen

- Optimierung von Bauverfahren und Bauprozessen
- verkürzte Planungszeiten
- Kombination mit weiteren Verfahren wie Einhub oder Querverschub möglich (Abb. 3)

Ergebnisse und Fazit

Um den Eingriff in den Verkehr im Zuge von Baumaßnahmen während der Lebensdauer eines Brückenbauwerks zu minimieren, wurden innovative Lösungen erarbeitet. Unter anderem wurde die Ril 804.9040: Richtzeichnungen Standardisierte Rahmenbauwerke bereits überarbeitet und befindet sich in der Zulassung.

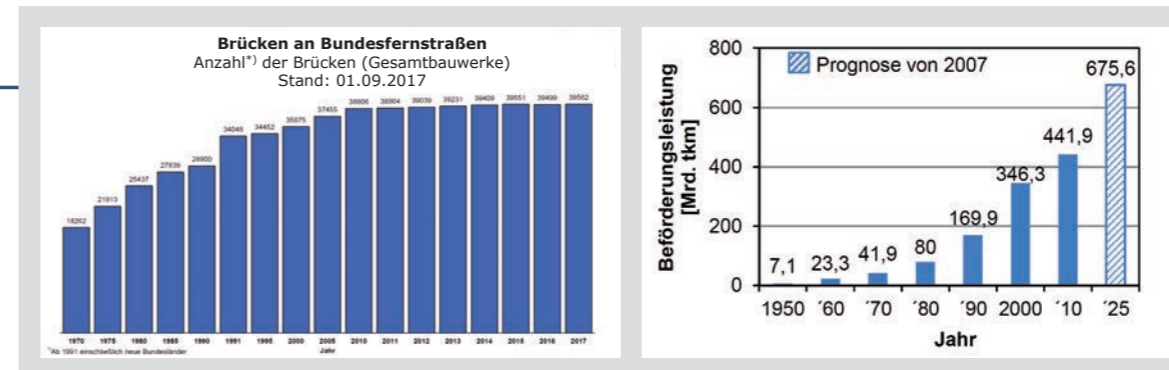


Abb. 1: Entwicklung der Gesamtzahl der Brücken in Deutschland (links), Quelle: BAST 2017; und die Entwicklung der Beförderungsleistung im Vergleich (rechts), Quelle: Schnellenbach-Held, et al.: Verstärkungen älterer Beton- und Spannbetonbrücken. Erfahrungssammlung. Dokumentation 2016, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Bonn

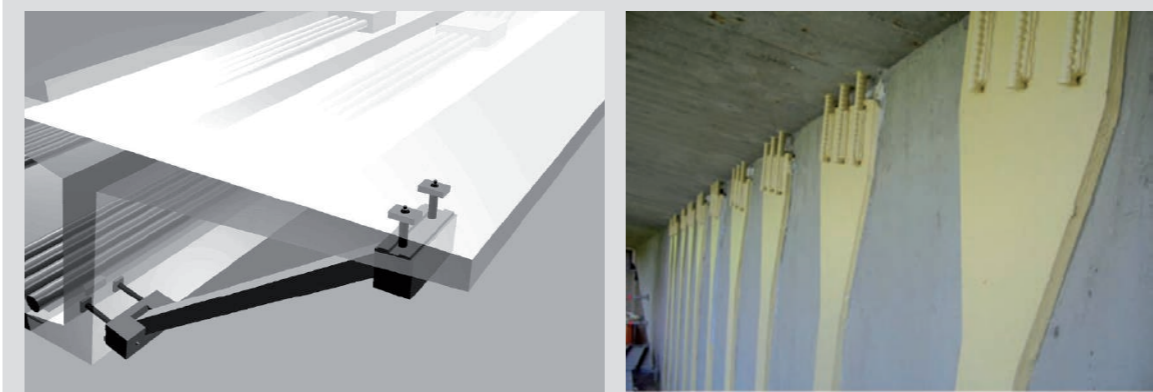


Abb. 2: Nachträglicher Anschluss einer zusätzlichen Strebe (links), Quelle: BAST-Bericht B 102; und Querkraftverstärkung mit Stahllaschen (rechts), Quelle: Schnellenbach-Held, et al.: Verstärkungen älterer Beton- und Spannbetonbrücken. Erfahrungssammlung. Dokumentation 2016, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Bonn



Abb. 3: Erstellung eines standardisierten Ersatzbauwerkes vor Ort (links) und Endlage nach Einschub des fertigen Bauwerkes (rechts), Quelle: Tristan Mölter, DB Netz AG

Kontakt

Markus Duschl, BAST
E-Mail: duschl@bast.de



www.bmvi-expertennetzwerk.de

Mario Hörnig (BAW), Ulrich Schmelter (BAST), Meike Holtkämper (EBA)

Motivation

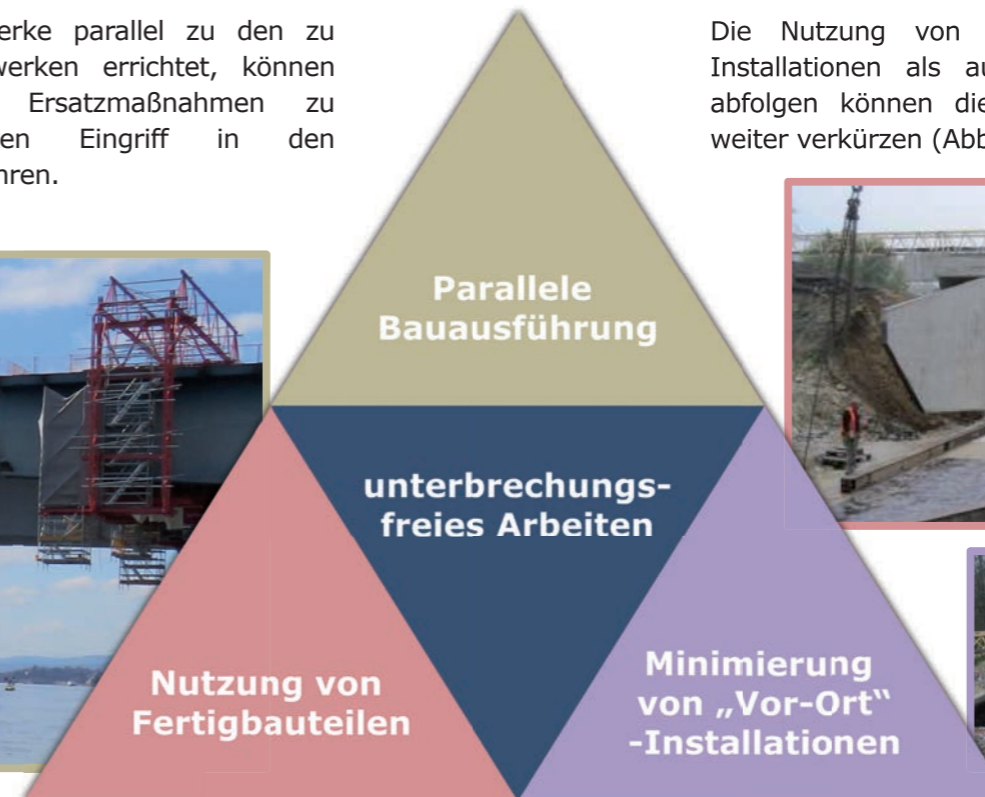
Bauwerke der Verkehrsinfrastruktur unterliegen über ihren Nutzungszeitraum Verschleiß und natürlicher Materialalterung. Verändern sich zudem noch ihre Anforderungen, muss ein moderner bzw. leistungsfähiger Neubau in Betracht gezogen werden (Abb. 1). Dabei gilt es, Störungen auf den Verkehrsbetrieb weitgehend zu vermeiden.



Abb. 1: Neubau im Rahmen des Ausbaus der Autobahn-Rheinbrücke Wiesbaden-Schierstein (Quelle: BAW)

Optimierung von Bauprozessen

Werden Neubauwerke parallel zu den zu ersetzenden Bauwerken errichtet, können verzögerungsfreie Ersatzmaßnahmen zu einem reduzierten Eingriff in den Verkehrsbetrieb führen.



Die Nutzung von Fertigbauteilen und Vor-Installationen als auch eng getakteter Bauabfolgen können die gesamte Bauausführung weiter verkürzen (Abb. 2).



Abb. 2: (oben und unten) Verschiebung einer Vor-Ort erstellten Eisenbahnbrücke durch Pressen in die Endlage (Quelle: DB Netz AG, Tristan Mölter)

Fazit

Durch die intensivierte Kommunikation der einzelnen Verkehrsträger im Rahmen des BMVI-Expertennetzwerks werden bestehende Maßnahmen zur Optimierung von Neubauprozessen als auch Instandhaltungsmaßnahmen bewertet und in andere Sparten gezielt weitergetragen. So sollen bestimmte Methoden, die die Häufigkeit von wiederkehrenden, verkehrsstörenden Baumaß-

nahmen reduzieren, erörtert werden. Zum Beispiel kann über spezifische Instandsetzungen, wie sie im Stahlwasserbau bereits üblich sind, die Lebenszeit eines Bauwerks erhöht werden (Abb. 3).

Somit wird die Nutzung gegenseitiger Erfahrungen die Verkehrsinfrastruktur längerfristig in Funktion halten.

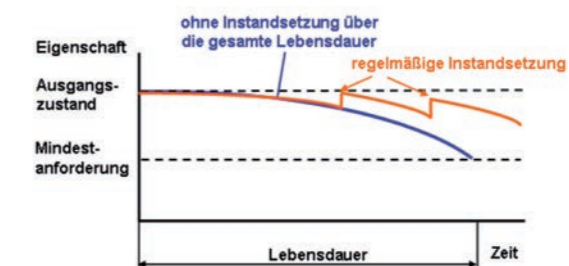


Abb. 3: Eigenschaftsbedingte Lebensdauer eines Bauwerks (Quelle: BAW)

Kontakt

Mario Hörnig, BAW
E-Mail: mario.hoernig@baw.de



www.bmvi-expertennetzwerk.de

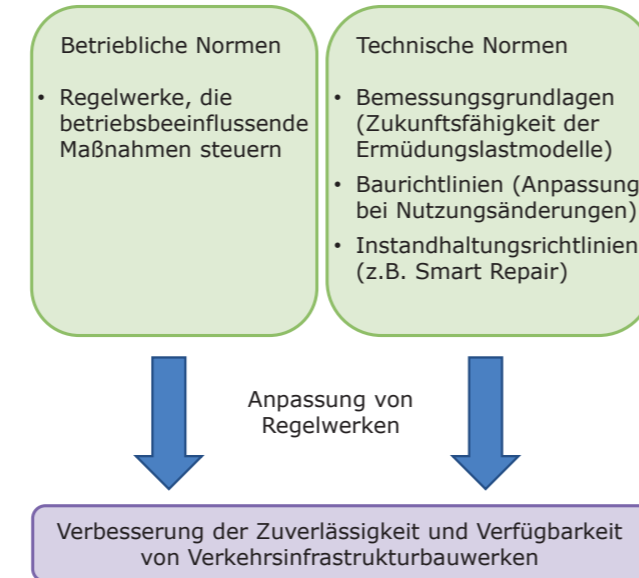
Rolf Rabe (BAST), Meike Holtkämper (EBA), Markus Duschl (BAST), Mario Hörnig (BAW)

Motivation

Maßnahmen zur Instandsetzung oder zum Ersatz von Bauwerken führen zu Einschränkungen der **Verfügbarkeit** und **Leistungsfähigkeit** der Verkehrsinfrastruktur. Ebenso ändern sich z.B. auch die Verkehrsbelastungen der Infrastrukturbauteile. Ziel des Expertennetzwerks ist es hier, durch **Analyse** und **Optimierung** bestehender **Bautechnologien** und **Bauverfahren** sowie der Entwicklung völlig neuer Methoden diese **Einschränkungen** zu **minimieren** und damit die **Zuverlässigkeit** und **Verfügbarkeit** der Infrastruktur zu **verbessern**. Dies kann nur umgesetzt werden, wenn die gewonnenen Erkenntnisse in die bestehenden Regelwerke eingearbeitet bzw. **neue Regelungen** geschaffen werden.

Instandhaltungsrichtlinien

Nicht nur für den Neubau, sondern auch für **Instandsetzungs-** und **Erhaltungsmaßnahmen** müssen die benötigten Baumaterialien und Anwendungsmethoden geprüft und freigegeben werden. Jedoch erweist sich gerade Letzteres als Herausforderung,



da sich die Bauwerke in unterschiedlichsten **Zuständen** befinden und die Anforderungen ebenso weit streuen. Regelungen sind daher nur nach langen Entwicklungsperioden etablierbar.

Fazit

Mittels **Weiterentwicklung** von **Regelwerken** wird den sich **verändernden Anforderungen** begegnet. Allen Regelwerksanpassungen gemein sind die positiven Auswirkungen auf die angestrebte **langfristige Zuverlässigkeit** und die **Verfügbarkeit** der Verkehrsinfrastrukturen.

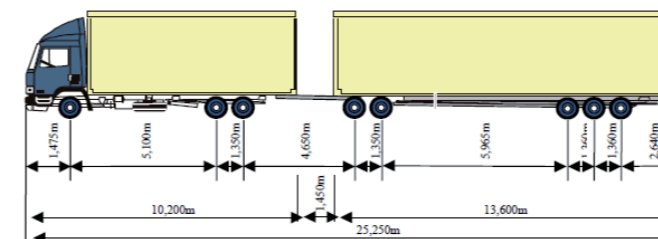
Ausblick

Durch regelmäßige nötige **Anpassungen** an die realen **Randbedingungen** (z.B. Verkehrsprognosen) ergibt sich auch zukünftig ein stetiges **Fortschreiben der Regelwerke**.

Zukunftsfähigkeit der Verkehrslastmodelle

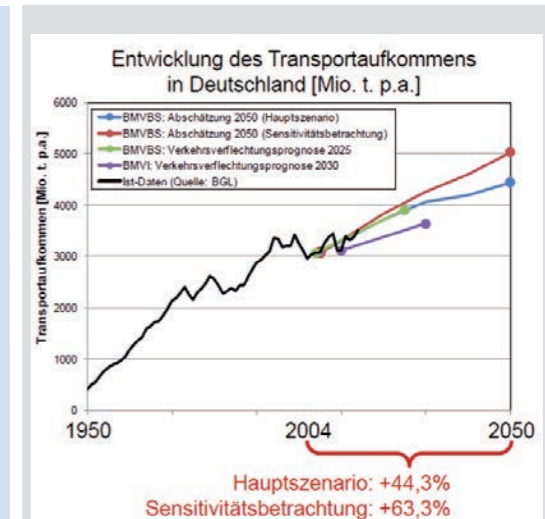
Der **Schwerverkehr** auf der Straße nimmt seit Jahren sowohl in Quantität als auch in Qualität unvermindert und stetig zu (Abb. 1). Diese Entwicklung wirkt sich sowohl auf den **Entwurf** und die **Bemessung** von **neuen Brücken**, als auch auf den **Brückenbestand** aus. **Zukünftige Verkehrslastmodelle** müssen dieser Entwicklung Rechnung tragen. Speziell das **Ermüdungslastmodell** nach DIN EN 1991-2 für **Neubauten** (Abb. 1), als auch grundsätzlich die anzusetzenden Verkehrslastmodelle für die **Nachrechnung des Brückenbestands** sind dabei zu berücksichtigen und ggf. anzupassen bzw. neu zu entwickeln.

Um die **Zukunftsfähigkeit** der **Verkehrslastmodelle** zu gewährleisten, müssen mögliche Veränderungen im **Schwerverkehr** berücksichtigt werden. Schon heute abzusehen bzw. realisiert sind z.B. (teil-)autonomes Fahren/**Platooning** als auch evtl. **Gigaliner**. Durch (teil-)autonomes Fahren kann der Fahrzeugabstand konstant bei 10-15 m gehalten werden und liegt damit deutlich unter den mittleren 15-65 m ohne Platooning. Die potenzielle Einführung von **Gigaliner** würde dagegen nicht nur das **Gesamtgewicht** sondern auch die **Achszahl** erhöhen (Abb. 2).



Typ 1- 60t

Abb. 2: Beispielhafte Achsaufteilung eines Gigaliner mit 60 t Gesamtgewicht, Quelle: BAST-Bericht B 68



Ermüdungslastmodell 4:

Fahrzeugtyp	Verkehrssart					Referenz
	Achszahl	Ersatzlast	Große Entfernungsanteil [%]	Mittlere Entfernungsanteil [%]	Ortsverkehranteil [%]	
Schwerfahrzeug						
	4,50	70	20,0	40,0	80,0	A
	4,20	70	5,0	10,0	5,0	A
	1,30	120				B
	1,30	120				B
	3,20	70	50,0	30,0	5,0	A
	5,20	150				B
	1,30	90				C
	1,30	90				C
	3,40	70	15,0	15,0	5,0	A
	6,00	140				B
	1,80	90				B
	1,80	90				B
	4,80	70	10,0	5,0	5,0	A
	3,60	1,0				B
	4,40	90				C
	1,30	80				C
	1,30	80				C

Tab. 23: Ermüdungslastmodell 4 (DIN EN 1991-2 (2004-05))

Abb 1: Entwicklung des Transportaufkommens (oben) und Ermüdungslastmodell 4 (unten), Quelle: Kraus, J. K.: Bericht zum Forschungsprojekt FE 15.0629/ 2016/FRB „Zukunftsfähigkeit der Ermüdungslastmodelle nach DIN EN 1991-2“, TU Berlin, 2018 (oben), DIN EN 1991-2 (2004-05) (unten)

Kontakt

Rolf Rabe, BAST
E-Mail: rabe@bast.de



www.bmvi-expertennetzwerk.de



Resilienz des Verkehrssystems – Fallbeispiele

Ein leistungsfähiges Verkehrssystem gilt als Garant für Wohlstand und hohe Lebensqualität. Es erfüllt zuverlässig den Bedarf an sicherer Mobilität und ist zu jedem Zeitpunkt für dessen Nutzer verfügbar. Die Anforderungen bei der Bereitstellung eines leistungsfähigen Verkehrssystems wachsen stetig und erfordern Innovationen und neue Ansätze.

Die Verbesserung der Resilienz des Verkehrssystems ist eines der Leitthemen im BMVI-Expertennetzwerk. Hier werden fachliche Anknüpfungspunkte sowohl für die strategische als auch die operative Verbesserung der Resilienz identifiziert und die dauerhafte Verfügbarkeit einer hoch leistungsfähigen Infrastruktur in den Fokus der Betrachtung gestellt. Vielfältige Arbeiten werden in diesem Kontext durchgeführt, von denen einige vorgestellt werden.

Poster

- ❖ **Klimawandel und Extremereignisse: Was haben wir in Deutschland zu erwarten? Erste Ergebnisse zu Niederschlag, Temperatur und Wasserständen**
Christoph Brendel (DWD), Jens Möller (BSH), Simona Höpp (DWD), Dr. Michael Haller (DWD), Dr. Stefan Krähenmann (DWD), Dr. Olga Kelbin (DWD), Sabrina Wehring (DWD), Dr. Andreas Walter (DWD), Dr. Nils Schade (BSH), Dr. Stephanie Hänsel (DWD)
- ❖ **Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserbewirtschaftung des Nord-Ostsee-Kanals in Gegenwart und Zukunft**
Dr. Anna Dorothea Ebner von Eschenbach (BfG), Jens Möller (BSH), Dr. Nils Schade (BSH), Dr. Annette Ganske (BSH), Jochen Hohenrainer (BfG), Holger Klein (BSH), Volker Neemann (WSV), Dr. Enno Nilson (BfG), Dr. Birger Tinz (DWD)
- ❖ **Anpassung an den Klimawandel – Erarbeitung, Prüfung und Überarbeitung von Richtlinien und Regelwerken**
Markus Reinhardt (EBA), Carina Herrmann (EBA), Robert Zierul (GDWS), Dr. Gudrun Hillebrand (BfG), Elise Lifschiz (BAW), Dr. Stephanie Hänsel (DWD)
- ❖ **Auswirkungen des Klimawandels auf die Befahrbarkeit und die Transportmengen der Binnenschifffahrt**
Elise Lifschiz (BAW), Hauke Stachel (BAW), Alexander Kikillus (BAW), Dr. Enno Nilson (BfG), Claudius Fleischer (BfG), Simona Höpp (DWD), Dr. Thomas Deutschländer (DWD), Dr. Stefan Krähenmann (DWD)
- ❖ **Verbessertes Management von Verkehr und Verkehrsinfrastruktur durch kurzfristige Wetterprognosen**
Julia Kasper (BAW), Franz Simons (BAW), Jens Winkler (DWD), Dr. Michael Denhard (DWD)
- ❖ **Verfügbarkeit der Verkehrssysteme bei extremen Wetterereignissen gewährleisten**
Dr. Kalliopi Anastasiadou (BAST), Julia Kasper (BAW), Meike Holtkämper (EBA)

Klimawandel und Extremereignisse: Was haben wir in Deutschland zu erwarten?

Erste Ergebnisse zu Niederschlag, Temperatur und Wasserständen

Christoph Brendel (DWD), Jens Möller (BSH), Simona Andrea Höpp (DWD), Michael Haller (DWD), Stefan Krähenmann (DWD), Olga Kelbin (DWD), Sabrina Wehring (DWD), Andreas Walter (DWD), Nils Schade (BSH), Stephanie Hänsel (DWD)

Problemstellung

Ein nachhaltiger Betrieb der Verkehrsinfrastruktur im 21. Jahrhundert erfordert eine erhöhte Resilienz gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels und den damit verbundenen extremen meteorologischen und ozeanographischen Witterungsereignissen (Beispiele Abb. 1). Untersuchungen zu Veränderungen von Extremereignissen durch den Klimawandel sind von besonderer Bedeutung, da daraus resultierende Schäden an der Infrastruktur und Beeinträchtigungen des Verkehrsablaufs beträchtlich sein können. Zudem könnten diese bei einer zukünftigen Intensivierung von Extremereignissen überproportional stark zunehmen.

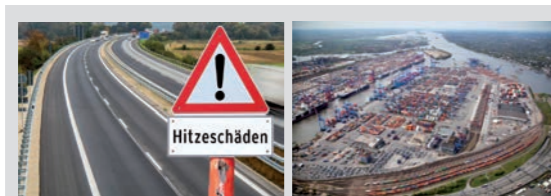


Abb. 1: Hitzebedingte Schäden an Bundesfernstraßen (links; Foto: animaflora/fotolia), Hamburger Hafen (rechts; Foto: BAW).

Referenz: IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

Kontakt

Christoph Brendel, DWD
E-Mail: christoph.brendel@dwd.de



www.bmvi-expertennetzwerk.de

Klimawandel & Extremereignisse

Herausfordernd für die Untersuchungen ist, neben dem seltenen Auftreten von Extremereignissen, die Unsicherheit bezüglich der weiteren Emission von Treibhausgasen und deren Konzentration in der Atmosphäre. Die Anwendung robuster extremwertstatistischer Methoden auf Ensembles regionaler Klimamodelldaten verschiedener Emissionsszenarien (Abb. 2) ermöglicht die Bestimmung der Bandbreite wahrscheinlicher Änderungssignale von Extremereignissen.

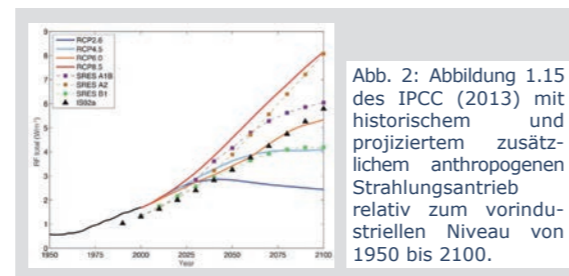


Abb. 2: Abbildung 1.15 des IPCC (2013) mit historischem und projiziertem zusätzlichem anthropogenen Strahlungsantrieb relativ zum vorindustriellen Niveau von 1950 bis 2100.

Veränderung mittlerer und extremer Hoch- und Niedrigwasserstände

- Pegelraten (hier Cuxhaven, exemplarisch für die Deutsche Nordseeküste) zeigen einen Anstieg des Meeresspiegels um etwa 30 cm in 140 Jahren (~ 2.1mm/a) bei gleichzeitiger Erhöhung des Tidenhubs (Abb. 3, oben). Im Szenario RCP8.5⁴ erkennt man eine Beschleunigung dieses Anstiegs auf etwa 4.8 mm/a bis zum Ende des 21. Jahrhunderts (Abb. 3, unten).
- Extreme Ereignisse zeigten in der Vergangenheit vergleichbare Anstiegsraten wie mittlere Ereignisse (allerdings stärkere Änderungen der NW als der HW). Im RCP8.5⁴ steigen dagegen die extremen Ereignisse noch sehr viel stärker als die mittleren Ereignisse an.

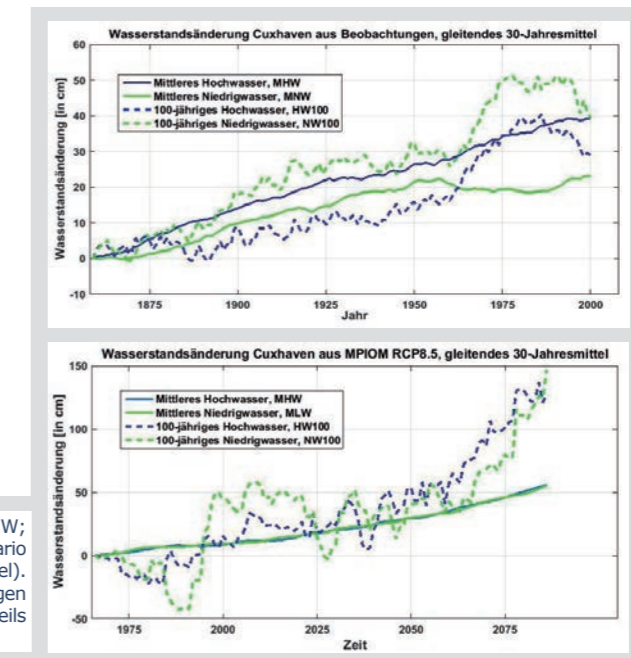


Abb. 3: Änderungen der Hoch- (HW; blau) und Niedrigwasser (NW; grün) aus Beobachtungen (oben, ab 1843) und dem IPCC Szenario RCP8.5 (rechts; 1950-2100) in Cuxhaven (30-jährige gleitende Mittel). Gestrichelt dargestellt sind zudem die Änderungen des 100-jährigen Hoch- (blau) und Niedrigwasserereignisses (grün), berechnet aus jeweils 30 Jahren Wasserstandsdaten mithilfe der Gumbelverteilung.

Veränderung von Extremen der Temperatur und des Niederschlags

- Die Häufigkeit tägl. Starkniederschläge nimmt im Winter (insb. RCP8.5; Verdopplung) deutlich stärker zu als im Sommer (max. 50% Zunahme).
- Im Sommer nimmt die Anzahl der Tage mit extrem hohen Maximumtemperaturen deutlich zu. Für das Emissionsszenario RCP8.5 könnte Ende des Jahrhunderts der gegenwärtig heißeste Sommertag bis zu 20 mal häufiger auftreten.
- Extrem kalte Tage bzw. Nächte (Minimumtemperatur) nehmen im Winter deutlich ab.

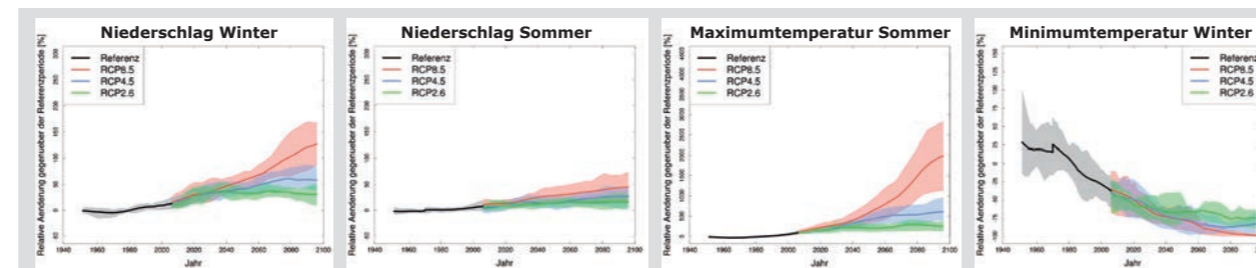


Abb. 4: Veränderung der Auftrittshäufigkeit [Prozent] des gegenwärtig extremsten Tages¹ der täglichen Niederschlagssumme im Winter und Sommer sowie der maximalen Tagestemperatur im Sommer und der minimalen Tagestemperatur im Winter für die verschiedenen Emissionsszenarien (RCP2.6² (grün), RCP4.5³ (blau), RCP8.5⁴ (rot)) und die Referenzperiode (schwarz) im Deutschlandmittel. Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte (Linie) und die Perzentile (15./85.; schraffiert) für die Abschätzung der Bandbreite möglicher Änderungssignale.

Fazit und Ausblick

- Klimaprojektionen zeigen z.T. deutliche Zunahme von Extremen (z.B. für Temperatur, Niederschlag, Wasserstände; insb. RCP8.5⁴).
- Deutliche Unterschiede zwischen den RCP-Szenarien sind vor allem für die Maximumtemperatur im Sommer zu erkennen.
- Extreme könnten sich im Klimawandel zukünftig deutlich stärker ändern als die mittleren Zustände. Entsprechende Anpassungsmaßnahmen sind zu entwickeln.
- Die behördenübergreifende Zusammenarbeit bei extremwertstatistischen Analysen wird noch weiter ausgebaut werden.

¹Die 1% der höchsten Ereignisse in der Gegenwart (im Mittel ein Ereignis pro Winter/Sommer), ²RCP2.6 „Klimaschutzszenario“ Szenario, ³RCP4.5 „Moderate Entwicklung“ Szenario, ⁴RCP8.5 „Weiter-wie-bisher“ Szenario

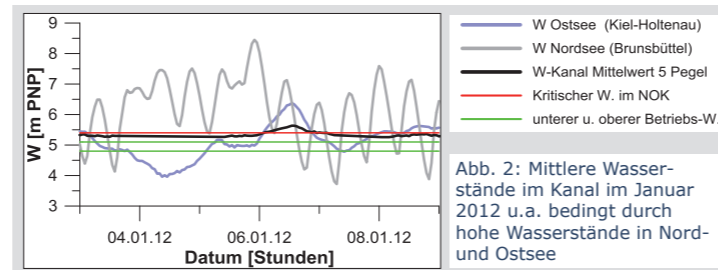
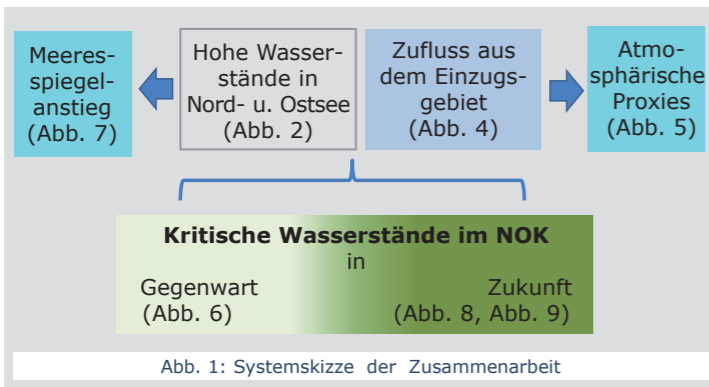
Anna-Dorothea Ebner von Eschenbach (BfG), Jens Möller (BSH), Nils H. Schade (BSH), Anette Ganske (BSH), Jochen Hohenrainer (BfG), Holger Klein (BSH), Volker Neemann (WSV), Enno Nilson (BfG), Birger Tinz (DWD)

Motivation

Der Nord-Ostsee-Kanal (NOK) ist neben seiner Funktion als Bundeswasserstraße größter künstlicher Vorfluter in Schleswig-Holstein. Seine Bewirtschaftung erfolgt auf einen Zielwasserstand, um Sicherheit und Leichtigkeit der Schifffahrt zu gewährleisten.

Fragestellungen

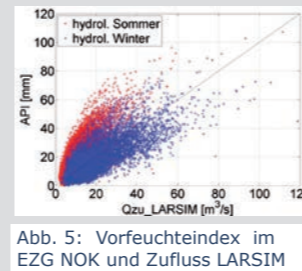
- Wie verändert sich die Auftretenshäufigkeit von angespannten Entwässerungssituationen in Zukunft?
- Welches sind dabei die Haupteinflussgrößen - veränderte Niederschlagshöhen im Einzugsgebiet und/oder erhöhte länger anhaltende Wasserstände in Nord- und/oder Ostsee?



Ableitung der Entwässerung mittels statistischer Verfahren (ExpN)

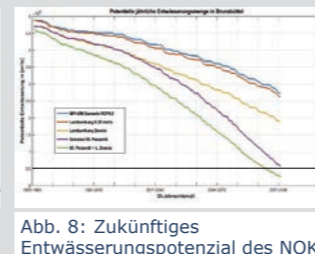
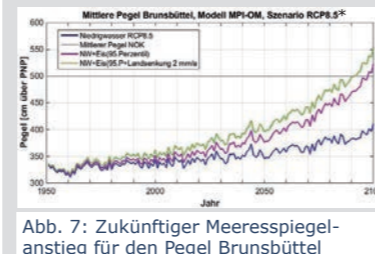
Niederschlagsindizes als atmosphärische Proxies

- Ziel: Einfacher Index (API), um Prognosen für mögliche Zuflüsse direkt aus Klimamodelldaten ableiten zu können
- Zufluss wird im hydrol. Winter besser abgebildet



Meeresspiegelanstiegsszenarien (MSA)

Annahme verschiedener Szenarien für Meeresspiegelanstieg (Brunsbüttel) und Entwässerungspotenzial



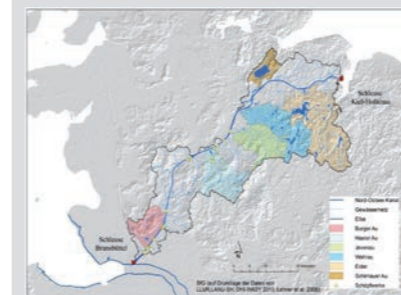
* Mathis, M., A. Elizalde, U. Mikolajewicz. The future regime of Atlantic nutrient supply to the Northwest European Shelf. Journal of Marine Systems (submitted)

Fazit

Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass der Einfluss des Binnenzuflusses auf angespannte Bewirtschaftungssituationen sehr viel geringer ist, als die Erhöhung des Meeresspiegels. Untersuchungen des Zusammenhangs bzw. des zeitgleichen Auftretens von erhöhtem Binnenzufluss und erhöhten Außenwasserständen sind Gegenstand aktueller Untersuchungen im Expertennetzwerk. Damit leistet das Expertennetzwerk einen wichtigen Beitrag zum „Aktionsplan Anpassung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel“ (APA II).

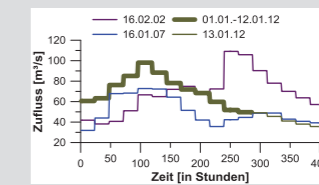
Modellierung der Hydrologie und der Kanalbewirtschaftung (WSV-Auftrag)

Simulation des Zuflusses 1951–2012 aus dem Einzugsgebiet mit Wasserhaushaltsmodell (WHM) LARSIM (1x1 km², Tageswerte)



Meteorologie Binnenland:

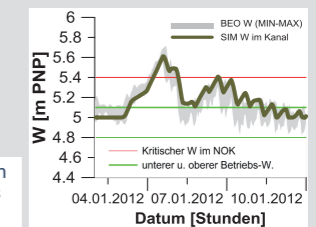
- Referenz (1971-2000)
- Zukunft (2021-50, 2071-2100)
- Szenarien (RCP 2.6, 8.5)



Simulation des Wasserstandes (W) aus Kanalbilanzmodell BEWASY

Randbedingungen:

- Außenwasserstände (stündlich wg. Tide)
- Zufluss aus dem Einzugsgebiet
- Entwässerungskapazität zur Nord- und Ostsee
- Schleusenbetrieb

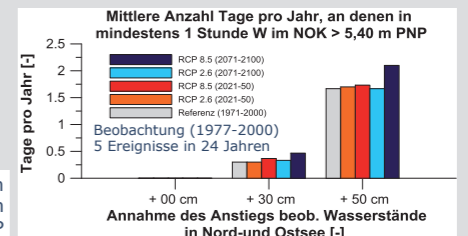


** Ebner von Eschenbach, A.-D. (2017): Simulation der Wasserbewirtschaftung des NOK – Herausforderungen und Lösungsansätze. In: Veranstaltungen „Modellierung aktueller Fragestellungen zur Wassermengenbewirtschaftung an Bundeswasserstraßen“, Bundesanstalt für Gewässerkunde 5/2017, DOI: 10.5675/_BfG_Veranst_2017.5, S. 114-129.

Sensitivitätsstudie für MSA & Änderung Binnenhydrologie

- Zufluss aus WHM, Atmosphärischer Antrieb (RCPs)
- kombiniert mit Sensitivitätsstudie MSA

Abb. 9: Auftretenshäufigkeit von angespannten Bewirtschaftungssituationen SIM W > 5,40 PNP



Kontakt

Anna-Dorothea Ebner von Eschenbach, BfG
E-Mail: EbnerVonEschenbach@bafg.de



Markus Reinhardt (EBA), Carina Herrmann (EBA), Robert Zierul (GDWS), Gudrun Hillebrand (BfG), Elise Lifschiz (BAW), Stephanie Hänsel (DWD)

Grundproblem

Der Klimawandel führt zu veränderten (Wetter-)Einwirkungen auf Bauwerke der Verkehrsinfrastruktur.

Klimawirkungen: Klimabeobachtungsdaten und Projektionen zeigen die Auswirkung des Klimawandels und deuten auf häufigere Extremwetterereignisse hin.

Nutzungsdauer und Konstruktion: Ingenieurbauwerke werden i.d.R. für lange Zeiträume (z.B. 80 Jahre) geplant, mit wenig Reserven für Nachrüstungen.

Zentrale Infrastrukturbauwerke: Bauwerke können nur begrenzt für einen Um- oder Neubau ersetzt/gesperrt werden.

Mögliche Konsequenzen:

- Bauwerke sind eingeschränkt nutzbar
- großer Aufwand für Neubau/Renovierung
- hoher volkswirtschaftlicher Schaden

Ziel: Climate Proofing

Identifikation des Anpassungsbedarfs, Vorschläge zur Überarbeitung von Richtlinien und Regelwerken sowie Auswahl und Bewertung von Anpassungsoptionen bis hin zur Anpassungsstrategie.



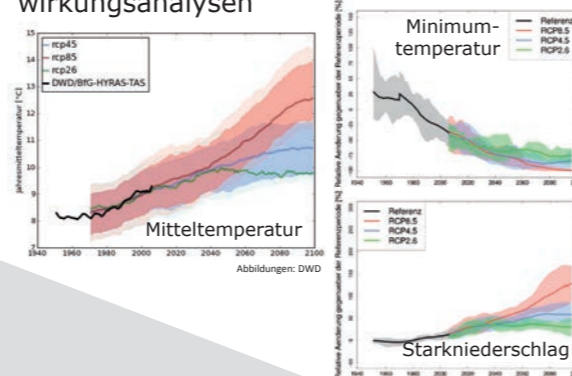
Ist-Zustand

Die Funktion des Verkehrssystems beeinträchtigende Extremereignisse müssen ebenso wie graduelle Veränderungen im mittleren Klimazustand stärker in Planung, Konstruktion und Bau berücksichtigt werden.



Zu erwartende Belastungen

Projektion der möglichen Auswirkungen des Klimawandels im Rahmen von Klimawirkungsanalysen



Veränderte Klimawirkung

Richtlinien und Regelwerke

Schiene (durch EBA):

Systematische Untersuchung des Regelwerks hinsichtlich durch den Klimawandel beeinflusster Größen mit Fokus auf Regelwerken für Infrastruktur, Fahrzeuge sowie Leit- und Sicherungstechnik

Wasserstraßen (GDWS, BAW und BfG):
Bsp.: VV-WSV 2107 Verwaltungsvorschrift der WSV zur Entwurfsaufstellung

§ 6 Voruntersuchung

(5) Bei den zu beachtenden Randbedingungen handelt es sich zum Beispiel um Baugrundgegebenheiten, mögliche Folgen des Klimawandels, Wasserangebot, Kontaminationen, Nutzungen, Eigentumsverhältnisse oder unter speziellem Schutz stehende Bereiche.

Klimabezug in Regelwerken

Anpassungsbedarf – Vorgehen

Anpassung der Regelwerke der Schiene

- Identifikation von zu ändernden Textpassagen durch Abgleich der Verweise in Regelwerken auf primär wetterbasierte Einflussgrößen mit den projizierten Klimaänderungssignalen.
- Zentrale Beschreibung der wetterabhängigen Größen und damit Beschränkung der Stellen, wo im Falle aktualisierter Projektionen Änderungen notwendig werden.

Wasserstraße: Erarbeitung eines Handbuchs „Climate Proofing“ mit den Zielen:

- Praxisbezug der Forschungen sichern
- Einheitlichkeit und Verbindlichkeit des Handelns der WSV gewährleisten
- rechtzeitige Planung von Anpassungsstrategie/-maßnahmen sichern
- Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen bewerten



Arbeitsstand Pilotprojekt Schiene

Die in den Pilotprojekten ausgewählten Regelwerke wurden untersucht und die zentralen Stellen mit klimaabhängigen Größen identifiziert. Anschließend erfolgt die Bewertung der gefundenen Einträge hinsichtlich des jeweiligen Handlungsbedarfs. Zudem kann mittels der aktuellen Klimaprojektionsdaten nun an der Umsetzung der Anpassungen gearbeitet werden.

Fahrzeuge sowie Leit- und Sicherungstechnik: Primäre Herausforderung sind Änderungen in der Maximaltemperatur.

Infrastruktur: Vielfältige Klimaparameter sind relevant, da in den Regelwerken mehr Bezug auf Klima genommen wird.

Wasserstraße – Beispiel

Nord-Ostsee-Kanal (NOK): starke Abhängigkeit vom Wasserhaushalt des NOK-Einzugsgebietes, der Sturmfluthäufigkeit sowie langfristig vom Meeresspiegelanstieg

→ Erarbeitung eines Wasserbewirtschaftungsmodellsystems durch die BfG (APA II Maßnahme; Kurzfrist-Vorhersage [2 d] und Langfrist-Prognose-Tool [bis 2100])

Fazit und Ausblick

Bessere Berücksichtigung des Klimawandels in den Regelwerken z.B. durch:

- Zentrale Angabe der zu beachtenden Klimaparameter
- Szenarienauswahl; z.B. Wahl von Projektionen mit starken Änderungssignalen, um eine hohe Verfügbarkeit der Infrastrukturen sicherzustellen
- Flexible Maßnahmen, z.B. Einplanen von späteren Umbaumaßnahmen entsprechend fortschreitender Klimaentwicklung

Kontakt

Markus Reinhardt, EBA
E-Mail: reinhardtm@eba.bund.de



www.bmvi-expertennetzwerk.de

Elise Lifschiz (BAW), Hauke Stachel (BAW), Alexander Kikillus (BAW), Enno Nilson (BfG), Claudius Fleischer (BfG), Simona Andrea Höpp (DWD),
Thomas Deutschländer (DWD), Stefan Krähenmann (DWD)

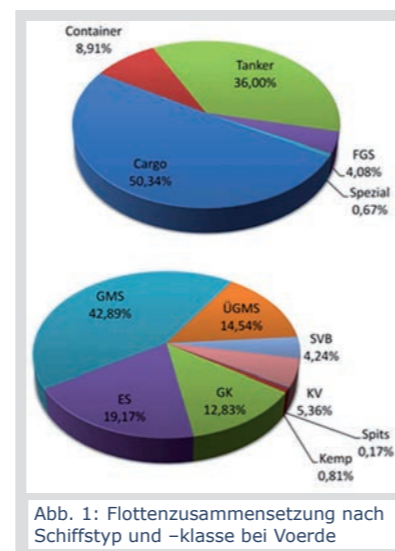
Einfluss des Klimawandels

Der Klimawandel könnte voraussichtlich den Wasserhaushalt und damit die Wasserstände des Rheins verändern. Das würde Auswirkungen auf die Befahrbarkeit der Binnenwasserstraßen und die vom Wasserstand abhängigen Abladetiefen der Binnenschiffe haben. Damit wären einerseits die Sicherheit und Leichtigkeit und andererseits die Wirtschaftlichkeit des Schiffverkehrs betroffen.

Diesbezügliche fahrdynamische Untersuchungen basieren auf hydrologischen und hydrodynamischen Projektionen, die hier pilothaft für den Niederrhein durchgeführt werden. Um die Resilienz des Verkehrsträgers Wasserstraße zu steigern, werden mithilfe von flussbaulichen Maßnahmen Anpassungsoptionen entwickelt und mit der hier vorgestellten Methodik schiffahrtlich bewertet.

Auswertung von AIS-Daten

Auf den Bundeswasserstraßen besteht eine bundesweite Ausrüstungs- und Nutzungspflicht mit dem Automatic Identification System (AIS). Der auf den Schiffen installierte AIS-Transponder sendet u.a. Angaben zu Schiffsabmessungen und zur aktuellen Position des Schiffs. Eine Auswertung der von der Fachstelle für Verkehrstechnik mit Landstationen kontinuierlich erfassten AIS-Daten liefert z.B. Erkenntnisse über die Zusammensetzung der Binnenflotte und das zeit- und wasserstandsabhängige Nutzungsverhalten.



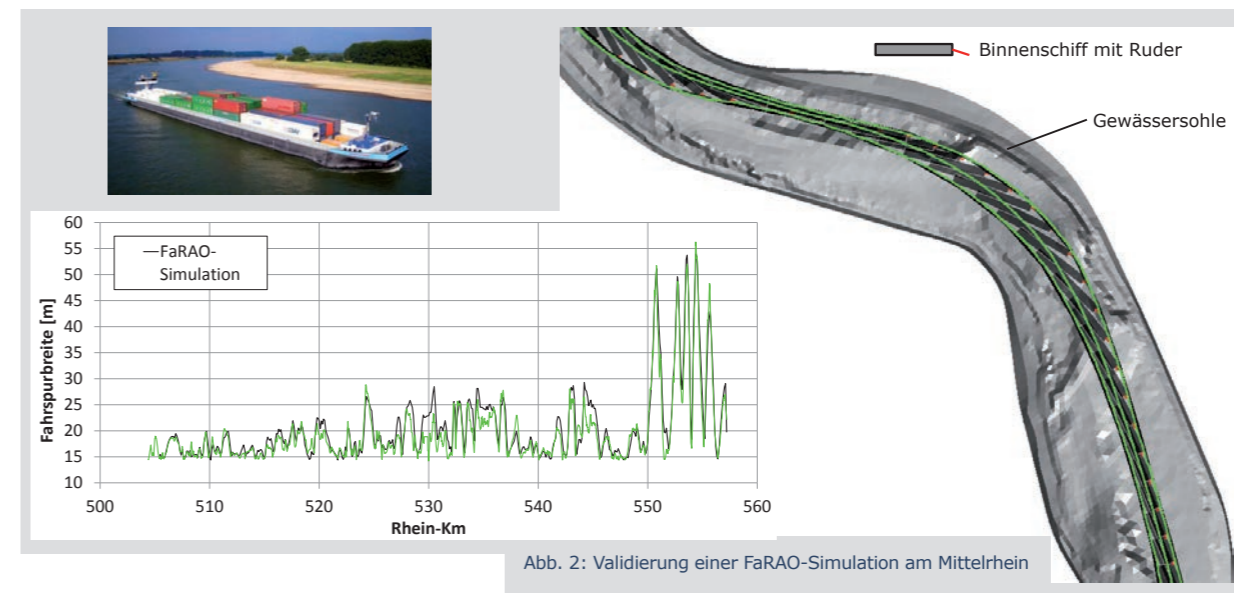
Ausblick

Die kontinuierliche Erfassung von AIS-Daten wird Erkenntnisse über die wasserstandsabhängige Zusammensetzung der Flotte und deren zeitliche Entwicklung über mehrere Jahre liefern. Mithilfe von verkehrlichen und fahrdynamischen Untersuchungen werden die Auswirkungen von möglichen klimatischen Veränderungen auf die Wirtschaftlichkeit der Binnenschifffahrt ermittelt. Diese AIS-Daten

Fahrdynamische Untersuchungen

Hydrologische Veränderungen eines Gewässers haben Auswirkungen auf Wasserstände und Strömungsgeschwindigkeiten und damit auf die Morphologie sowie Befahrbarkeit der Wasserstraße durch die Binnenschifffahrt. Das fahrdynamische Modellverfahren FaRAO (Linke, 2015) ermittelt auf der Grundlage von 2D hydrodynamisch-numerischen Modellen den Fahrspurbreitenbedarf, die Schiffsgeschwindigkeit und das dynamische Ein-

sinken eines fahrenden Schiffs. Daraus ergeben sich Hinweise auf die Befahrbarkeit und die möglichen Abladetiefen. Die Methode wurde für den Mittelrhein mithilfe von aufgezeichneten Schiffsfahrten (Containerschiff Monika Deymann) validiert. Abb. 2 zeigt eine sehr gute Übereinstimmung zwischen den gemessenen und simulierten Fahrspurbreiten, die im Diagramm über dem Rhein-km aufgetragen sind.



Kontakt

Elise Lifschiz, BAW
E-Mail: elise.lifschiz@baw.de



Literatur

Linke, T.; Rauscher, D.; Söhngen, B. (2015): Paper 23 – Recent developments in the application of shallow water ship hydrodynamics in inland waterway design. Buenos Aires.

Julia Kasper (BAW), Franz Simons (BAW), Jens Winkler (DWD), Michael Denhard (DWD)

Motivation

Verkehr und Verkehrsinfrastruktur können durch extreme Wetterereignisse beeinträchtigt oder beschädigt werden. Ein Beispiel sind Misch- oder Regenwasserentlastungen aus urbanen Einzugsgebieten in staugeregelte Binnenwasserstraßen. Die dadurch verursachten Wasserstandsschwankungen können die Schifffahrt gefährden.

Ziel

Ziel ist es, am Beispiel der Abfluss- und Stauregelung der Wasserstraßen

- System- und Vorhersagemodelle zu entwickeln,
- geeignete Handlungsoptionen abzuleiten und
- automatisierte Warndienste bereitzustellen, die Entscheidungsprozesse in Management und Betrieb unterstützen.

Kontakt

Julia Kasper, BAW
E-Mail: julia.kasper@baw.de



www.bmvi-expertennetzwerk.de

Pilotstudie zur Abfluss- und Stauregelung an Wasserstraßen

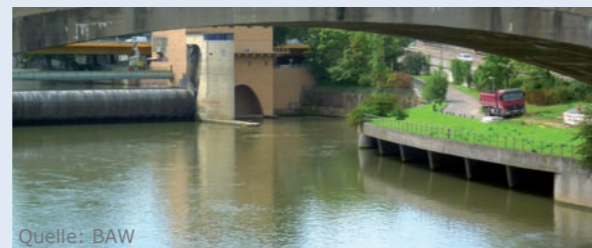


Abb. 1: Bauwerk zur Starkregenentlastung des Kanalsystems in Stuttgart am Neckar unterhalb der Staustufe Cannstatt

- Berücksichtigung der Vorhersagen bei der Abfluss- und Stauregelung (Abb. 2)
- Vorhersage des Wasserstands mithilfe eines Modells der Stauhaltung
- Modellprädiktive Vorsteuerung optimiert den Abfluss- und Wasserstandsverlauf

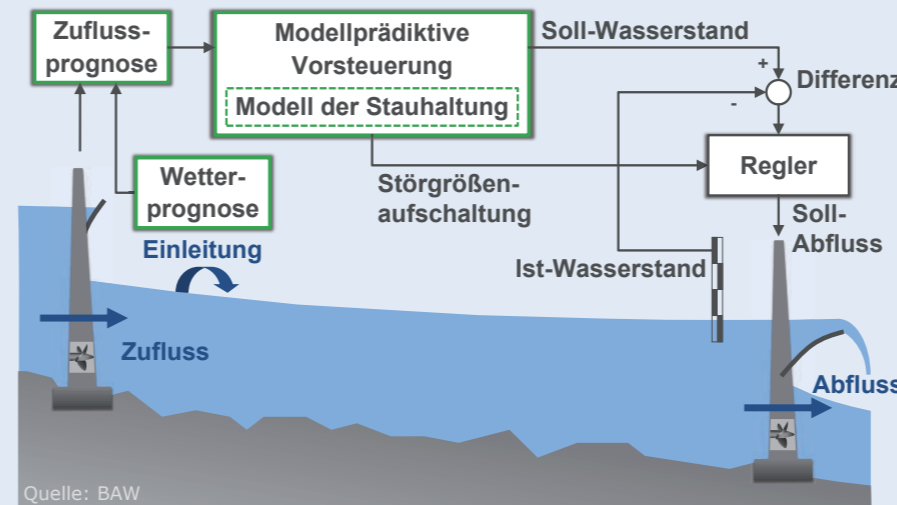


Abb. 2: Verbesserte Abfluss- und Stauregelung durch kurzfristige Wetterprognosen

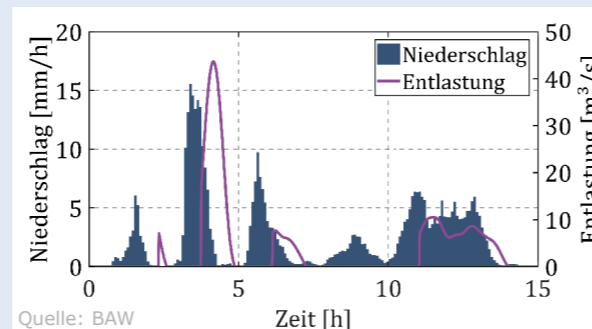


Abb. 3: Niederschlagshöhe aus Radarmessungen und simulierte Entlastung aus dem Niederschlags-Abfluss-Modell

- Vorhersage der Niederschlagsmengen im Einzugsgebiet des Nesenbachkanals in Stuttgart (Abb. 1)
- Vorhersage der folgenden Mischwasserentlastung in die Stauhaltung Hofen am Neckar mithilfe eines Niederschlags-Abfluss-Modells

Ergebnis

- Simulation der Mischwasserentlastung in die Stauhaltung Hofen basierend auf Radar-Niederschlagsmessungen mit einer zeitlichen Auflösung von 5 Minuten (Abb. 3)

Veröffentlichung

J. Kasper et al., Enhancing automated water level control at navigable waterways by high-resolution weather predictions. HIC 2018, Palermo, Italien (im Druck).

Fazit

Ausgehend von gemessenen Niederschlägen können Mischwasserentlastungen in die Stauhaltung Hofen am Neckar simuliert werden.

Die Berücksichtigung von Entlastungsprognosen und die Verwendung einer vorausschauenden Regelungsmethode ermöglichen die Reduzierung von starkregeninduzierten Wasserstands- und Abflussschwankungen.

Ausblick

Das Prognosesystem für die Abfluss- und Stauregelung soll automatisiert und verbessert werden durch

- Nowcasting (alle 5 Minuten neue Niederschlagsprognose für die folgenden 2 Stunden mit einer zeitlichen Auflösung von 5 Minuten) und
- Wettermodelle (alle 3 Stunden neue Ensemble-Vorhersagen mit einer zeitlichen Auflösung von 15 Minuten und bis zu 27 Stunden Prognosezeit).

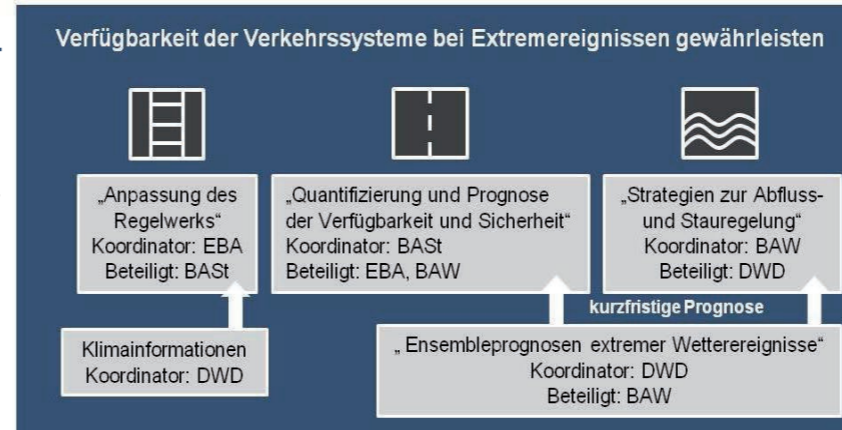
Darüber hinaus sollen die Anforderungen der Anwender bei der Weiterentwicklung des Prognosesystems miteinbezogen werden.

Kalliopi Anastassiadou (BAST), Julia Kasper (BAW), Meike Holtkämper (EBA)

Motivation

Die Zuverlässigkeit der Verkehrsinfrastruktur ist eine Grundvoraussetzung für nachhaltige Mobilität und wirtschaftliches Wachstum. Sie muss auch unter ungünstigen Bedingungen, z.B. extremen Wetterereignissen, in der Lage sein, ihre Aufgaben situationsangepasst zu erfüllen. Neben der baulichen Zuverlässigkeit sind auch Aspekte der

betrieblichen Zuverlässigkeit, insbesondere die Verfügbarkeit, zu betrachten. Dies betrifft die Objektebene und die Auswirkungen auf das Verkehrsnetz sowie alle Phasen vom Ausfall bis zur Wiederinbetriebnahme der Infrastruktur im Sinne eines ganzheitlichen Resilienzansatzes.

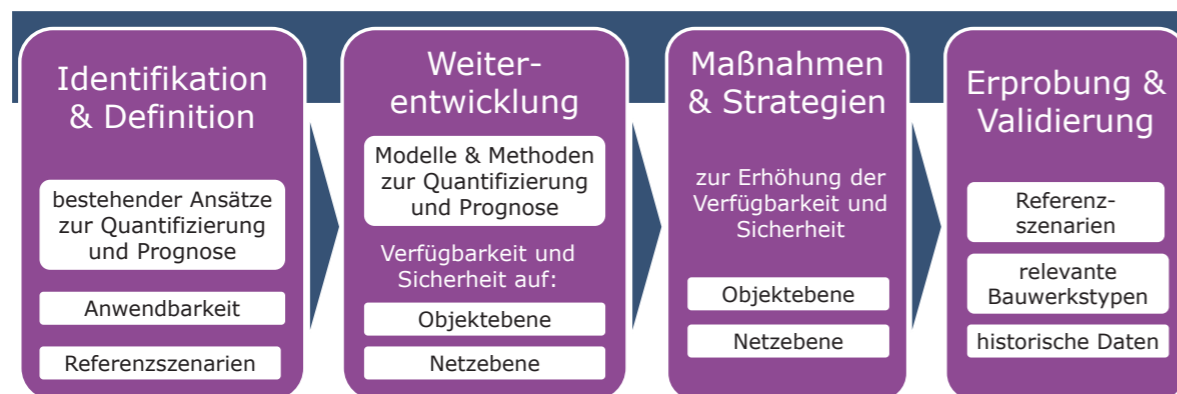


Fazit

Die Ergebnisse bilden die Grundlage für die Weiterentwicklung von Methoden für die Beurteilungen der Verfügbarkeit und Sicherheit von Ingenieurbauwerken im Sinne eines ganzheitlichen Resilienzansatzes.

Eine Vernetzung der im Schwerpunktthema „Prognosen und Vulnerabilitätsanalysen (SPT 303)“ des Expertennetzwerks beteiligten Behörden und Ressortforschungseinrichtungen untereinander und vor allem verkehrsträgerübergreifend wurde erfolgreich umgesetzt.

Vorgehensweise



Ergebnisse

- ✓ Ansätze zur Identifizierung und Bewertung von kritischer Verkehrsinfrastruktur auf Objekt- und Netzebene (prototypische Software Anwendung)
- ✓ Schwachstellenanalyse (Entwicklung einer Datenbank)
- ✓ Identifizierung von Maßnahmen zur Optimierung von Reaktions- und Wiederherstellungsprozess für die Straßeninfrastruktur nach disruptiven Ereignissen (Handbuch)
- ✓ Prognose- und Regelungssystem für die Abfluss- und Stauregelung an Wasserstraßen

Resilienz-Kreislauf



Quelle: BMVI

Kontakt

Kalliopi Anastassiadou, BAST
E-Mail: anastassiadou@bast.de



www.bmvi-expertennetzwerk.de

Ausblick

Ziel ist eine verbesserte Quantifizierung und Prognose der Verfügbarkeit und Sicherheit von Elementen der Verkehrsinfrastruktur bei verschiedenen außergewöhnlichen Ereignissen. Eine genauere Abschätzung der Auswirkungen und des Verlaufs von Krisensituationen wird ermöglicht. Die Effizienz von Präventions-

und Mitigationsmaßnahmen wird somit erhöht und erzeugt damit auch eine höhere Akzeptanz der notwendigen Sicherungsmaßnahmen, die in der Regel mit Einschränkungen der Verfügbarkeit der Verkehrsinfrastruktur verbunden sind, in der Bevölkerung.



Klimawirkungsanalysen – Grundlagen und Beispiele

Die Klimawirkungsanalysen im BMVI-Expertennetzwerk basieren auf einer einheitlichen Datengrundlage – klimatologische, ozeanographische und hydrologische Datensätze und Szenarien fließen darin ebenso ein wie solche zu Verkehr und Infrastruktur. Im Rahmen der Postersession werden die Klimaprojektionsdaten für den Binnen- und Küstenbereich sowie die darauf aufbauenden hydrologischen Projektionen vorgestellt. Am Beispiel von Tidedynamik und Sedimenttransport in der Deutschen Bucht wird die behördenübergreifende Erstellung von Randbedingungen für die Impactmodellierungen demonstriert. Das methodische Vorgehen bei der Klimawirkungsanalyse orientiert sich dabei an den Empfehlungen der interministeriellen Arbeitsgruppe „Anpassung an den Klimawandel“. Es wird dargestellt, wie die Empfehlungen für die konkreten Anwendungen im BMVI-Expertennetzwerk weiterentwickelt wurden.

Wichtige Grundlagen für die integrierte Klimawirkungsanalyse sind Karten zur Einschätzung der aktuellen Gefährdungssituation. Für die Exposition gegenüber Hochwasser und Hangrutschungen werden erste Kartenprodukte für das Bundesverkehrswegeetz vorgestellt.

Poster

- ❖ **Datengrundlagen und Auswerterahmen für die Klimawirkungsanalyse des Verkehrssystems**
Dr. A. Walter (DWD), Dr. A. Ganske (BSH), Dr. M. Helms (BfG), C. Brendel (DWD), C. Fleischer (BfG), M. Forbriger (EBA), Dr. M. Haller (DWD), Dr. S. Hänsel (DWD), C. Herrman (EBA), S. Höpp (DWD), Dr. S. Hüttl-Kabus (BSH), Dr. M. Klose (BASt), J. Kirsten (BASt), Dr. S. Krähenmann (DWD), E. Lifschiz (BAW), Dr. E. Nilson (BfG), J. Ork (BASt), Dr. M. Rauthe (DWD), Dr. E. Rudolph (BAW), Dr. N. Schade (BSH), S. Wehring (DWD), Dr. A. Gratzki (DWD)
- ❖ **Tidedynamik und Sedimenttransport in der Deutschen Bucht in Zeiten des Klimawandels – Behördenübergreifende Erstellung von Randbedingungen**
Caroline Rasquin (BAW), Dr. Elisabeth Rudolph (BAW), Benno Wachler (BAW), Dr. Anette Ganske (BSH), Dr. Enno Nilson (BfG)
- ❖ **Anwendung und Erweiterung der IMA-Empfehlungen für die Klimawirkungsanalyse – Fallbeispiel Wasserstraße**
Dr. Enno Nilson (BfG), Linda Bergmann (BAW), Claudius Fleischer (BfG), Dr. Martin Labadz (BfG), Elise Lifschiz (BAW), Gundula Haunert (BfG), Dr. Martin Helms (BfG), Dr. Gudrun Hillebrand (BfG), Simona Höpp (DWD), Alexander Kikillus (BAW), Marcus Mannfeld (BfG), Dr. Regina Patzwahl (BAW), Caroline Rasquin (BAW), Annika Riedel (BfG), Dirk Schulz (BfG), Benno Wachler
- ❖ **Auswirkungen von Hochwasser auf das Bundesverkehrswegeetz**
Jens Kirsten (BASt), Farina Lohrengel (BASt), Dr. Enno Nilson (BfG), Dr. Martin Helms (BfG), Christoph Brendel (DWD), Dr. Monika Rauthe (DWD), Markus Forbriger (EBA)
- ❖ **Gefahrenhinweiskarte für Hangrutschungen entlang des Bundesfernstraßen- und Schienennetzes**
Markus Forbriger (EBA), Jens Kirsten (BASt), Farina Lohrengel (BASt), Christoph Brendel (DWD), Dr. Stephanie Hänsel (DWD)

A. Walter (DWD), A. Ganske (BSH), M. Helms (BfG), C. Brendel (DWD), C. Fleischer (BfG), M. Forbriger (EBA), M. Haller (DWD), S. Hänsel (DWD), C. Herrmann (EBA), S. Höpp (DWD), S. Hüttl-Kabus (BSH), M. Klose (BAST), J. Kirsten (BAST), S. Krähenmann (DWD), E. Lifschiz (BAW), E. Nilson (BfG), J. Ork (BAST), M. Rauthe (DWD), E. Rudolph (BAW), N. Schade (BSH), S. Wehring (DWD), A. Gratzki (DWD)

Motivation und Zielstellung

Durch extreme Wetterereignisse (Abb. 1) und die sich verändernden Klimabedingungen können Transportketten unterbrochen, Verkehrsinfrastrukturen beschädigt und der Managementaufwand erhöht werden. Daher wird im BMVI-Expertennetzwerk daran gearbeitet, die Resilienz des Verkehrssystems zu erhöhen und entsprechende Anpassungsmaßnahmen vorzuschlagen.

Im Rahmen dieses Posters werden die dafür notwendigen Grundlagen (Daten, Szenarien, Modelle, Methoden) vorgestellt.

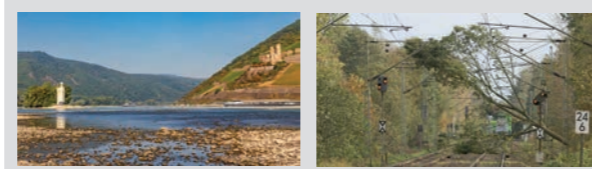


Abb. 1, links: Niedrigwasser am Rhein (Foto: B. Srot/fotolia); rechts: Schäden durch Orkan Christian (28.10.2013; Foto: J. Düll).

Rahmenvereinbarungen

Analysezeiträume: 1951-2100

- Bezugszeitraum: 1971-2000
- Zukunft: 2031-2060 und 2071-2100

Emissionsszenarien (Strahlungsantrieb)

- RCP2.6 („Klimaschutzszenario“)
- RCP8.5 („Weiter-wie-bisher“)

Fazit

Die hier vorgestellten Datengrundlagen und Rahmenvereinbarungen ermöglichen eine über verschiedene Gefahren und Verkehrsträger hinweg konsistente Analyse von Klimawirkungen. Die Daten und Ergebnisse sind ebenso relevant für die Bundesländer und gehen in den DAS-Prozess ein.

Verkehrsszenarien

- Basis: Bundesverkehrswegeplanung
- Bezugsnetz 2010 und Zielnetz 2030

Ensembleauswertungen

- Separate Ensemble je Strahlungsantrieb
- Ensemble-Bandbreite: 15. und 85. Perzentil

Datengrundlagen – Projektionen und Szenarien

Ensemble regionaler Klimamodelle (EURO-CORDEX und ReKliEs-de)

- (Multivariate) Anpassung systematischer Modellfehler (BIAS) der regionalen Klimasimulationen (RCM; Abb. 4), damit diese in den Impactmodellen sowie für die Berechnung von Klimaindizes genutzt werden können.
- Regionalisierung auf 5 km räumliche Auflösung.

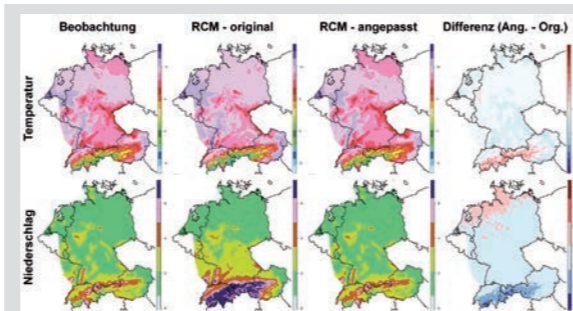


Abb. 4: Vergleich von Beobachtung, regionaler Klimasimulation und hinsichtlich systematischer Modellfehler angepasster Klimasimulation für die Variablen Temperatur und Niederschlag.

Datengrundlagen – Referenz (basierend auf Messungen)

HYRAS-Daten (Rasterdaten)

- Tageswerte
- Räuml. Auflösung: 5 km
- Zeitraum: 1951-2015
- Variablen:
 - Mittel-, Minimum- und Maximumtemperatur
 - Niederschlagssumme
 - relative Luftfeuchte
 - Globalstrahlung

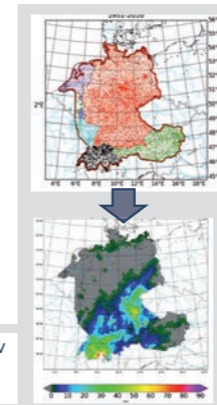


Abb. 2: HYRAS-Gebiet; Stationskollektiv Niederschlag (oben) und Rasterfeld eines ausgewählten Tages (unten).

Wasserstand und Abfluss an Flusspegeln

- langfristige tägliche Reihen der Flusspegel
- Fokus: Hochwasser und Niedrigwasser (tägl. Abflussganglinie, Kenngrößen, Fotos)

Ost- und Nordseeklimatologie (BNSC)

- Rasterdaten in 1° räumlicher Auflösung (Atmosphäre), respektive 0,25° (Ozean)
- Zeitraum: 1950-2015 Atm., 1873-2015 Ozean
- Variablen: Luftdruck, Lufttemperatur, Taupunkt, Wassertemperatur, Salzgehalt

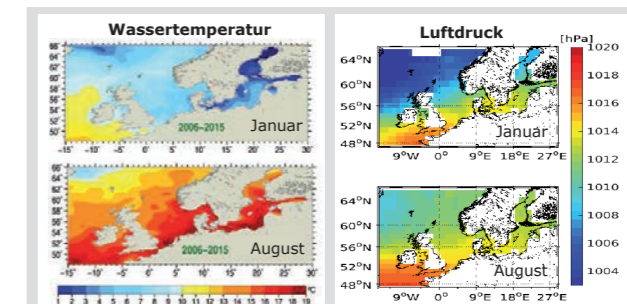


Abb. 3, links: BNSC Wassertemperatur in 10 m Tiefe für Januar und August (2006-2015). Rechts: BNSC Luftdruck auf Meeresspiegelniveau für Januar und August (1950-2015).

Gekoppelte Ozean-Atmosphäre-Modelle

- Als Randmeere sind Nord- und Ostsee besonders vom Austausch zwischen Ozean und Atmosphäre geprägt, siehe Abb. 5. Für die Klimauntersuchungen sind daher gekoppelte Simulationen notwendig.
- Im Küstenbereich werden zeitlich und räumlich hohe Auflösungen benötigt, z.B. für Sturmfluten, Tiden → regional gekoppelte Klimamodelle.

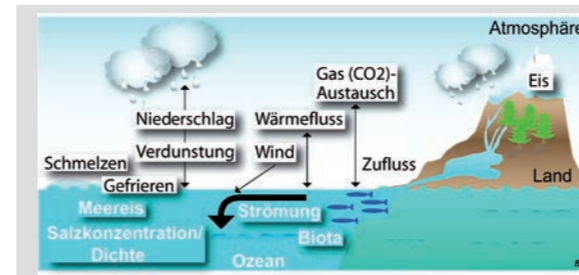


Abb. 5: Wechselwirkungen zwischen Ozean und Atmosphäre Grafik nach: <http://bildungsserver.hamburg.de/das-klimasystem/2063982/ozean-artikel>, Autor Dieter Kasang.

Abflussprojektionen und -szenarien

- Ableitung hydrologischer Information aus:
 - Beobachtungen / Projektionen / Szenarien
 - statistischer/stochast. Analyse
 - Abflusssimulation (LARSIM ME)
 - Regionalisierung
 - hydraulischen Berechnungen

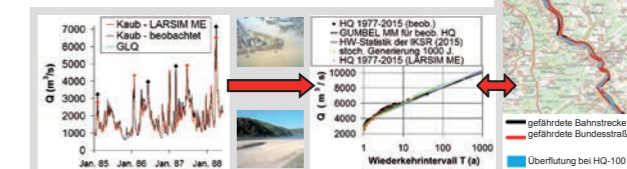


Abb. 6: Abflussganglinie am Rheinpegel Kaub mit daraus abgeleiteten Kenngrößen. Eine Wahrscheinlichkeitsanalyse für jährliche Abflussscheitel erlaubt eine Gefährdungseinschätzung von Verkehrswegen am Mittelrhein.

- Bereitstellung von Planungsgrundlagen als:
 - Abfluss-/Wasserstandsreihen (langfristig, charakteristische Jahre, Ereignisse)
 - Kenngrößen (Abfluss, Dauer, Häufigkeit etc.)

Kontakt

Andreas Walter, DWD
E-Mail: andreas.walter3@dwd.de



www.bmvi-expertennetzwerk.de

Caroline Rasquin (BAW), Benno Wachler (BAW), Elisabeth Rudolph (BAW), Enno Nilson (BfG), Anette Ganske (BSH), Jens Möller (BSH)

Ansatz und Ziele

Die Seeschiffahrtsstraßen der Deutschen Bucht und der angrenzenden Ästuare haben eine hohe wirtschaftliche Bedeutung. Dieser Verkehrsträger unterliegt dem direkten Einfluss der Tidedynamik, welche Wasserstände, Strömungen und die Sedimentdynamik beeinflusst. Aus klimawandelbedingten Änderungen der Tidedynamik ergeben sich direkte Folgen für die Unterhaltung und den Betrieb der Seeschiffahrtsstraßen. Für die Modellierung der natürlichen Wirkungsketten ist eine behördenübergreifende Erstellung von konsistenten Randbedingungen für Atmosphäre, ozeanischen Rand und Abfluss erforderlich.

Stand und Ausblick

Die Randbedingungen werden derzeit von BAW, BfG und BSH erarbeitet. Mit dem Deutsche-Bucht-Modell werden für repräsentative Jahre der nahen (2031–2060) und fernen Zukunft (2071–2100) mögliche Veränderungen der Tidedynamik und des Sedimenttransports untersucht. Die Ergebnisse gehen in die Klimawirkungsanalyse ein.

Kontakt

Caroline Rasquin, BAW
E-Mail: caroline.rasquin@baw.de



www.bmvi-expertennetzwerk.de

Meeresspiegelanstieg@BSH

Der Meeresspiegelanstieg setzt sich nach IPCC (2013) zusammen aus:

- Volumenänderungen: berechnet aus Temperatur- und Salzgehaltsänderungen z.B. von MPI-OM/REMO
- Massenänderungen: Abschätzungen des Abschmelzens von Eisschilden und Gletschern aus anderen Quellen

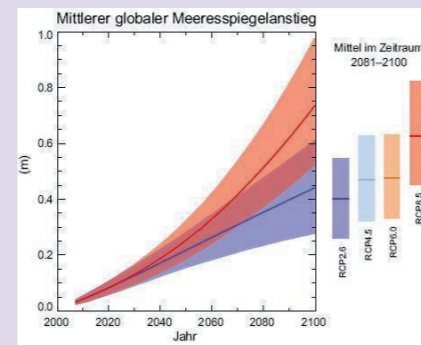


Abb.1: Projizierter mittlerer globaler Meeresspiegelanstieg, basierend auf IPCC Ergebnissen des AR5 (Abbildung SPM.9 aus IPCC 2013)
RCP = Representative Concentration Pathways

Topographie@BAW

Die topographische Entwicklung des Wattenmeers beeinflusst Wasserstand und Strömungsdynamik der Küstengewässer.

Annahmen zu Topographieänderungen im Wattenmeer beruhen auf:

- Literatur zu hydromorphologischen Gleichgewichtsbeziehungen
- Ergebnissen aus morphodynamischen Modellstudien (z.B. Dissanayake et al. 2012)

- Annahmen:
- Aufwachsen der Wattflächen (rot)
 - Vertiefung der Rinnen (blau)

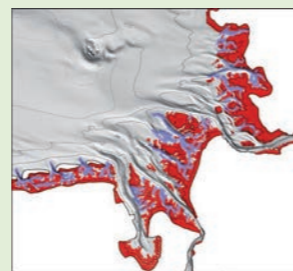


Abb. 2: Wattgebiete mit veränderter Topographie

Atmosphäre und Ozean@BSH

Wechselwirkungen zwischen Ozean und Atmosphäre beeinflussen z.B. Wasserstand, Salzgehalt und Temperatur.

- Randdaten (1951-2100) aus dem regional gekoppelten Ozean-Atmosphären-Klimamodell MPI-OM/REMO (Elizalde et al., 2014) für die Szenarien RCP4.5 und RCP8.5
- Statistische Analyse der Windfelder zur Auswahl geeigneter Jahre

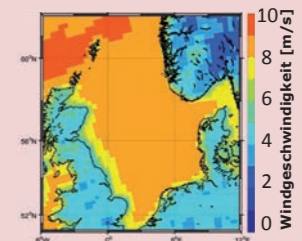


Abb. 4: Beispiel für Mittelwerte der Windgeschwindigkeiten in 10 m Höhe 1971-2000 aus MPI-OM/REMO

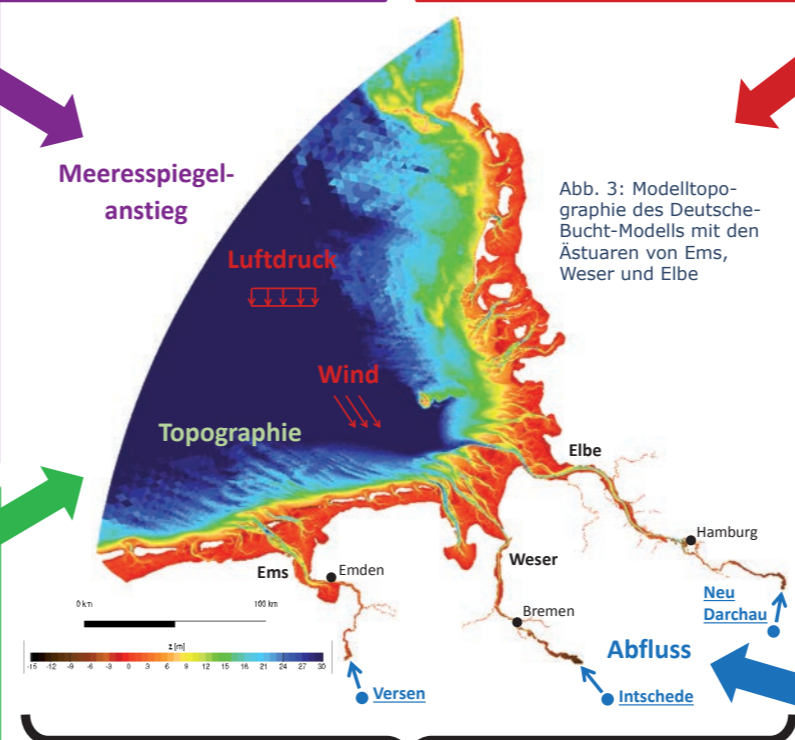


Abb. 3: Modelltopographie des Deutsche-Bucht-Modells mit den Ästuaren von Ems, Weser und Elbe

Klimawirkungsanalyse@BAW

- Hydrodynamisch-numerisches Modell der gesamten Deutschen Bucht inklusive der Ästuare von Ems, Weser und Elbe (Abb. 3)
- Simulationsergebnisse: Wasserstand, Strömungsgeschwindigkeit, Salzgehalt, Schwebstofftransport
- Flächenhafte Analyse und Interpretation der Ergebnisse. Beurteilung in Bezug auf die Verkehrsinfrastruktur

Abfluss@BfG, Wassergüte@BfG

Das Wasser aus dem Binnenland beeinflusst den Wasserstand, die Strömungsdynamik, den Sedimenthaushalt, den Salzgehalt und die Temperatur der Küstengewässer.

Die BfG liefert die entsprechenden binnenseitigen Randbedingungen in Form von simulierten Ganglinien des Abflusses, der Wassertemperatur und von Schwebstoffen an den Pegeln Versen (Ems), Intschede (Weser) und Neu Darchau (Elbe)

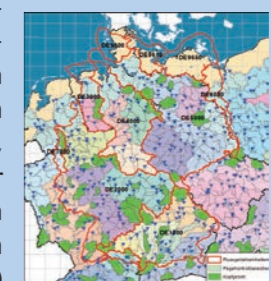


Abb. 5: Wasserhaushaltsmodell LARSIM-ME für repräsentative Jahre.

Literaturquellen

Dissanayake, D.M.P.K., et al., 2012. The morphological response of large tidal inlet/basin systems to relative sea level rise. *Climate Change*, 113, pp. 253-276.
Elizalde, A., et al., 2014. MPIOM-REMO: A Coupled Regional Model for the North Sea. *KLIWAS Schriftenreihe KLIWAS-58/2014*.
IPCC, 2013: Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. In: *Klimawandel 2013: Naturwissenschaftliche Grundlagen. Beitrag der Arbeitsgruppe I zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC)* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex und P.M. Midgley (Hrsg.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Großbritannien und New York, NY, USA. Deutsche Übersetzung durch Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, Österreichisches Umweltbundesamt, ProClim, Bonn/Wien/Bern, 2014.

Enno Nilson (BfG), Linda Bergmann (BAW), Claudius Fleischer (BfG), Martin Labadz (BfG), Elise Lifschiz (BAW), Gundula Haunert (BfG), Stephanie Hänsel (DWD), Martin Helms (BfG), Gudrun Hillebrand (BfG), Simona Höpp (DWD), Alexander Kikillus (BAW), Marcus Mannfeld (BfG), Regina Patzwahl (BAW), Caroline Rasquin (BAW), Dirk Schulz (BfG), Benno Wachler (BAW)

Einleitung

Die Interministerielle Arbeitsgruppe "Anpassung an den Klimawandel" (IMA) hat einen "Leitfaden für Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalysen" vorgelegt.

Ein wesentlicher Nutzen dieses Papiers liegt darin, die für Deutschland durchgeführten Klimawirkungsanalysen hin-

sichtlich Terminologie, Notation und Strukturierungsmerkmalen vergleichbar zu machen und so eine Novelle der sektorübergreifenden Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalyse im Rahmen des DAS-Fortschrittsberichts zu erleichtern.

Ansatz

Im Themenfeld 1 des Expertennetzwerks wurden verschiedene Empfehlungen der IMA aufgegriffen und erweitert.

- In der Notation wurde die Ebene der technischen Operationalisierung ergänzt (s. Tab. 1).
- Die verkehrsbezogenen Wirkungsketten wurden weiter detailliert (s. Abb. 1).
- Der Begriffskanon wurde um den Aspekt der "Kritikalität" erweitert, der die Bedeutung von Strecken und Teilnetzen in ökonomischer und ökologischer Dimension erfassen soll.

Tab. 1: Notationselemente zur Darstellung von klimatischen Einflüssen, Klimawirkungen und Sensitivitäten lt. IMA-Leitfaden (Auswahl), ergänzt um den Aspekt "Operationalisierung".

Bezeichnung	Notationsform (Beispiel)
"Klimatische Einflüsse" (weiße Boxen), zusammengefasst in einem "Themenfeld" (graue Box)	
"Klimawirkungen" (weiße Sechsecke), verknüpft über Wirkungsbeziehungen (schwarze Pfeile) mit einem klimatischen Einfluss (s.o.) oder einer vorgelagerten Klimawirkung (hier als Text), zusammengefasst in einem "Themenfeld" (graue Box)	
"Sensitivität" (sensitivitätsbestimmende Parameter; Oval), zusammengefasst unter einer "Oberkategorie" (grüne Box)	
Modelle und Methoden (gerundete Vierecke) zur Operationalisierung von Wirkungszusammenhängen, subsumiert in einer Oberkategorie (blaue Box)	

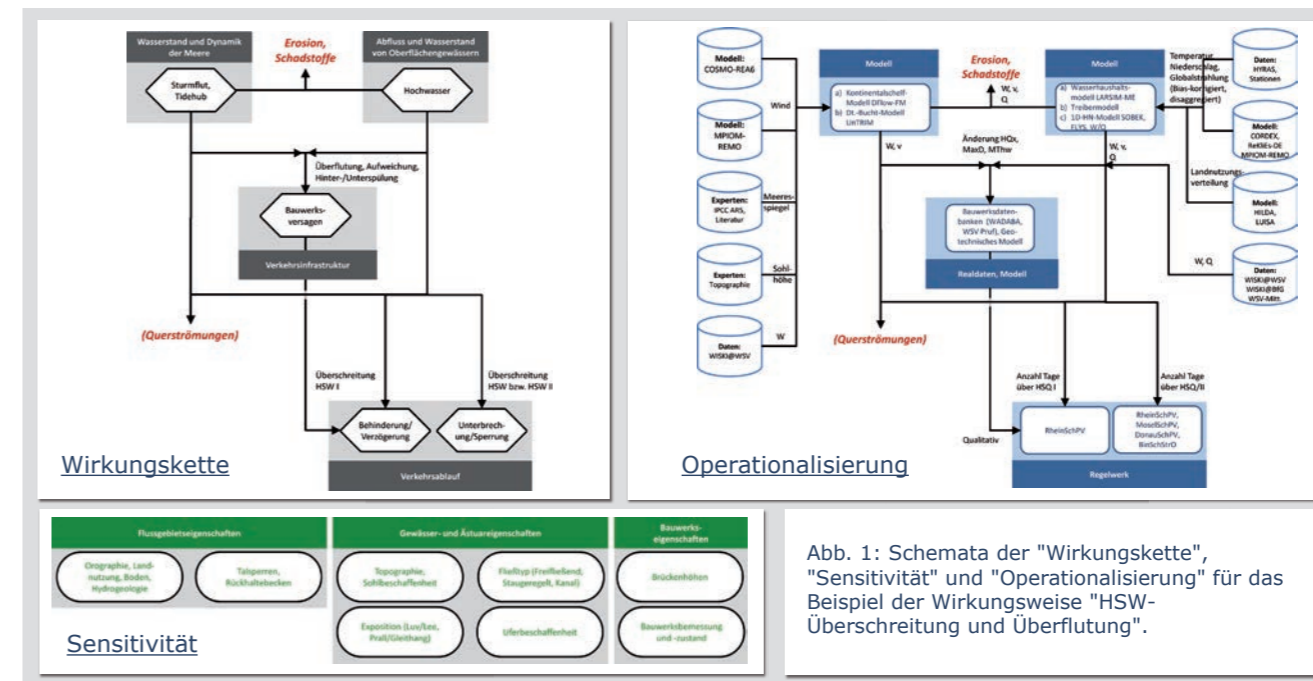


Abb. 1: Schemata der "Wirkungskette", "Sensitivität" und "Operationalisierung" für das Beispiel der Wirkungsweise "HSW-Überschreitung und Überflutung".

Ergebnisse

Die dargestellten Schemata zeigen exemplarisch für die Wirkungsweise "HSW-Überschreitung und Überflutung" vorläufige Ergebnisse

- der verkehrsbezogenen Systemanalyse (Wirkungskette),

- die Parameter, welche die regionale Ausprägung der Wirkung steuern (Sensitivität) und
- der technischen Werkzeuge und Datenressourcen, auf die bei der Operationalisierung der Wirkungsketten zurück gegriffen wird.

Ausblick

- Anwendung der Notation und Strukturierung auf weitere Wirkungsweisen
 - Umsetzung der Klimawirkungsanalysen
 - GIS-Integration mit anderen Verkehrsträgern und Gefahrenschwerpunkten
- Ziel ist es, die Klimawirkungsanalyse des Expertennetzwerkes kompatibel zu den Empfehlungen der IMA zu gestalten.

Literatur

- UBA [Hrsg.]: Leitfaden für Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalysen. Dessau 2017.
- Nilson, E. & 24 Coautoren (2019): Beiträge zu einer verkehrsträgerübergreifenden Klimawirkungsanalyse: Wasserstraßenspezifische Wirkungszusammenhänge. Schlussbericht des Schwerpunktthemas 106 „Schiffbarkeit und Wasserbeschaffenheit“ (Entwurf).

Kontakt

Enno Nilson, BfG
E-Mail: nilson@bafg.de



www.bmvi-expertennetzwerk.de

Jens Kirsten (BASt), Anne-Farina Lohrengel (BASt), Enno Nilson (BfG), Martin Helms (BfG), Christoph Brendel (DWD), Monika Rauthe (DWD), Markus Forbriger (EBA)

Hintergrund

Flusshochwasser im Binnenbereich und Sturmfluten an der Küste können die Verfügbarkeit des Bundesverkehrswege-
netzes beeinträchtigen und die Verkehrs-
infrastruktur schädigen.

- Hochwasser führt bei Überschreitung des höchsten Schifffahrtswasserstands (HSW) zu Ausfallzeiten für die Binnenschifffahrt.
- Bei Überflutung von Straße und Schiene wird deren Verfügbarkeit eingeschränkt und es kann zu Schäden am Bauwerk selbst kommen (z.B. durch Unterspülungen).



Um die Auswirkung von Hochwasser auf das Verkehrssystem zu minimieren, ist die Bestimmung der Gefährdung der Verkehrs-
infrastruktur durch Flusshochwasser und Sturmfluten unter Berücksichtigung des Klimawandels erforderlich. Die dafür ver-
wendeten Datengrundlagen und Methoden sowie erste Ergebnisse werden hier präsentiert.

Kontakt

Jens Kirsten, BASt
E-Mail: kirsten@bast.de



www.bmvi-expertennetzwerk.de

Methodik

Als wesentliche Grundlage für die Durchführung der Klimawirkungsanalyse dienen Gefahrenhin-
weiskarten zur Einschätzung der Hochwasser-
gefährdung.

Wasserstraße:

Um eine erste Einschätzung der Ausfallzeiten für die Flussabschnitte der Bundeswasserstraßen zu erhalten, wurden am Mittelrhein und seinen Neben-
flüssen aus aktuellen HSW- und Abflusstafeln von Richtpegeln sowie aus beobachteten und mit LARSIM ME simulierten Abflussreihen jährliche Tageszahlen der HSW-Überschreitung und Gefahrenhinweiskarten (s. Abb. 1) abgeleitet.

Straße und Schiene:

Der Gefahrenhinweiskarte „Hochwasser“ für Straße und Schiene liegen die Hochwassergefahren-
karten (HWGK) der Bundesländer zugrunde (erstellt im Rahmen der EU-Richtlinie 2007/60/EG). Die 16 Karten wurden für die drei Szenarien „extrem“, „mittel“ und „häufig“ verein-
heitlicht und zu bundesweiten Gefahrenhinweis-
karten zusammengeführt.

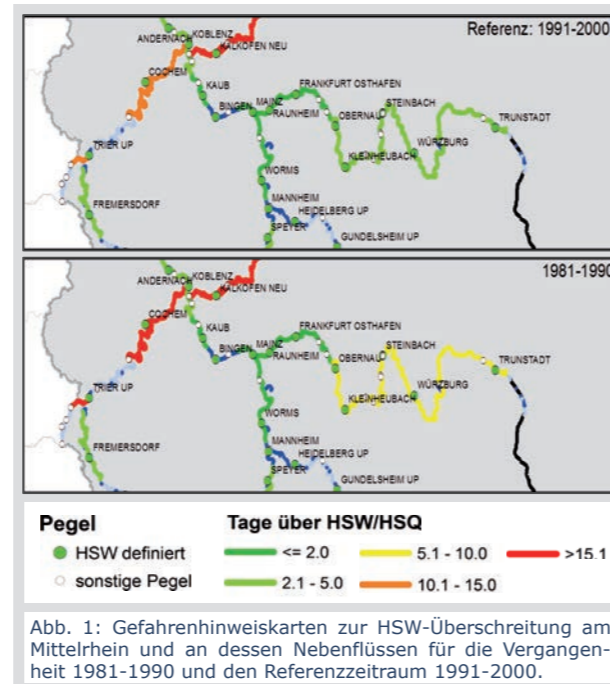


Abb. 1: Gefahrenhinweiskarten zur HSW-Überschreitung am Mittelrhein und an dessen Nebenflüssen für die Vergangen-
heit 1981-1990 und den Referenzzeitraum 1991-2000.

Klimawirkungsanalyse

Bestimmung der Exposition:

Als erster Schritt der Klimawirkungsanalyse „Hochwasser“ ist eine Expositionsanalyse erfolgt. Dazu wurden die Bundesverkehrswege-
netze von Straße und Schiene für den Referenzzeitraum 2010 mit den vereinheitlichten Hochwasser-
gefahrenkarten in einem Geoinformationssystem (GIS) räumlich miteinander verschnitten (Abb. 2 und 3). Für die Wasserstraße werden für diesen Schritt der Klimawirkungsanalyse die Gefahren-
hinweiskarten zur HSW-Überschreitung (Abb. 1) verwendet.

Betroffenheit der Bundesverkehrsinfrastruktur:

Bei einem „extremen“ Hochwasserereignis sind potenziell ca. 700 km der Bundesautobahnen, ca. 3800 km der Bundesstraßen und ca. 4800 km des Schienennetzes betroffen. Potenziell betroffene Streckenabschnitte wurden ebenfalls für die Hochwasserszenarien „mittel“ und „häufig“ identifiziert.

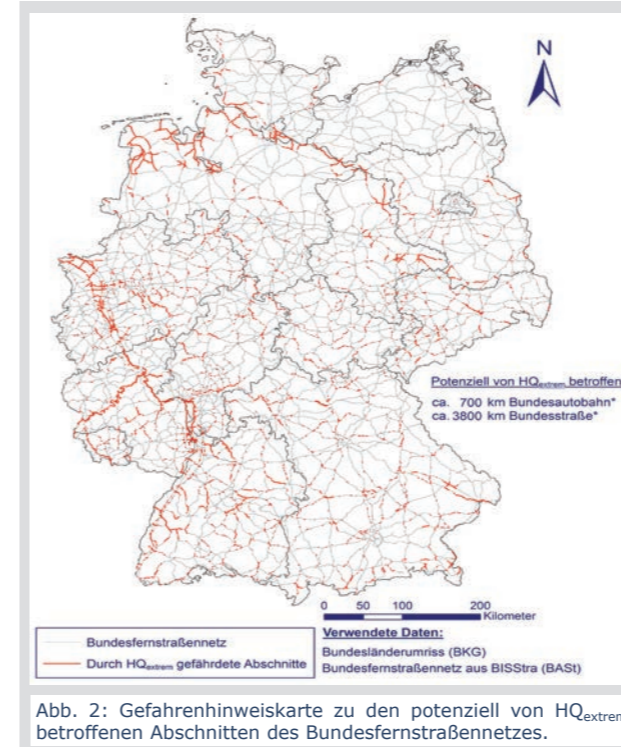


Abb. 2: Gefahrenhinweiskarte zu den potenziell von HQ_{extrem} betroffenen Abschnitten des Bundesfernstraßennetzes.



Abb. 3: Gefahrenhinweiskarte zu den potenziell von HQ_{extrem} betroffenen Abschnitten des Schienennetzes der DB AG.

Ausblick – Weitere Schritte

- Die für die Wasserstraße erprobte Methodik wird mit projizierten meteorologischen Eingangsdaten und Abflusssimulationen (LARSIM ME) auch für Zukunftsperioden (2031-2060/2071-2100) eingesetzt, um evtl. veränderte Häufigkeiten und Extreme der HSW-Überschreitung zu analysieren.
- Für Straße und Schiene werden LARSIM ME-Simulationen im Verbund mit Extremwertstatistiken und stochastischen Zeitreihengeneratoren eingesetzt. Dadurch können die sich im Zuge des Klimawandels ggf. ändernden Jährlichkeiten der HWGK zugrunde liegenden Abflusswerte berechnet werden.
- Als Grundlage für Anpassungsoptionen werden die identifizierten Streckenabschnitte hinsichtlich ihrer Sensitivität und Kritikalität analysiert.

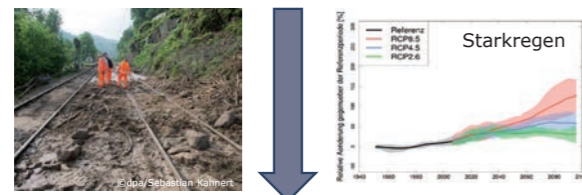
Markus Forbriger (EBA), Jens Kirsten (BAST), Anne-Farina Lohrengel (BAST), Christoph Brendel (DWD), Stephanie Hänsel (DWD)

Hintergrund

Hangrutschungen können die Verfügbarkeit des Bundesverkehrsnetzes beeinträchtigen.

Auslöser / Einflussfaktoren:

- Geologische Faktoren, wie Mineralzusammensetzung von Fest- und Lockergestein, Schichtung, Klüftung, Tektonik, Stratigraphie und Hangneigung
- Klimatische Faktoren, welche u.a. die Wassersättigung des Untergrundes beeinflussen, z.B. Dauerregen, Starkregen (nach Schneeschmelze, Dauerregen oder Trockenperiode) sowie Frost-Tau-Wechsel



Gefahrenhinweiskarten dienen der Praxis als wichtiges Planungsinstrument und tragen zur Gefahrenvermeidung bei. Das gemeinsame Ergebnis des Expertennetzwerks ist der Schritt hin zu einer vergleichbaren Karte für Straße und Schiene.

Methodik

Die Erstellung der Gefahrenhinweiskarten beruht auf einem expertenwissenbasierten geotechnischen Ansatz (gemeinsam von EBA und BAST in Projekten entwickelt).

Gefahrenklasse	DGM Klassifikation	Lockergestein			Festgestein
		GK = 3, 7, 5 gemischtkörnig	GK = 4, 8 rollig	GK = 2, 6 bindig	
15	DGM = 5	> 36°	> 30°	> 60°	
14		> 36°	> 30°	> 60°	
13		> 36°	> 30°	> 60°	
12	DGM = 4	> 30-36°	> 36°	> 50-60°	
11		> 30-36°	> 36°	> 50-60°	
10		> 30-36°	> 36°	> 50-60°	
9	DGM = 3	> 25-30°	> 30-36°	> 30-50°	
8		> 25-30°	> 30-36°	> 30-50°	
7		> 25-30°	> 30-36°	> 30-50°	
6	DGM = 2	> 10-25°	> 25-30°	0-10°	
5		> 10-25°	> 25-30°	0-10°	
4		> 10-25°	> 25-30°	0-10°	
3	DGM = 1	0-10°	0-25°		
2		0-10°	0-25°		
1		0-10°	0-25°		

	Modifikatoren der Ausgangsdaten	Kombination der Modifikatoren	Resultierender Modifikator für die Gefahrenklasse
Landnutzung	0, 1, 2	0, 1, 2	0, 1, 2
Verformungsempfindlichkeit	0, 1, 2	0, 1, 2	0, 1, 2
Klüftung	0, 1, 2	0, 1, 2	0, 1, 2
Trennflächen	0, 1, 2	0, 1, 2	0, 1, 2
Fließakkumulation	0, 1, 2	0, 1, 2	0, 1, 2

Abb. 1: Berechnung der 15 Gefahrenklassen mittels Entscheidungsmatrix (oben) und Modifikatoren/fester Algorithmen (Fließschema, unten) (beak, 2017).

Ermittlung des Gefährdungspotenzials:

- Verschnitt von Topographie (DGM20) und Gesteinseigenschaften (GÜK200) in einem Geographischen Informationssystem (GIS)
- Festlegung des grundlegenden Gefährdungspotenzials mittels der Parameter Hangneigung und Gesteinsklassifikation (Abb. 1, oben)
- Modifikation des Gefährdungspotenzials durch Berücksichtigung der nachgeordneten Parameter Landnutzung, Verformungsempfindlichkeit, Klüftung, Trennflächen und Fließakkumulation (Fließschema siehe Abb. 1, unten)

Gefahrenhinweiskarten

Nutzen der Gefahrenhinweiskarten:

- Übersicht über aktuelle und potenzielle Gefährdungsgebiete durch Massenbewegungen wie Rutschungen, Steinschlag und Felssturz
- Orientierungshilfe bei der Priorisierung von Erkundungs- und gegebenenfalls Sicherungsmaßnahmen

Die Erstellung der Gefahrenhinweiskarten erfolgt mittels einer einheitlichen Methodik für Straße und Schiene. Für das Schienennetz des Bundes ist die ingenieurgeologische Gefahrenhinweiskarte (Abb. 2) bereits entwickelt worden. Der Detailausschnitt in Abb. 3 zeigt die Verifizierung der Ergebnisse anhand bekannter Schadensereignisse. Für die Straße wird das Modell derzeit entwickelt.

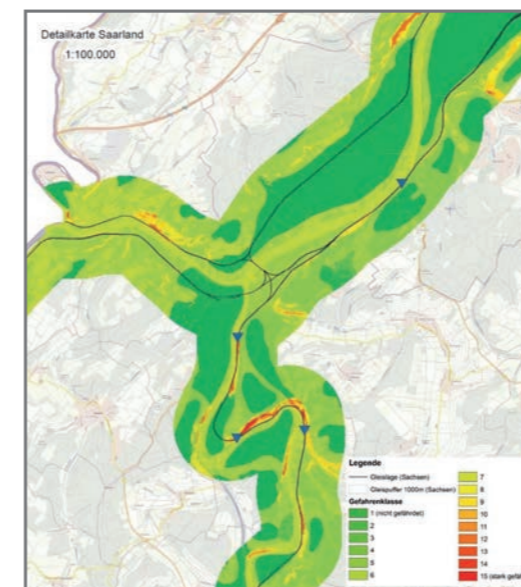


Abb. 3: Detailausschnitt der Gefahrenhinweiskarte für das Saarland. Der Ausschnitt zeigt eine gute Übereinstimmung von hoher Gefahrenklasse und bekannten Hangrutschungsereignissen (Dreiecke) entlang der Schieneninfrastruktur.

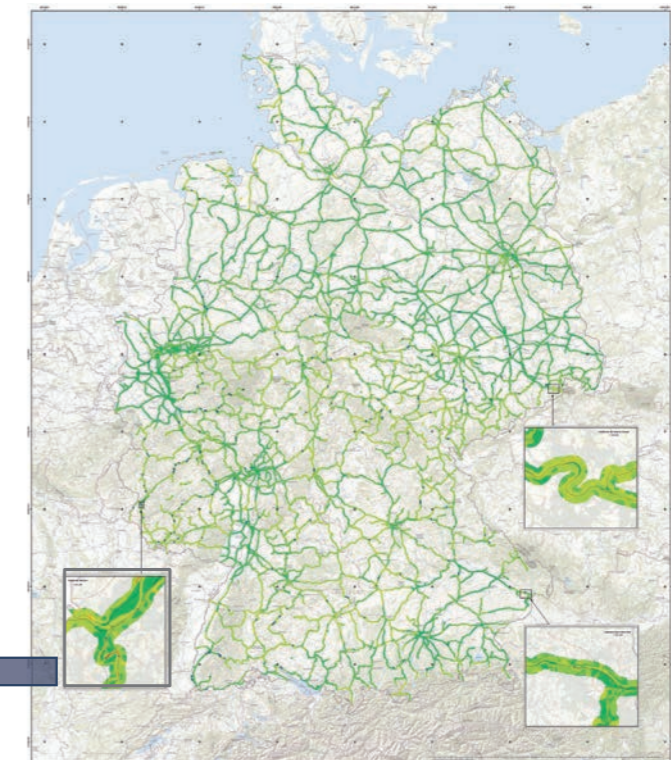


Abb. 2: Ingenieurgeologische Gefahrenhinweiskarte für das Schienennetz des Bundes (Projektabschlussbericht beak, 2017).

Ausblick

Die entwickelten Gefahrenhinweiskarten sind eine wichtige Grundlage für die Expositionsanalyse im Rahmen der verkehrsträgerübergreifenden Klimawirkungsanalyse. Die Integration von Klimaprojektionsdaten in die Gefahrenhinweiskarten ermöglichen die geplanten Expositionsanalysen für die nahe und ferne Zukunft (2031-2060 / 2071-2100). Diese Ergebnisse werden in Form von Karten und Berichten 2019 der Praxis zur Verfügung gestellt.

Referenz:

Beak Consultants GmbH (2017): Erstellung einer ingenieurgeologischen Gefahrenhinweiskarte zu Hang- und Böschungsrutschungen entlang des deutschen Schienennetzes. Abschlussbericht, Projekt des Eisenbahn-Bundesamtes.

Kontakt

Markus Forbriger, EBA
ForbrigerM@eba.bund.de



www.bmvi-expertennetzwerk.de



Lebensraumvernetzung und Biodiversität

Das BMVI-Expertenetzwerk befasst sich mit Grundlagen, Strategien und geeigneten Maßnahmen für eine ökologische Vernetzung zur Förderung der Biodiversität und der strukturellen Lebensraumvielfalt unter den Bedingungen unserer hoch technisierten Welt. Die Infrastruktur liefert mit Landschaftselementen entlang ihres Verkehrsnetzes an Bahn- und Straßentrassen sowie Wasserwegen ein lineares System, das einerseits trennt, indem es Lebensräume zerschneidet, andererseits aber auch verbindet, zum Beispiel bei der Verbreitung von Tier- und Pflanzenarten durch den Verkehr als Vektor. Die Entfaltung von Biodiversität setzt Lebensräume mit entsprechender Mindestgröße und ausreichend funktionale Verknüpfungen voraus. In der verkehrsübergreifenden räumlichen Vernetzung der Infrastruktur liegen ein maßgebliches Potenzial und ein hoher Anspruch an eine nachhaltige Entwicklung.

Poster

❖ **Verkehrsträgerübergreifende Betrachtungen zur Lebensraumvernetzung auf Verkehrsnebenflächen**

Dr. Daniel Esser (BfG), Dr. Pia Bartels (BASt), Dr. Marion Leiblein-Wild (EBA),
Dr. Karl-Otto Nagel (BASt), Dr. Nicole Schwartz (BfG), Dr. Andreas Sundermeier (BfG)

❖ **Verkehrsträgerrelevante Neobiota**

Dr. Nicole Schwartz (BfG), Dr. Daniel Esser (BfG), Dr. Franz Schöll (BfG),
Dr. Andreas Sundermeier (BfG), Dr. Marion Leiblein-Wild (EBA)

❖ **Auswirkungen von Verkehr auf planungsrelevante Tierarten**

Dr. Pia Bartels (BASt), Dr. Daniel Esser (BfG), Dr. Marion Leiblein-Wild (EBA),
Dr. Karl-Otto Nagel (BASt)

❖ **Ausbreitung von Neobiota im Bereich der Verkehrsträger**

Mariusz Zabrocki (BSH), Dr. Katja Broeg (BSH), Dr. Marion Leiblein-Wild (EBA),
Dr. Nicole Schwartz (BfG)

❖ **Management von invasiven Neobiota im Bereich der Verkehrsträger**

Dr. Marion Leiblein-Wild (EBA), Dr. Pia Bartels (BASt), Dr. Daniel Esser (BfG),
Dr. Nicole Schwartz (BfG), Dr. Andreas Sundermeier (BfG), Mariusz Zabrocki (BSH)

Daniel Esser (BfG), Pia Bartels (BAST), Marion Leiblein-Wild (EBA), Karl-Otto Nagel (BAST), Nicole Schwartz (BfG), Andreas Sundermeier (BfG)

Zielsetzung

Tier- und Pflanzenarten richten ihr Verhalten nach den lokalen ökologischen Gegebenheiten, kaum aber nach administrativen Grenzen oder Zuständigkeiten.

Folglich erfordern effektive Maßnahmen zur Erfüllung der gesetzlichen Vorgaben zum Erhalt der Biodiversität eine verkehrsträgerübergreifende Sichtweise.

Das BMVI-Expertennetzwerk untersucht im Schwerpunktthema 201 das ökologische Potenzial von Verkehrsnebenflächen mit besonderem Blick auf verkehrsträgerübergreifende Möglichkeiten der Lebensraumvernetzung.

Datenerhebung

Verkehrsträgerübergreifend einheitliche Erfassung der Biodiversität im Untersuchungsraum (UR) Aschaffenburg (Abb. 1)

- Biotoptypen und Flora (abgeschlossen)
- Fauna (Amphibien, Reptilien, Vögel, Laufkäfer, Spinnen, Tagfalter; in Erarbeitung)

Kontakt

Daniel Esser, BfG
E-Mail: daniel.esser@bafg.de



www.bmvi-expertennetzwerk.de

Ergebnisse

Ähnlichkeit der Lebensräume

- Mehr als ein Drittel der häufigen Biotoptypen kommen regelmäßig an mehr als einem Verkehrsträger vor (Abb. 2).

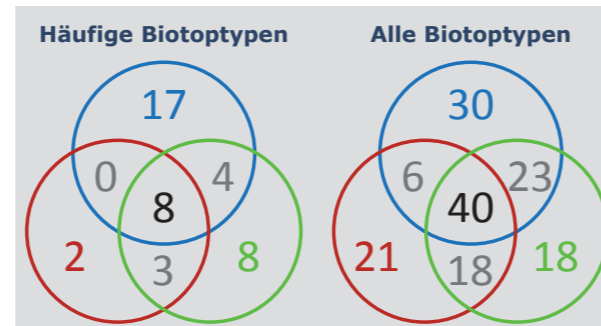


Abb. 2: Anzahl gemeinsamer und exklusiver Biotoptypen an Wasserstraße (blau), Straße (grün) und Schiene (rot) im UR Aschaffenburg. Links: Biotoptypen mit regelmäßigem Vorkommen an einem, zwei oder allen drei Verkehrsträgern. Rechts: Alle Biotoptypen an den einzelnen Verkehrsträgern.



Abb. 1: Abgrenzung des Untersuchungsraumes Aschaffenburg

Ähnlichkeit der Vegetationszusammensetzung an Verkehrsträgern

- Die Vegetation direkt an Straßen (Entfernung ≤ 5 m) bildet Übergänge zur Vegetation sowohl an Schienen als auch an Wasserstraßen (Abb. 3).

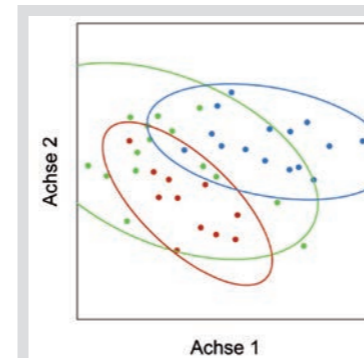


Abb. 3: Ähnlichkeit der Vegetation an den drei Verkehrsträgern dargestellt nach Multidimensionaler Skalierung (NMDS). Benachbarte Punkte sind Vegetationsaufnahmen (innerhalb von 5 m vom Verkehrsweg) hoher Ähnlichkeit in Artenzusammensetzung und Häufigkeit. Die Ellipsen kennzeichnen den Bereich der typischen Vegetation der einzelnen Verkehrsträger.

- Die Ähnlichkeit der Vegetation an Verkehrswegen ist am höchsten in 25 m Entfernung (Abb. 4).
- Die Vegetation an Schienen und Wasserstraßen unterscheidet sich signifikant in Feuchte- und Temperaturkennzahlen (Daten nicht gezeigt).

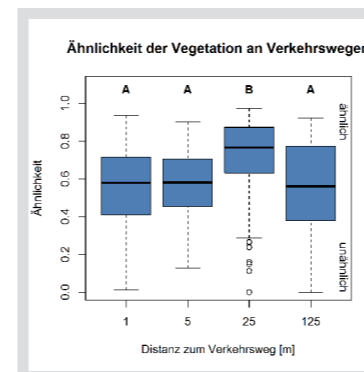


Abb. 4: Ähnlichkeit der Vegetation an den drei Verkehrsträgern in vier verschiedenen Abständen zum Verkehrsweg. In 25 Meter Entfernung ähnelt sich die Vegetation an Verkehrsträgern signifikant mehr als in anderen Entfernungen (paarweiser Wilcoxon-Test, alle $p_{25} < 0.001$).

Gemeinsame und exklusive Arten

- Gemeinsame Arten sind allgemein verbreitete Arten nährstoffreicher Säume und frischen Wirtschaftsgrünlandes (Abb. 5).



Abb. 5: Anzahl gemeinsamer und exklusiver Pflanzenarten an Wasserstraße (blau), Straße (grün) und Schiene (rot) im UR Aschaffenburg. Links: Arten mit regelmäßigem Vorkommen an einem, zwei oder allen drei Verkehrsträgern. Rechts: Alle Arten mit Vorkommen an den einzelnen Verkehrsträgern.

Schlussfolgerungen

Verkehrsnebenflächen von Straßen, Wasserstraßen und Schienen bilden charakteristische Biotop- und Vegetationskomplexe, die sich in wichtigen Teilen ähneln. Wir folgern:

1. Biotopvernetzung direkt am Verkehrsweg erfolgt am ehesten nur entlang des jeweiligen Verkehrsträgers.
2. Eine Vernetzung in „2. Reihe“ (~ 25m vom Verkehrsweg) kann verkehrsträgerübergreifend erfolgen.
3. Es erfolgt hauptsächlich eine Vernetzung gemeinsamer Pflanzenarten/Standorte mit möglicher Wirkung auf viele Tiergruppen.
4. Verkehrsträgerübergreifende Maßnahmen erfordern eine verkehrsträgerübergreifende Expertise.

Nicole Schwartz (BfG), Daniel Esser (BfG), Franz Schöll (BfG), Andreas Sundermeier (BfG), Marion Leiblein-Wild (EBA)

Einleitung

Die Verkehrsträger Straße, Schiene und Wasserstraße sind eng miteinander vernetzt, wodurch die **Gefahr einer verkehrsträgerübergreifenden Ausbreitung gebietsfremder Arten (Neobiota)** besteht.

An den Umschlagplätzen können Neobiota mit den transportierten Gütern von einem Verkehrsträger auf den anderen wechseln und

so weiter transportiert werden.

Ziele:

- Frühzeitiges Erkennen von Neobiota und Minimierung der Ausbreitung
 - Abstimmung wissenschaftlicher Erkenntnisse und Managementmaßnahmen zwischen den Verkehrsträgern
- ⇒ Zeit- und Geldersparnis

Methoden

In einer Literaturstudie wurden 123 Neobiota hinsichtlich ihres **Invasionsrisikos für die Schiene** bewertet (vgl. Poster Leiblein-Wild et al.). Die **Bedeutung von Verkehrsnebenflächen als Ausbreitungspfade für Neobiota** wurde beispielhaft im Raum

Aschaffenburg untersucht (vgl. Poster Esser et al.). Für die Einschätzung der **Rolle von Binnenschiffen bei Einfuhr und Ausbreitung von Neobiota** wurden Schiffsrümpfe von Sport- und Berufsschiffen sowie Häfen (vgl. Poster Zabrocki et al.) beprobt.

Kontakt

Nicole Schwartz, BfG
E-Mail: schwartz@bafg.de



www.bmvi-expertennetzwerk.de

Ergebnisse

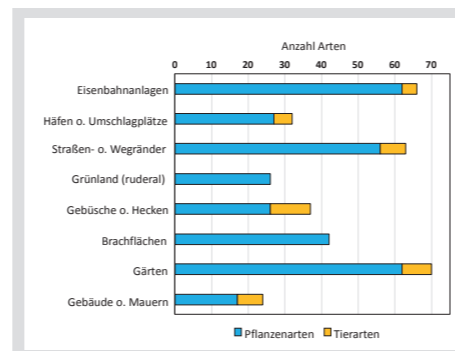


Abb. 1: Anzahl Neobiota nach ihrem Vorkommen in für den Verkehrsträger Schiene relevanten Lebensräumen

- Die höchste Anzahl bahnrelevanter Neobiota ist in Gärten (70 Arten), Eisenbahnanlagen (66 Arten), Straßen- o. Wegrändern (63 Arten) zu finden (**Abb. 1**)
- Diese Lebensräume wurden auch an Straßen und Wasserstraßen gefunden, was die Relevanz einer verkehrsträgerübergreifenden Betrachtung verdeutlicht (vgl. Poster Esser et al.).

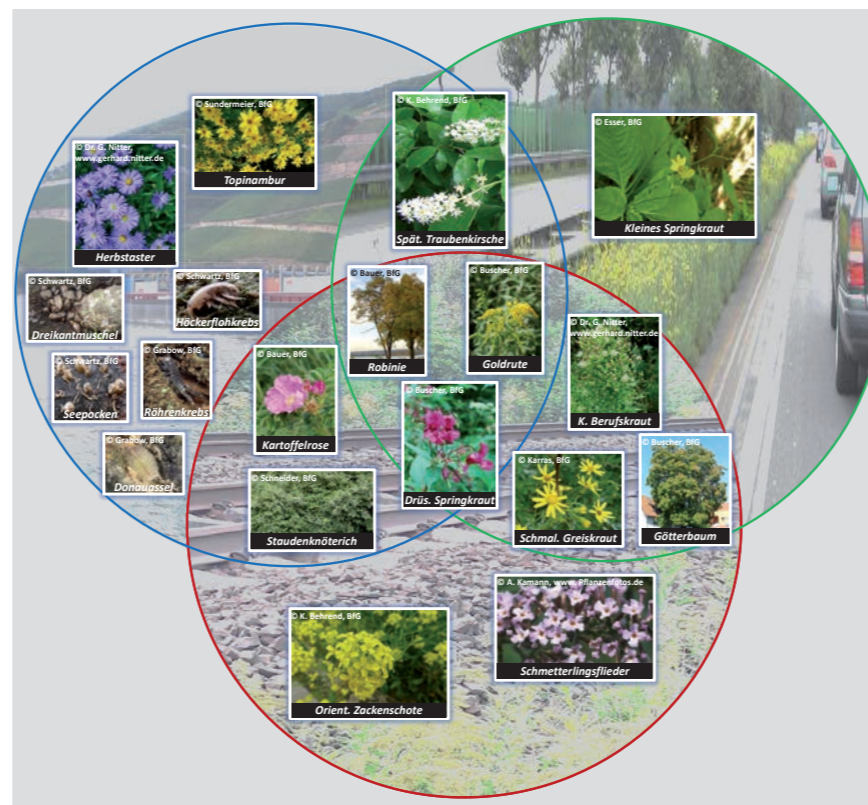


Abb. 2: Exklusiv an jeweils einem der Verkehrsträger und gemeinsam vorkommende gebietsfremde Pflanzen (Neophyten)^{1,2} und die häufigsten gebietsfremde Tiere (Neozoen) an Schiffsrümpfen von Binnenschiffen

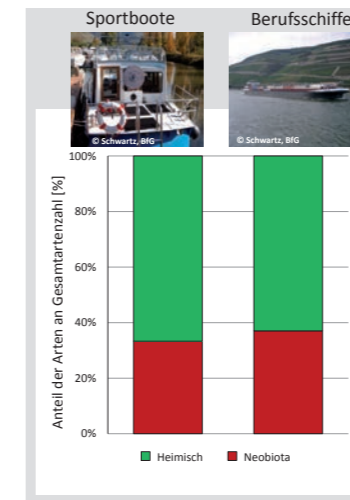


Abb. 3: Anteil Neobiota an der Gesamtartenzahl, auf Schiffsrümpfen von Sportbooten und Berufsschiffen



- **Robinie, Goldrute** und **Drüsiges Springkraut** wurden an allen drei Verkehrsträgern in diesen Studien^{1,2} regelmäßig gefunden

Fazit / Ausblick

- Lebensräume an Schiene, Straße und Wasserstraße bieten vergleichbare Bedingungen für Neobiota und stellen die Verkehrsträger somit vor ähnliche Herausforderungen.
- In zukünftigen Studien sollen Methoden und Managementmaßnahmen zwischen den Verkehrsträgern verstärkt abgestimmt werden.

Verwendete Studien:

¹ Ermittlung und Risikobewertung der für die Bahn kritischen invasiven Arten (Poster)
² Biodiversität und Ausbreitung gebietsfremder Arten im Untersuchungsraum Aschaffenburg (Poster)

Pia Bartels (BAST), Daniel Esser (BfG), Marion Leiblein-Wild (EBA), Karl-Otto Nagel (BAST)

Einleitung

Verkehrsbegleitflächen können wertvolle Lebensräume für Tier- und Pflanzenarten darstellen. Auch planungsrelevante Arten, das sind Tiere, die bei einer Artenschutzprüfung besonders berücksichtigt werden müssen, sind hier oft zu finden. Allerdings können angrenzende Verkehrswege bei einigen Tieren Verluste durch Kollisionen fordern oder die Tiere negativ durch Störungen beeinflussen (Abb. 1).

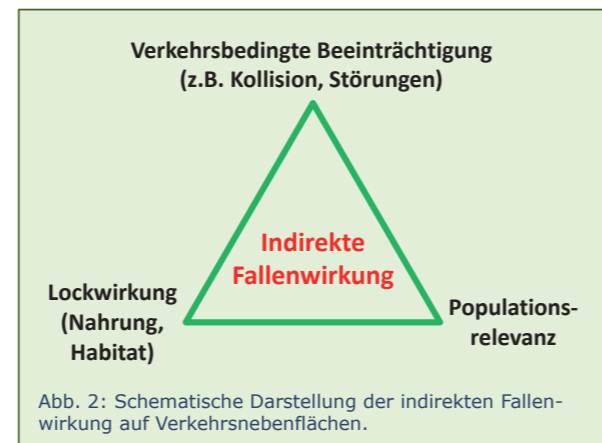
Positive und negative Effekte des Verkehrs auf planungsrelevante Tierarten wurden am Beispiel der Haselmaus und der Zauneidechse untersucht.



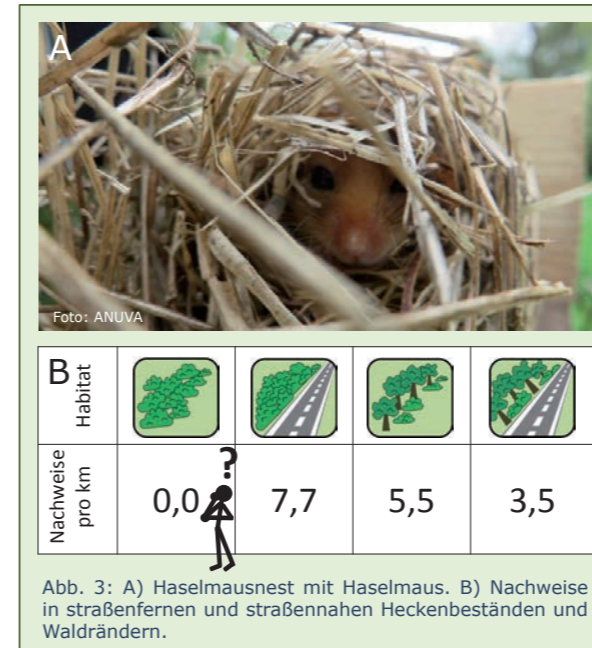
Abb. 1: Potenzielle Auswirkungen von Verkehr auf planungsrelevante Tierarten.

Haselmaus auf Straßenbegleitflächen

Um die Auswirkungen des Straßenverkehrs auf die Haselmaus zu beurteilen, wurden Populationen in straßennahen und straßenfernen Hecken und Waldrändern an der BAB A6 (BW/BY) verglichen (Abb. 3).



Wenn eine Attraktionswirkung von Lebensräumen und eine negative Wirkung (z.B. erhöhte Mortalität) zusammen auf eine lokale Population Einfluss nehmen, spricht man von indirekter Fallenwirkung (Abb. 2), die im Rahmen dieses Projektes genauer betrachtet wurde.



Ergebnis

- Hohe Anzahl an Jung- und Alttieren nach Oberbaurerneuerung (Abb. 3B)

Hoher Prädatationsdruck und eine isolierte Landschaftslage führen womöglich zu einem Fehlen in straßenfernen Hecken.

Fazit und Ausblick

Begleitflächen von Verkehrsträgern können **attraktive Lebensräume** für Tiere bieten. Durch ihre linearen Strukturen können sie potenziell der **Lebensraumvernetzung** dienen. Einigen Tierarten können allerdings negativ beeinflusst werden.



Ob die Beeinträchtigung durch den Verkehr langfristig lokale Populationen schädigt, ist noch ungeklärt und wird mit Hilfe von **genetischen Methoden** in weiteren Forschungsprojekten untersucht.

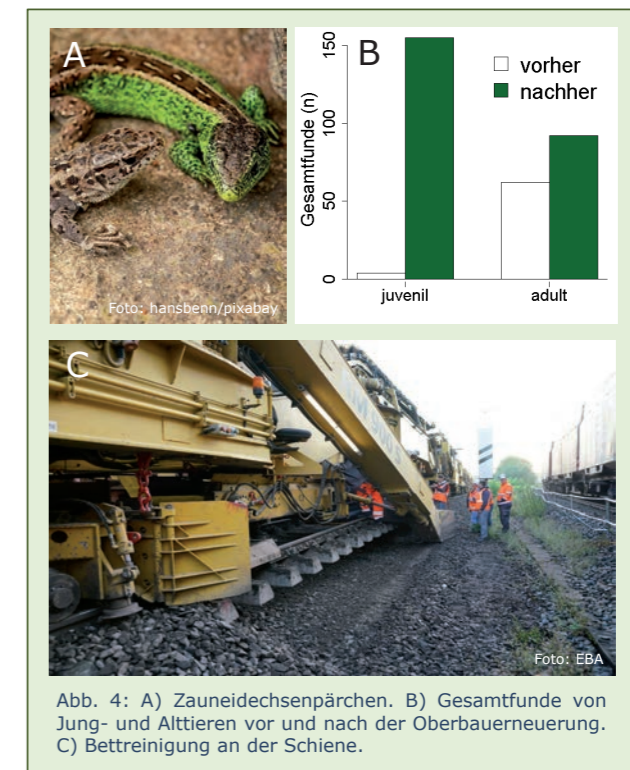
Zauneidechsen am Gleisbett

Regelmäßige Instandhaltungsmaßnahmen sind nötig, um Funktionalität und Sicherheit in der Verkehrsinfrastruktur zu gewährleisten. Wie solche Maßnahmen an den Verkehrswegen lebende Tiere beeinflussen, ist wenig bekannt. Die Auswirkungen einer Oberbaurerneuerung auf eine Zauneidechsenpopulation wurden hier untersucht (Abb. 4).

Ergebnis

- Hohe Anzahl an Jung- und Alttieren nach Oberbaurerneuerung (Abb. 4B)

Keine unmittelbare Auslöschung der Population durch Oberbaurerneuerung. Instandhaltungsmaßnahmen scheinen die Tiere nicht zu gefährden, da bereits geringe Störungen ein **Fluchtverhalten** auslösen.



Kontakt

Pia Bartels, BAST
E-Mail: bartelsp@bast.de



www.bmvi-expertennetzwerk.de

Mariusz Zabrocki (BSH), Katja Broeg (BSH), Marion Leiblein-Wild (EBA), Nicole Schwartz (BfG)

Einschleppung und Ausbreitung

Nicht-einheimische Arten (Neobiota) erreichen neue Lebensräume auf unterschiedlichste Weise. Stetig steigende Mobilität und der Handel leisten einen wesentlichen Beitrag zur Einschleppung und Verbreitung dieser Arten, die im schlimmsten Fall Schäden verursachen und daraufhin als invasiv bewertet werden. Die Einschleppung und Verbreitung geschieht dabei verkehrsträgerübergreifend (Schiene, Straße, Binnen- und Seewasserstraßen). Im

Forschungsprojekt „Bahnrelevante invasive Arten“ wurden u.a. Ausbreitungspfade für invasive Arten und potenziell invasive Arten ermittelt (Abb. 1). Die Ausbreitung **durch Fahrtwind und als blinder Passagier an der Bahn** sind für den Verkehrsträger Schiene die relevantesten Ausbreitungspfade.

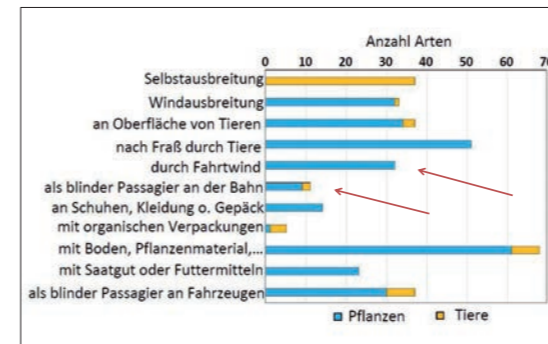


Abb. 1: Für den Verkehrsträger Schiene relevante Ausbreitungspfade getrennt nach Tier- und Pflanzenarten.

Sportboote – ein relevanter Ausbreitungsvektor

BfG und BSH untersuchen die Bedeutung von Sportbooten als Ausbreitungspfad von Neobiota in deutschen Gewässern (Abb. 2) (siehe auch Poster Schwartz et al.).

- Das **Thema „Neobiota“** und die Biofouling **Richtlinien** der Internationalen Seeschiffahrtsorganisation (IMO) **sind wenig bekannt.**
- Sportboote an der Küste weisen einen erheblich **höheren Bewuchsgrad** als Boote im Binnenland auf (Abb. 4).



Foto: Zabrocki, BSH

Abb. 3: Beispiel für einen sehr starken Bioaufwuchs an einem Segelboot. Das Boot wurde nur selten bewegt und wies hohe Liegezeiten auf. Die Arten werden zur Zeit im Labor bestimmt.

Erste Ergebnisse zeigen:

- **Nischenbereiche** von Booten, z.B. Ruderblatt, Propeller und Motorteile sind besonders von **Bioaufwuchs** betroffen (Abb. 3).

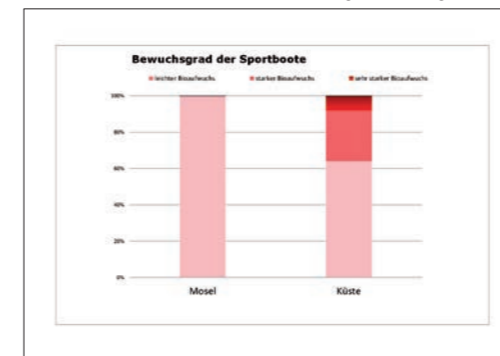


Abb. 4: Der Bewuchsgrad wurde an insgesamt 51 Sportbooten an der Mosel und der Ostseeküste ermittelt. Leichter Bioaufwuchs: hauptsächlich Biofilm. Starker Bioaufwuchs: Biofilm/Teppiche von Hartaufwuchs (Muscheln/Seepocken). Sehr starker Bioaufwuchs: große Teppiche von Hartaufwuchs.

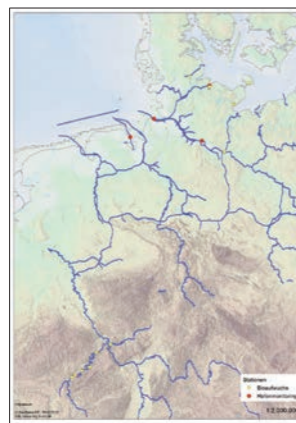


Abb. 2: Übersicht der Untersuchungsstandorte. Hafenmonitoring (rot) und Bioaufwuchserhebung an den Sportbooten (grün). Projektdauer 2 Jahre.

Neobiota in den Häfen

Die wichtigsten schiffsbetrieblichen Operationen finden in den Häfen statt. Dort können durch Ballastwasserabgabe oder -aufnahme Neobiota eingeschleppt bzw. verbreitet werden. Die Häfen Hamburg und Kiel wurden 2017 auf das Vorkommen von Neobiota hin untersucht (Abb. 5). Ziel war es, Grundlagen für die Risikobewertung im Rahmen des Ballastwasser-Übereinkommens zu schaffen.

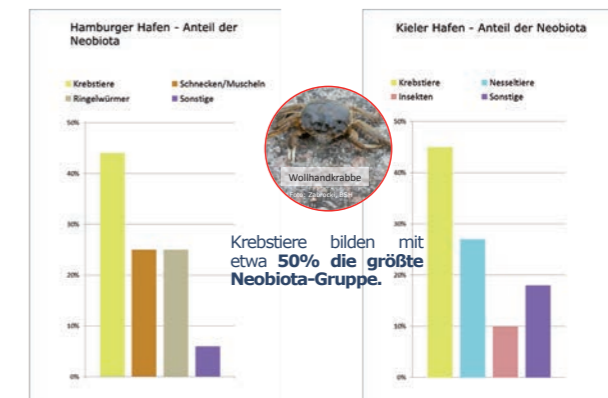


Abb. 5: Gemäß eines international abgestimmten Protokolls werden erstmalig in diesem Umfang Kartierungen in vier ausgewählten Häfen durchgeführt (Abb. 2). Für eine erfolgreiche Risikobewertung sollten weitere Parameter (z.B. die **Betrachtung zusätzlicher Daten**) aufgenommen werden.

Fazit/Ausblick

Die Ausbreitung nicht-einheimischer Arten (Neobiota) erfolgt verkehrsträgerübergreifend. Eine Plattform für Informations- und Erfahrungsaustausch unter den Fachbehörden sowie effektive Aufklärungsarbeit haben das Potenzial, Einschleppung und Verbreitung schädlicher (invasiver) Neobiota zu reduzieren.

Kontakt

Mariusz Zabrocki, BSH
E-Mail: mariusz.zabrocki@bsh.de



www.bmvi-expertennetzwerk.de

Marion Leiblein-Wild (EBA), Pia Bartels (BAST), Daniel Esser (BfG), Nicole Schwartz (BfG), Andreas Sundermeier (BfG), Mariusz Zabrocki (BSH)

Neobiota im Verkehrsbereich – WARUM managen?

- Viele invasive¹ oder potenziell invasive² Neobiota können **negative Auswirkungen** auf **Biodiversität, menschliche Gesundheit** und **Ökonomie** haben (Abb. 1)
- Verkehrsträger sind einer der **Hauptvektoren** bei Einfuhr und Ausbreitung
- Management für gelistete Arten verpflichtend laut **EU-VO 1143/2014** und **§ 40 BNatSchG**

¹Unionsliste (EU-VO 1143/2014)

²Invasivitätsbewertungen (Bundesamt für Naturschutz)

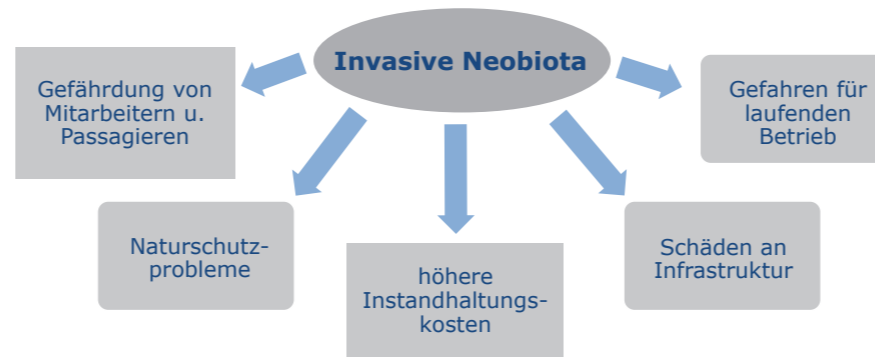


Abb. 1: Mögliche negative Auswirkungen invasiver Neobiota im Verkehrsbereich

Was kann das Expertennetzwerk beitragen?

- Schließen von vorhandenen Wissenslücken zu
 - **relevanten Arten** für die verschiedenen Verkehrsträger (vgl. Poster Schwartz et al.)
 - potenziellen **Einschleppungs-** und **Verbreitungswegen** im Verkehrsbereich (vgl. Poster Zabrocki et al.)
 - dem **Zusammenwirken** der verschiedenen Verkehrsträger bei Einfuhr und Ausbreitung von Neobiota
- Entwicklung von **Konzepten zur Früherkennung**
- Ableitung von **verkehrsträgerübergreifenden Prioritäten** und **Handlungsempfehlungen** für die wichtigsten invasiven und potenziell invasiven Neobiota
- Überprüfung der **Wirksamkeit bestehender Maßnahmen**, z.B. des Ballastwasserüber-einkommens (seit 2017 in Kraft)

Ausblick und Fazit

- In weiteren Forschungsprojekten werden die Erweiterung bestehender Monitoring-Programme durch **genetische Methoden** und die Erprobung **effizienter Eindämmungsmaßnahmen** untersucht.
- Einbringung und Ausbreitung von invasiven und potenziell invasiven Neobiota erfolgt **verkehrsträgerübergreifend** – deshalb dürfen Prävention und Management nicht am einzelnen Verkehrsträger enden.

Ergebnisse

- **Vermehrtes Auftreten** von gebietsfremden Pflanzen auf Verkehrsnebenflächen aller Verkehrsträger (Abb. 2)
- Gebietsfremde Pflanzen kommen **häufiger auf Verkehrsnebenflächen** vor als in der Normallandschaft (Abb. 2)
- **Hohes Invasionsrisiko** auf Verkehrsnebenflächen (Abb. 3)

Erfolgreiches Management

- Erhöhte Akzeptanz durch Einbindung von Interessengruppen und Öffentlichkeit
 - Nur eine frühzeitige Bekämpfung ist erfolgversprechend und kosteneffizient
- **PRÄVENTION** als wichtigste Maßnahme zur Verminderung der negativen Auswirkungen von invasiven oder potenziell invasiven Neobiota

Kontakt

Marion Leiblein-Wild, EBA
E-Mail: leiblein-wildm@eba.bund.de



www.bmvi-expertennetzwerk.de

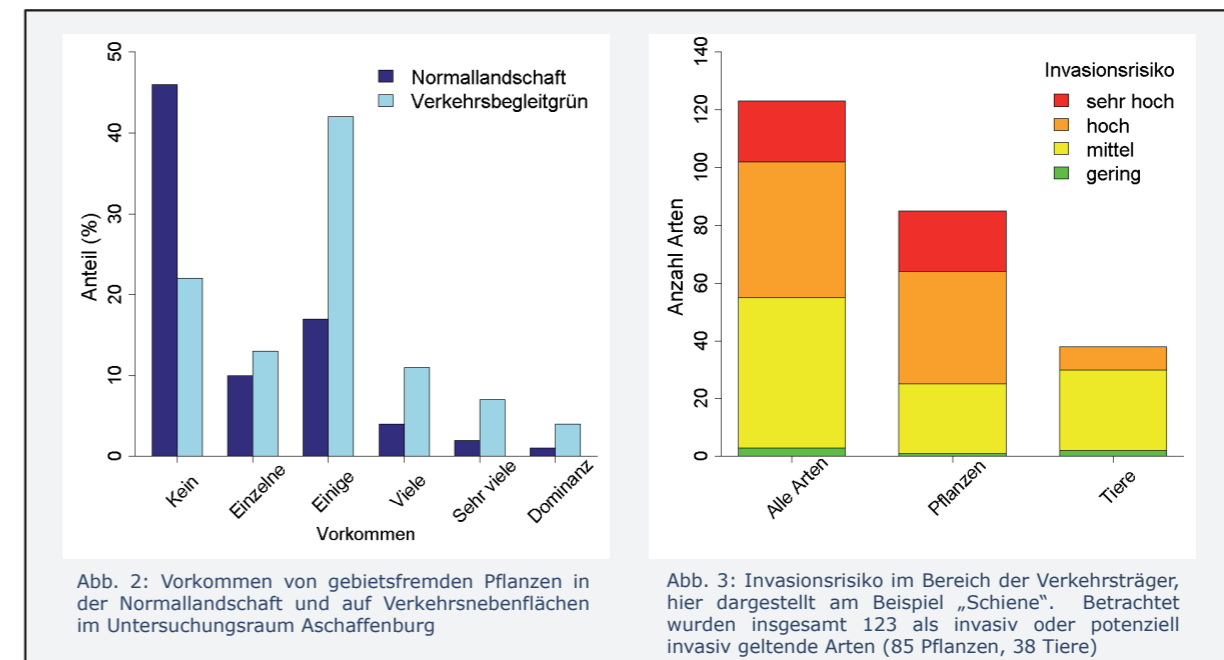


Abb. 2: Vorkommen von gebietsfremden Pflanzen in der Normallandschaft und auf Verkehrsnebenflächen im Untersuchungsraum Aschaffenburg

Abb. 3: Invasionsrisiko im Bereich der Verkehrsträger, hier dargestellt am Beispiel „Schiene“. Betrachtet wurden insgesamt 123 als invasiv oder potenziell invasiv geltende Arten (85 Pflanzen, 38 Tiere)



Stoffliche und geräuschbedingte Emissionen und Immissionen

Das BMVI-Expertennetzwerk befasst sich in diesem Themenkomplex mit der Rolle von Verkehr und Infrastruktur als Quelle für (Schad-)Stoffe und Lärmbelastungen in der Umwelt, die ihrerseits die menschliche Gesundheit und die Ökosysteme gefährden sowie deren Ökosystemleistungen beeinträchtigen. Dies schließt die Identifizierung, Charakterisierung, Risikobewertung und Bilanzierung von infrastruktur- und verkehrstypischen Materialien sowie stofflichen und nichtstofflichen Einträgen in die Umwelt ein. Außerdem wird der kurz-, mittel- und langfristige Einfluss von Verkehr und Infrastruktur auf natürliche Stoffkreisläufe betrachtet. Zur Erhaltung der Ökosysteme sind Lösungen zu entwickeln, die möglichst geringe Auswirkungen auf natürliche Stoffkreisläufe haben. Verkehrsträgerübergreifend werden die Umweltkompartimente, das heißt Atmosphäre, Gewässer und Boden, in ihrem Zusammenhang betrachtet.

Poster

- ❖ **Einsatzpotenziale erneuerbarer Energien in der Verkehrsinfrastruktur erschließen**
Dr. Markus Auerbach (BASt), Dr. Anna-Dorothea Ebner von Eschenbach (BfG), Dörthe Eichler (WSV), Sandra Freudenstein (BASt), Detlev Majewski (DWD), Deborah Niermann (DWD), Benjamin Schima (BfG), Philipp Streek (EBA)
- ❖ **Umweltrisikobewertung von Abgaswäschern**
Wiebke Kathmann (BfG), Magnus Kaste (BSH), Dr. Berit Brockmeyer (BSH), Dr. Torben Kirchgeorg (BSH), Dr. Georg Reifferscheid (BfG), Dr. Sebastian Buchinger (BfG)
- ❖ **Untersuchungen zum Emissionsverhalten von Dieselmotoren (Non Road Mobile Machinery)**
Carolin Walz (BAW), Andreas Orlovius (BAW), Dr. Michael Schröder (BAW), Cyrus Schmellekamp (BASt), Dr. Patrick Wagner (BfG)
- ❖ **Stoffliche und ökotoxikologische Umweltauswirkungen von Korrosionsschutz**
Anna Maria Bell (BfG), Simon Brand (BfG), Charlotte Molt (BfG, BASt), Marcus von der Au (BfG), Dr. Sebastian Buchinger (BfG), Dr. Björn Meermann (BfG), Dr. Christian Dietrich (BfG), Roland Baier (BAW), Dr. Matthias Schmid (BAW), Dr. Sabrina Michael (EBA), Dr. Torben Kirchgeorg (BSH), Dr. Birgit Kocher (BASt), Dr. Georg Reifferscheid (BfG), Prof. Dr. Thomas Ternes (BfG)
- ❖ **Verkehrsträgerübergreifende Rechercheplattform zur Umweltbeständigkeit und Umweltverträglichkeit von Baustoffen**
Dr. Sabrina Michael (EBA), Christiane Becker (BAW), Roland Baier (BAW), Dr. Birgit Kocher (BASt), Dr. Torben Kirchgeorg (BSH), Dr. Christian Dietrich (BfG), Prof. Dr. Thomas Ternes (BfG)
- ❖ **Quantifizierung der verkehrsbedingten Geräuschemissionen**
Dr. Patrick Wagner (BfG), Dr. Susanne Biermann-Höller (DFS), Michael Chudalla (BASt), Dr. Fabio Strigari (BASt), Michael Ziegert (EBA),
- ❖ **Gesamtlärbetrachtung in Situationen mit mehr als einem Verkehrsträger**
Michael Chudalla (BASt), Dr. Fabio Strigari (BASt), Dr. Susanne Biermann-Höller (DFS), Dr. Patrick Wagner (BfG), Michael Ziegert (EBA)

Markus Auerbach (BAST), Anna-Dorothea Ebner von Eschenbach (BfG), Dörthe Eichler (WSV), Sandra Freudenstein (BAST), Detlev Majewski (DWD), Deborah Niermann (DWD), Benjamin Schima (BfG), Philipp Streek (EBA)

Motivation

- Klimaschutzziel der Bundesregierung ist die Verminderung der Treibhausgasemissionen bis 2050 um 80-95% gegenüber 1990.
- Der Verkehrssektor stellt 2016 mit 22% neben Energiewirtschaft (43%) und Industrie (16%) eine der größten Quellen der energiebedingten Treibhausgasemissionen dar.

Ziele

Innerhalb des Expertennetzwerks erarbeiten BAST, BfG, DWD und EBA gemeinsam eine

- 1. Ist-Analyse** des Energieverbrauchs sowie Konzepte für eine verkehrsträgerübergreifende
- 2. Energiegewinnung** und
- 3. Energienutzung** aus erneuerbaren Quellen wie zum Beispiel Photovoltaik (Abb. 2 und 4), Windenergie, Solarthermie und Biogas in der Verkehrsinfrastruktur.

Kontakt

Deborah Niermann, DWD
E-Mail: deborah.niermann@dwd.de



www.bmvi-expertennetzwerk.de

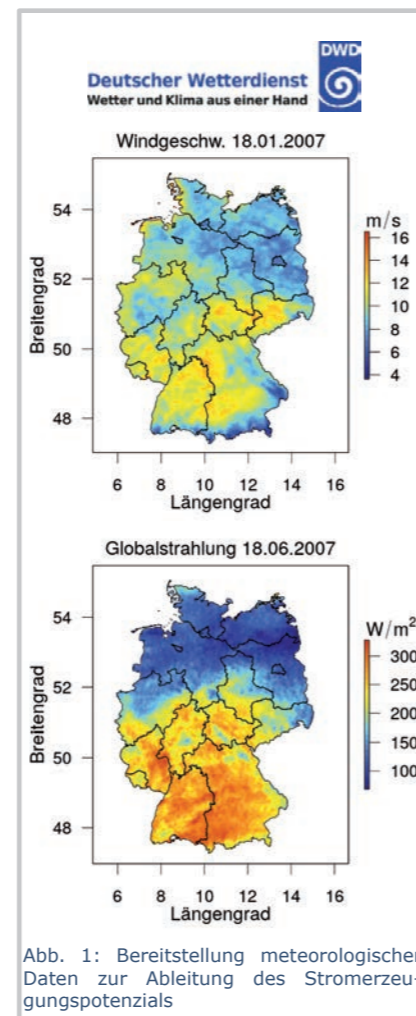


Abb. 1: Bereitstellung meteorologischer Daten zur Ableitung des Stromerzeugungspotenzials

Meteorologische Daten

Geographische Daten



Abb. 2: Nutzung von Betriebsgebäuden zur Installation von Photovoltaikanlagen am Beispiel des ICE-Werks Köln-Nippes (Deutsche Bahn / DBI, Werke & Hochbau)

Energie- transfer

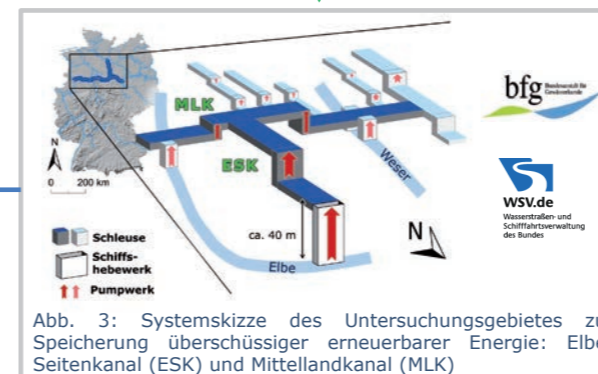


Abb. 3: Systemskizze des Untersuchungsgebietes zur Speicherung überschüssiger erneuerbarer Energie: Elbe-Seitenkanal (ESK) und Mittellandkanal (MLK)

Energie- transfer



Abb. 4: Beispielhafte Nutzung eines Lärmschutzwalls für die Installation von Photovoltaikanlagen (M. Auerbach, BAST)

Methodik

1. Ist-Analyse

- Ermittlung des gegenwärtigen Energiebedarfs zum Beispiel durch Datenerhebung und Literaturrecherche
- Identifizierung der Einsparpotenziale in den Bereichen Anlagen, Betriebsgebäude sowie Wartungs- und Instandhaltungsfahrzeuge

2. Energiegewinnung

- Bereitstellung von meteorologischen Daten wie zum Beispiel Windgeschwindigkeit und Globalstrahlung (Abb. 1)
- Ableitung des Stromerzeugungspotenzials aus o.g. Meteorologie und aus geografischen Daten (wie zum Beispiel Koordinaten für die Standorte der Verkehrsträger und Gebäudeflächen)

3. Energienutzung

- Modellierung des Ausgleichs von Defiziten in Kanalstauhaltungen (Abb. 3) durch Speicherung überschüssiger erneuerbarer Energie von allen drei Verkehrsträgern mithilfe eines Pumpbetriebs, der an das Energieangebot angepasst ist
- Untersuchung der Möglichkeit der Umstellung von Wartungs- und Instandhaltungsfahrzeugen auf alternative Antriebstechnologien (wie Brennstoffzelle, Batterie, Erdgas)
- Entwicklung von Konzepten für die Versorgung der Straßen- und Schieneninfrastruktur sowie von Betriebsgebäuden

Wiebke Kathmann (BfG), Magnus Kaste (BSH), Berit Brockmeyer (BSH), Torben Kirchgeorg (BSH), Georg Reifferscheid (BfG), Sebastian Buchinger (BfG)

Motivation und Zielsetzung

Zur nachhaltigen Minderung der Luftverschmutzung durch Schiffe gilt seit 2015 unter anderem in Nord- und Ostsee (Abb. 1) ein Grenzwert von 0,1% Schwefelanteil in Schiffskraftstoffen. Als Alternative zu schwefelarmen Treibstoffen können zur Emissionsreduktion **Abgaswäscher**, sogenannte **Scrubber**, zum Einsatz kommen. Zur Abgaswäsche wird je nach technischer Auslegung entweder Meerwasser

(Open Loop) oder Frischwasser (Closed Loop) eingesetzt (Abb. 2). Nach Abtrennung öligier Feststoffe und Partikel wird das Abwasser mit Meerwasser vorverdünnt und in die Meeresumwelt eingeleitet. Ziel der Arbeiten ist ein **verbessertes Prozessverständnis** der eingesetzten Technologien, um mögliche **Umweltauswirkungen** zu **bewerten** und, wenn möglich, zu **minimieren**.

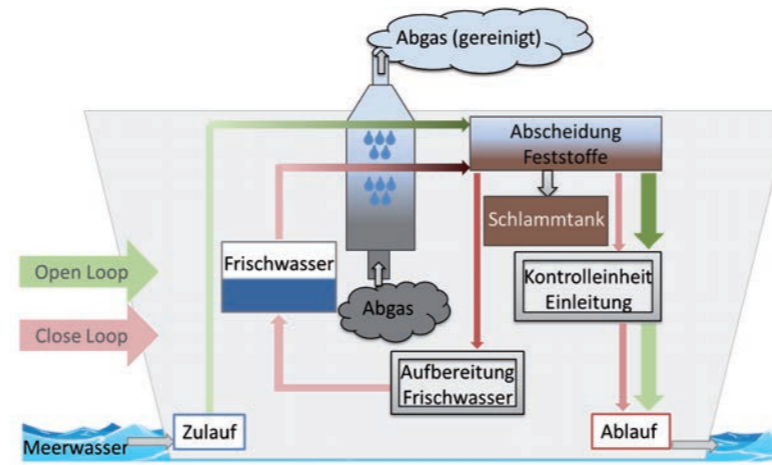


Abb. 2: Funktionsprinzip und Probenahmeplätze der Scrubber-Systeme.

Methoden

Auf bislang fünf Schiffen in Nord- und Ostsee wurden Wasserproben vom Zulauf bis zum Ablauf in das Meerwasser entlang des Prozesses der Abgaswäsche entnommen und vorgeschriebene Parameter wie pH-Wert und Trübung gemessen (**BSH**). Einige Schiffe wurden in beiden Betriebsarten (Open / Closed Loop) beprobt. Zur Erfassung und Bewertung möglicher Umweltauswirkungen wurden die Proben anhand verschiedener chemischer (**BSH**) und biologischer (**BfG**) Testverfahren vergleichend charakterisiert (Abb. 3 und 4).



Abb. 1: Verlauf des Schwefelemissionskontrollgebiets in Nord- und Ostsee.

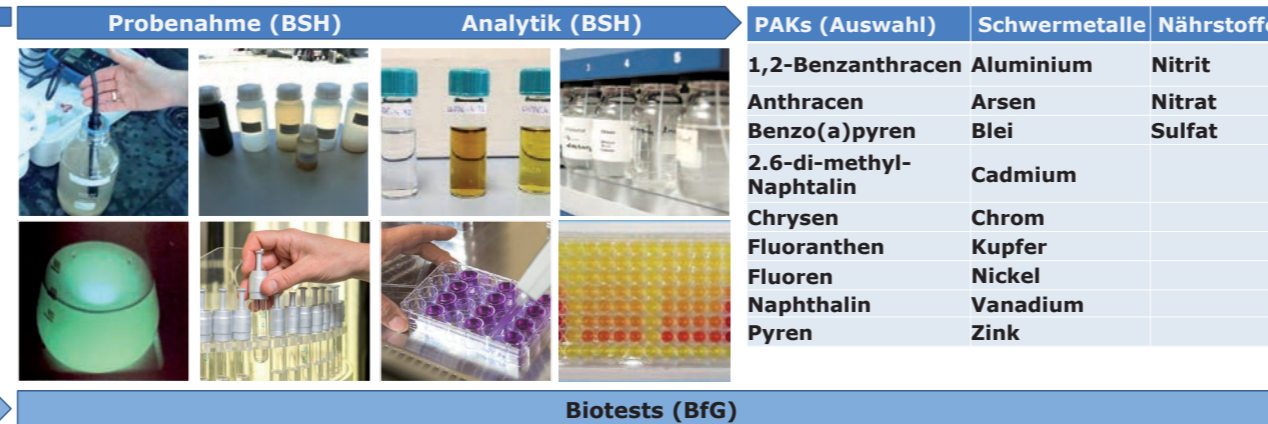


Abb. 3: Überblick des Untersuchungsablaufs. Probenahme und chemische Analytik im Rahmen einer Projektförderung des Umweltbundesamtes.

Fazit und Ausblick

Die hier dargestellte **Zusammenarbeit** zwischen dem **BSH** und der **BfG** wäre ohne das Expertennetzwerk so nicht zustande gekommen. Die Ergebnisse der vergleichenden Untersuchung liefern Hinweise, die genutzt werden können, den **Betrieb von Abgaswäschern möglichst umweltgerecht zu gestalten**. Biotestverfahren erfassen die summarische Wirkung eines Scrubber-Abwassers auf den eingesetzten Testorganismus und erlauben damit einen

direkten Vergleich möglicher Umweltauswirkungen. Auf dieser Grundlage können **Vorschläge zu verbesserten Betriebsabläufen sowie Einleitbedingungen für Abwasser** abgeleitet werden. Die Ergebnisse der Untersuchungen werden darüber hinaus durch das **BSH** in hydrodynamischen Modellen auf den Nord-Ostseeraum projiziert und erlauben eine verbesserte Einschätzung der räumlichen Wirkung von Scrubber-Abwässern.

Ergebnisse

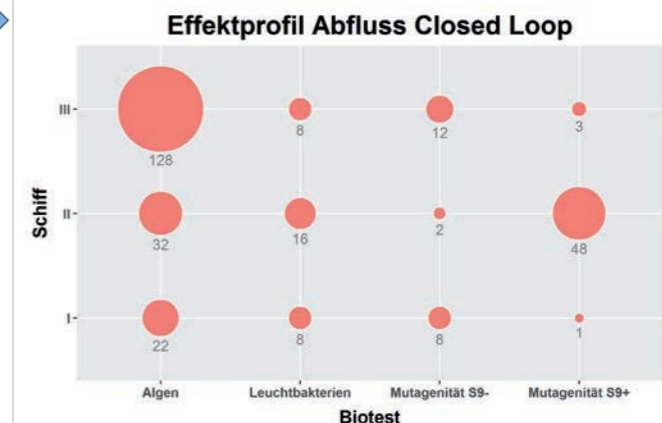
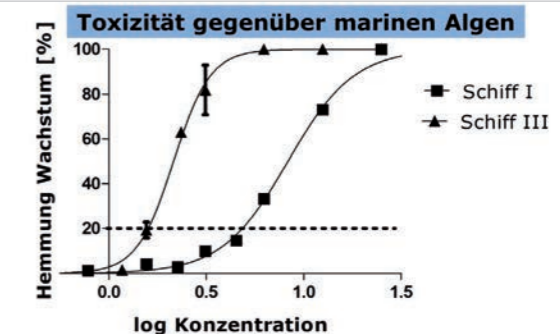


Abb. 4: Exemplarische Ergebnisse der biologischen Testverfahren für Abwässer aus dem Closed Loop Betrieb. Dosis-Wirkungs-Kurven (oben) dienen der Bestimmung der nicht mehr wirksamen Verdünnungsstufe für das Effektprofil drei beprobter Schiffe (unten). Die Größe der Kreise im Effektprofil zeigt das Potenzial einer Umweltschädigung an.

Kontakt

Wiebke Kathmann, BfG
E-Mail: kathmann@bafg.de



www.bmvi-expertennetzwerk.de

Carolin Walz (BAW), Andreas Orlovius (BAW), Michael Schröder (BAW), Cyrus Schmellekamp (BAST), Patrick Wagner (BfG)

Hintergrund

Gemäß EU-Richtlinie gelten ab 2020 neue Abgasgrenzwerte für Verbrennungsmotoren nicht straßengebundener mobiler Maschinen (NRMM). Aus diesem Grund sind Untersuchungen potenzieller Maßnahmen zur Reduktion von Emissionen erforderlich. Außerdem ist eine verkehrsträgerübergreifende Modellierung von Luft-Emissionen und -Immissionen vorgesehen. In einem ersten Schritt werden für die Binnenschifffahrt Treibstoffbedarf und Schadstoffausstoß in die Luft erfasst.

Methodik

Es wird ein Motorenmodell entwickelt, das den Treibstoffbedarf und die stofflichen Emissionen während einer simulierten Schifffahrt berechnen soll.

Onboard-Emissionsmessungen

Um das Motorenmodell zu kalibrieren, wurden Emissionsmessungen unter realen Betriebsbedingungen auf einem Binnenschiff durchgeführt.



Abb. 1: Abgasendrohr mit angebrachtem Kaminaufsatz für das Einbringen der Messsonden in den Abgasstrom

Die Messungen wurden mit einem Großmotorgüterschiff (GMS) auf dem Rhein zwischen Worms (km 444) und Bingen (km 528) bei Berg- und Talfahrt bei unterschiedlichen, jeweils konstanten Drehzahlen durchgeführt. Durch einen Kaminaufsatz (s. Abb. 1) wurden Sensoren für alle relevanten Größen im Abgasstrom positioniert. Damit wurden kontinuierlich Schadstoffe gemessen (s. Abb. 2, in grün) und Proben zur Erfassung der Partikel genommen (s. Abb. 2, in blau). Parallel erfolgte sowohl die Erfassung der maßgebenden Motorparameter (Drehzahl, Treibstoffverbrauch, Abgastemperatur uvm.) als auch die Messung von Strömungsgeschwindigkeiten und Wassertiefen in der Fahrspur des Schiffs.

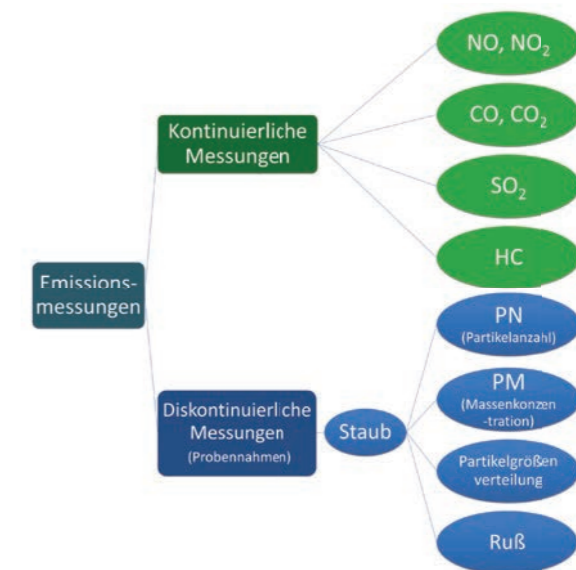


Abb. 2: Gemessene Größen während der Messfahrt

Ergebnisse

Die maßgebenden Emissionsgrößen konnten erfolgreich im Rahmen der Messkampagne an Bord eines Binnenschiffes unter realen Betriebsbedingungen erfasst werden. Erste

Auswertungen der Messdaten zeigen, dass Treibstoffbedarf und CO-Ausstoß bei konstanter Drehzahl stark variieren können (s. Abb. 3 und 4).

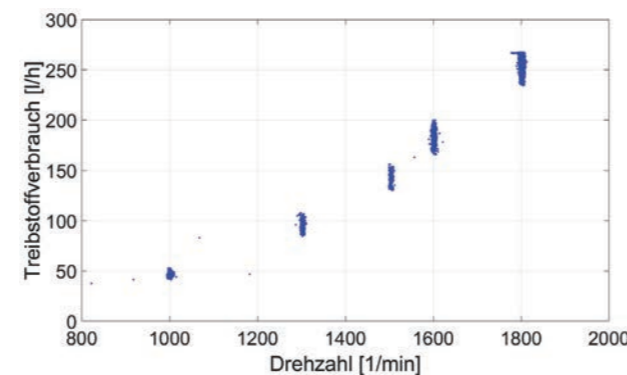


Abb. 3: Treibstoffverbrauch in Abhängigkeit von der Drehzahl

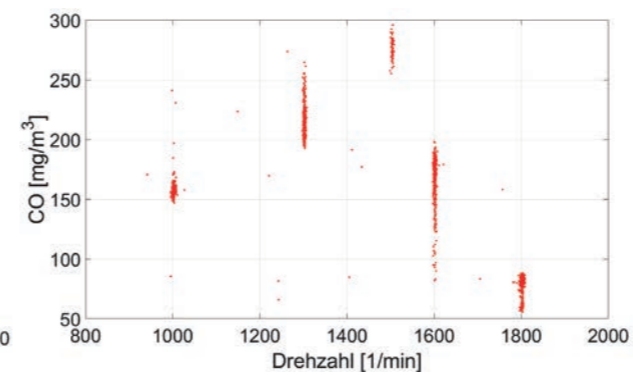


Abb. 4: CO-Ausstoß in Abhängigkeit von der Drehzahl

Ausblick

Es sind weitere Messkampagnen geplant, um Messdaten für eine Auswahl von repräsentativen Binnenschiffen der Flotte für die Modellierung zu erhalten. Diese Binnenschiffe werden nach Schiffstyp (Größe und Baujahr) und Motortyp ausgewählt. In der Modellierung sollen damit unterschiedliche, angepasste Fahrweisen (Strategien) betrachtet werden, mit dem Ziel, die Emissionen zu mindern. Die Ergebnisse der Modellierung stellen u.a. eine Eingangsgröße in einem verkehrsträgerübergreifenden Simulationsmodell dar.

Kontakt

Carolin Walz, BAW
E-Mail: carolin.walz@baw.de



www.bmvi-expertennetzwerk.de

Anna Maria Bell (BfG), Simon Brand (BfG), Charlotte Molt (BfG, BASt), Marcus von der Au (BfG), Sebastian Buchinger (BfG), Björn Meermann (BfG), Christian Dietrich (BfG), Roland Baier (BAW), Matthias Schmid (BAW), Sabrina Michael (EBA), Torben Kirchgeorg (BSH), Birgit Kocher (BASt), Georg Reifferscheid (BfG), Thomas Ternes (BfG)

Zielsetzung

Korrosionsschutz ist zur **Aufrechterhaltung der Verkehrsinfrastruktur** essentiell. Bislang werden an Korrosionsschutz (z.B. Beschichtungen, galvanische Anoden) ausschließlich Anforderungen an dessen Funktionalität und Dauerhaftigkeit gestellt. Im Rahmen des BMVI-Expertennetzwerks werden **umfassende Untersuchungskonzepte zur Beständigkeit und Umwelt-**

verträglichkeit von Korrosionsschutz (Anwendung, Nutzung, Erneuerung) entwickelt und angewendet. Das erweiterte Wissen fördert einen **nachhaltigen und effektiven Einsatz** von Korrosionsschutz, indem die Verkehrsinfrastrukturen besser erhalten, negative Umweltauswirkungen vermindert und so insgesamt **Folgekosten gesenkt** werden.

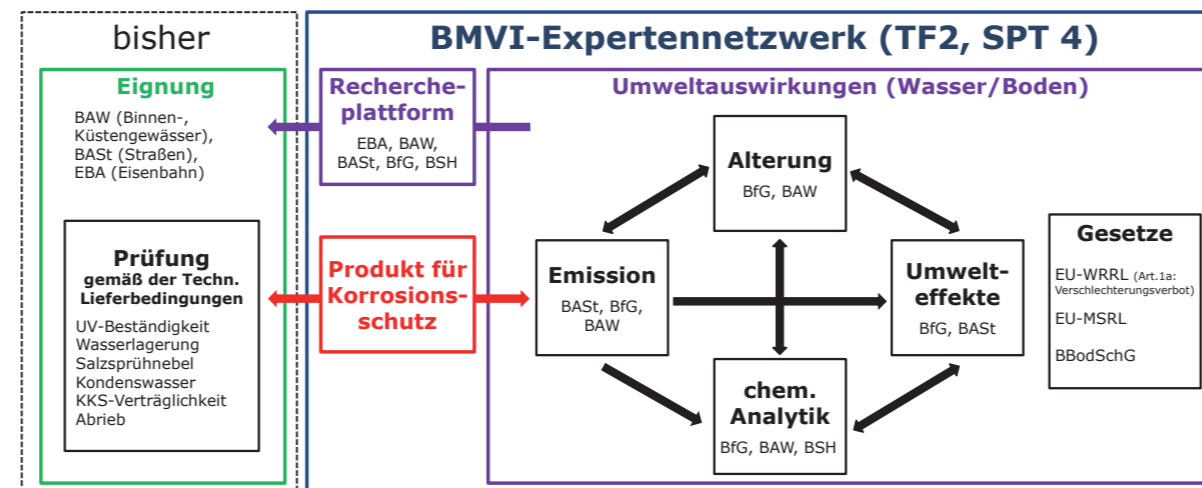


Abb. 1: Korrosion vermindert die Zuverlässigkeit der Verkehrsinfrastruktur und führt zu Folgekosten. Umweltauswirkungen durch den Einsatz von Korrosionsschutz sollen minimiert werden.



Abb. 2: Doktoranden des Themenschwerpunkts bei Laboruntersuchungen zur Dauerhaftigkeit, Alterung und Stofffreisetzung aus Korrosionsschutz

Gebündelte Kompetenz



Ergebnisse und Perspektiven

Durch die **Weiterentwicklung und Anwendung der Methoden und Testverfahren** können produktspezifische Unterschiede hinsichtlich Stofffreisetzung und **möglicher Umweltauswirkungen erfasst** werden. Damit steht für Korrosionsschutzmaterialien (Beschichtungen und galvanische Anoden) ein **potenzielles Prüfverfahren** zur Umweltbewertung zur Verfügung.

Im Rahmen des Expertennetzwerks sollen diese **Methoden kontinuierlich weiterentwickelt** und perspektivisch auf **weitere Baustoffe angewendet** werden. Ergebnisse der Untersuchungen sowie Erkenntnisse über den Alterungsprozess sollen als **Entscheidungshilfe für den Anwender** über eine **Rechercheplattform** (vgl. Poster Michael et al.) bereitgestellt werden.

Methoden

Labormethoden zur Baustoffbewertung wurden in Anlehnung an das Konzept des DIBt (Deutsches Institut für Bautechnik) auf Korrosionsschutzmaterialien übertragen und angepasst. Ausgewählte Beschichtungen sowie galvanische Anoden wurden hinsichtlich ihrer Stofffreisetzung in Anlehnung an CEN/TS 16637-2 und möglicher Umweltauswirkungen mittels biologischer Testverfahren untersucht. Methoden zur Simulation von Alterungsprozessen und umfassenden chemischen Charakterisierung freigesetzter Stoffe werden entwickelt.

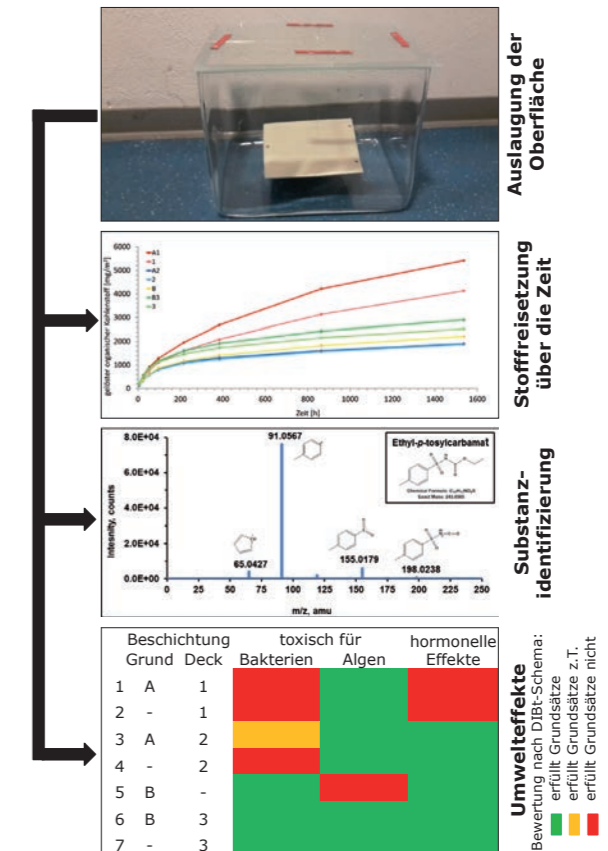


Abb. 3: Beispielhafte Ergebnisse und ökotoxikologische Bewertung unterschiedlicher Korrosionsschutzbeschichtungen

Kontakt

Anna Maria Bell, BfG
E-Mail: bell@bafg.de



www.bmvi-expertennetzwerk.de

Sabrina Michael (EBA), Christiane Becker (BAW), Roland Baier (BAW), Birgit Kocher (BAST), Torben Kirchgeorg (BSH), Christian Dietrich (BfG), Thomas Ternes (BfG)

Einleitung

Baustoffe können eine Vielzahl an chemischen Stoffen und möglichen Reaktionsprodukten enthalten. Durch Diffusion, Abrieb, Lösung oder Korrosion können diese Substanzen in die Umwelt gelangen, z.B. in

- **Boden,**
- **Grund- und Oberflächenwasser sowie**
- **Meerwasser.**

Dort können sie die Umwelt sowie die menschliche Gesundheit schädigen. Informationen zu eingesetzten Baustoffen und deren Zusammensetzung, Umweltverträglichkeit, Recycling bzw. Entsorgungsmöglichkeiten liegen meist nur vereinzelt oder nur unzureichend vor. Einheitliche **Zulassungsprüfungen** und **Kriterien zur Umweltverträglichkeit** sind verkehrsübergreifend nicht vorhanden bzw. nicht zugänglich.

Lösungsansatz → → →

Kontakt

Sabrina Michael, EBA
E-Mail: michael.s@eba.bund.de



www.bmvi-expertennetzwerk.de



Assoziierte Forschungsprojekte

1. Marktanalyse zum Einsatz von Baustoffen und zu deren Inhaltsstoffen im Verkehrs- und Wasserbau in Deutschland
2. Bedarfs- und Stakeholderanalyse zur Etablierung eines Informationssystems zur Bewertung der Umwelteigenschaften von Baustoffen

Datengrundlage

Grundlage der Rechercheplattform bildet eine Datenbank aus **behördeneigenen Daten** (wie Produkttests oder Analysen) und **öffentlichen Daten** (Herstellerangaben, Veröffentlichungen/Literatur).

Bisherige Bauprodukt - Kategorien:

- **Galvanische Anoden**
- **Stahlbaubeschichtungen (Korrosionsschutz)**
- **Geotextilien**
- Beton u.v.m. (> Jahr 2020)

Meilensteine

- Konzeption**
 - ✓ Festlegung der thematischen Schwerpunkte und Plattformstruktur
 - ✓ Identifizierung relevanter verkehrsübergreifender Bauprodukte
 - ✓ Prüfung der technischen und rechtlichen Anforderungen an eine webbasierte Plattform
- Entwicklung / Durchführung**
 - Umfeld- und Stakeholderanalyse zum bestehenden Konzept
 - Datenerhebung und -analyse
 - Definition und Etablierung von Qualitätskriterien (Daten/Bewertung)
 - Programmierung eines Prototyps
- Realisierung der Rechercheplattform**

Patrick Wagner (BfG), Susanne Biermann-Höller (DFS), Michael Chudalla (BAST), Fabio Strigari (BAST), Michael Ziegert (EBA)

Motivation

Der **Betrachtung des verkehrsträgerübergreifenden Gesamtlärms** kommt u.a. seit der Einführung der EU-Umgebungslärmrichtlinie (2002) mehr Bedeutung zu. Das Thema ist auch in den Lärmschutzpaketen I und II des BMVI sowie **im Koalitionsvertrag für die 19. Legislaturperiode des Deutschen Bundestages benannt**.



Abb. 1: Messung der Geräuschemission eines vorbeifahrenden Binnenschiffs.

Die Ermittlung und Bewertung von verkehrsbedingtem Lärm erfolgt im Allgemeinen auf Basis von Modellrechnungen. Dabei ist die 16. BImSchV (Verkehrslärmschutzverordnung) die maßgebende nationale Rechtsgrundlage für Lärm durch Straßen- und Schienenverkehr. Im Gegensatz zu den genannten Verkehrsträgern ist der schiffahrtsbedingte Schall bislang nur unzureichend quantifiziert.

Untersuchungsmethode

Gemäß der Norm DIN 45642 (Messung von Verkehrsgeräuschen) lassen sich Verkehrsgeräusche mithilfe des maximalen Vorbeifahrtpegels quantifizieren. Dazu wird der Schallpegel während der Vorbeifahrt des Fahrzeugs gemessen (hier am Beispiel eines Schiffs, Abb. 1).

Fazit und Ausblick

Um die verkehrsbedingten Lärmbelastungen für Umwelt und Menschen effektiv reduzieren zu können, bedarf es einer entsprechenden Rechtsgrundlage. Diese muss alle Arten von Verkehrslärm sowohl hinsichtlich ihrer Schallpegel als auch unter Berücksichtigung ihrer spezifischen Eigenschaften wie spektrale Zusammensetzung, Einwirkdauer und Einwirkhäufigkeit umfassen.

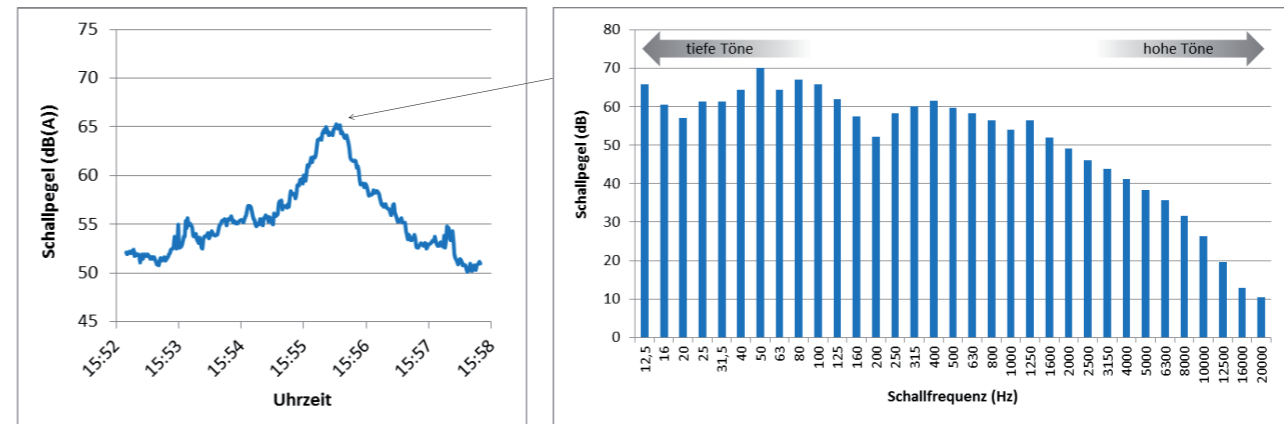


Abb. 2: Zeitlicher Verlauf des A-bewerteten Schallpegels während der Vorbeifahrt eines Binnenschiffs (links) und unbewertetes Spektrum zum Zeitpunkt des maximalen Vorbeifahrtpegels (rechts). [Die A-Bewertung berücksichtigt die schallfrequenzabhängige Hörempfindlichkeit des Menschen.]

Der maximale Schallpegel, der zum Zeitpunkt des geringsten Abstands erreicht wird, wird ausgewertet (Abb. 2). Wird zusätzlich der Abstand zwischen Fahrzeug und Messgerät gemessen, kann die für den Verkehrsträger spezifische Geräuschemission ermittelt werden.

Ergebnisse

Werden die **Geräuschemissionen verschiedener Verkehrsträger** miteinander verglichen, so zeigen sich **unterschiedliche spektrale Zusammensetzungen** (Abb. 3). Der Schiffsverkehr weist einen größeren tieffrequenten Anteil auf als der Straßen- und Schienenverkehr.

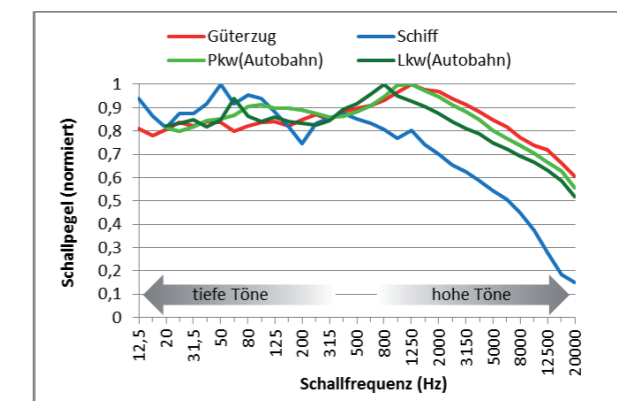


Abb. 3: Vergleich der Anteile von tiefen und hohen Tönen an den Geräuschemissionen verschiedener Verkehrsträger.

Kontakt

Patrick Wagner, BfG
E-Mail: patrick.wagner@bafg.de



www.bmvi-expertennetzwerk.de

Michael Chudalla (BAST), Fabio Strigari (BAST), Susanne Biermann-Höller (DFS), Patrick Wagner (BfG), Michael Ziegert (EBA)

Einleitung

Die **Wahrnehmung von Geräuschen** hängt nicht nur vom Schallpegel ab, sondern auch von der Einwirkdauer und der spektralen Zusammensetzung. **

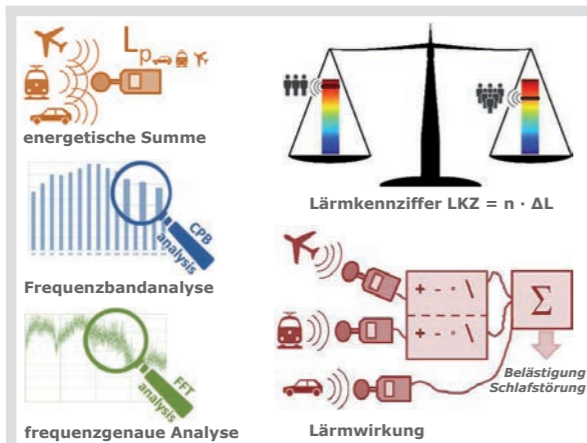


Abb. 1: Überblick bekannter Methoden für die Lärmbewertung

Beim **Zusammenwirken mehrerer Verkehrsträger** müssen diese verschiedenen Einflussfaktoren berücksichtigt werden. Bekannte Bewertungsmethoden hierfür (siehe Abb. 1) reichen von der energetischen Summe über spektrale Betrachtungen bis hin zur Miteinbeziehung der Anzahl Betroffener (Lärmkennziffer) und der Lärmwirkung (Anzahl Belästigter gemäß VDI 3722-2).

Kontakt

Michael Chudalla, BAST
E-Mail: chudalla@bast.de



Methodenvergleich

Am Beispiel einer Parallellage von Straße und Schiene wurden die Bewertungsmethoden **energetische Summe** und **Lärmwirkung** in einem Vergleich verschiedener **Maßnahmenkombinationen** gegenübergestellt (siehe Varianten 2 - 5 in Abb. 2). Im Modell wurden dafür Lärmschutzwände entlang der Verkehrsträger positioniert. Referenziert wurde auf die freie Ausbreitung (Variante 1). Die den Berechnungen zugrunde liegenden Emissionsquellen sind in Abb. 3 aufgeführt.

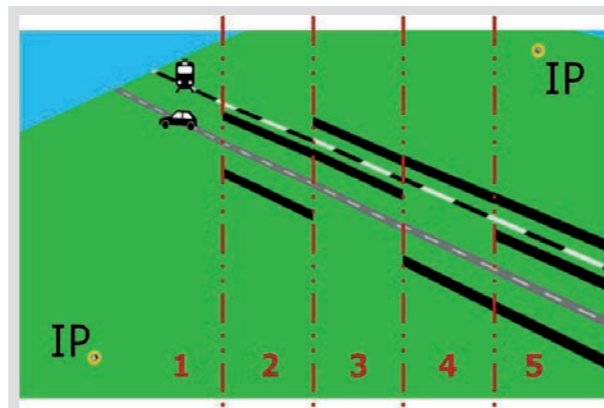


Abb. 2: Untersuchte Varianten des Methodenvergleichs in isometrischer Perspektive. Schwarze Balken: Lärmschutzwände. IP: Immissionspunkt.



Abb. 3: Verwendete Quellmodelle von Straße und Schiene für den Methodenvergleich

** siehe auch Poster „Quantifizierung der verkehrsbedingten Geräuschemissionen“

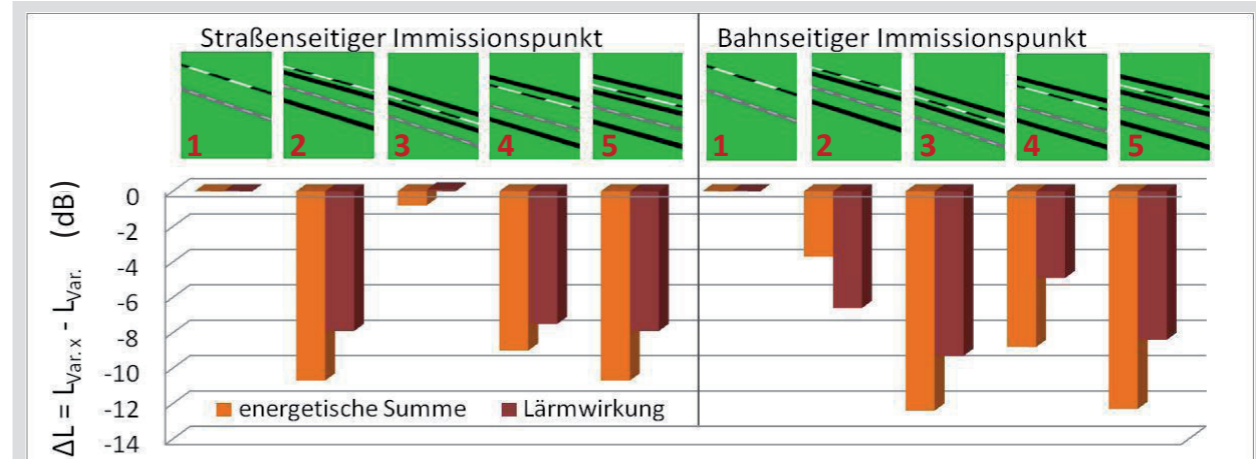


Abb. 4: Pegelminderung nach Maßnahme für den straßenseitigen und den bahnseitigen Immissionspunkt

Ergebnisse

Die **energetische Summe** und die **Lärmwirkung** zeigen je nach Lage des Immissionspunktes und Maßnahme gegensätzliche Ergebnisse (Abb. 4).

Allgemein

- Die Lärmwirkung bewertet die untersuchten Maßnahmen meist als **weniger effektiv** als die energetische Summe.
- Die **größte Pegelminderung** wird durch Lärmschutzwände entlang des Verkehrsträgers, der **näher am Immissionspunkt** liegt, erreicht.

Straßenseitiger Immissionspunkt

- Vernachlässigbare Pegelminderung bei Lärmschutz nur an der Schiene.

Bahnseitiger Immissionspunkt

- Die **größten Bewertungsunterschiede** zeigen sich **bei gemeinsamen Maßnahmen** (Variante 4/5).
- Nur bei der Variante 2 „Lärmschutz entlang der Straße“ bewertet die Lärmwirkung die Maßnahme als effektiver als die energetische Summe.

Fazit

Die Bewertung der akustischen Wirksamkeit von Maßnahmen hängt stark von der Lage des Immissionspunktes und der gewählten Methode ab.

- Generell ist eine Gesamtlärmbewertung einer verkehrsträgerspezifischen Betrachtung vorzuziehen, unabhängig von der gewählten Methode.**
- Die Einbeziehung der Lärmwirkung beeinflusst die prognostizierte Pegelminderung.**
- Die Priorisierung der Maßnahmen variiert nur geringfügig bei der Verwendung verschiedener Methoden.**

Ausblick

- Implementierung aktueller Expositions-Wirkungsbeziehungen (NORAH und WHO)
- Betrachtung weiterer Geometrien und Verkehrsträgerkombinationen (inkl. Schiff- und Luftfahrt)
- Untersuchung des Einflusses der spektralen Zusammensetzung

Parallele Fachsessions

Sämtliche Vorträge der Fachsessions sind online verfügbar unter www.bmvi-expertennetzwerk.de/VIT

Zuverlässigkeit von alternden Infrastrukturen verbessern

Zuverlässigkeit wird im Eurocode beschrieben als die Fähigkeit eines Tragwerks oder Bauteils, die festgelegten Anforderungen innerhalb der geplanten Nutzungszeit zu erfüllen. Um die Zuverlässigkeit eines Bauwerks einschätzen und verbessern zu können, ist somit umfangreiches Wissen über den Zustand des Bauwerks, mögliche Schädigungsszenarien und deren zeitlichen Verlauf erforderlich. Die Fachsession liefert hierzu einen Überblick über das notwendige methodische und technische Handwerkszeug, um dieses Wissen zu erlangen und zielgerichtet einzusetzen. Anhand von Beispielen wird gezeigt, wie Expertenwissen systematisch erhoben werden kann, um die Einflussgrößen auf die Zuverlässigkeit eines Bauwerks zu ermitteln. Darauf aufbauend werden moderne Hilfsmittel vorgestellt, um die Indikatoren einer sich verringernden Zuverlässigkeit sicher erfassen und aussagekräftig bewerten zu können. Die Fachsession schließt mit einer Präsentation, wie mittels schnellwirksamer Reparaturmaßnahmen die Schadensentwicklung an Tragwerken kurz- und mittelfristig unterbunden werden kann, um für eine umfassende Verbesserung der Zuverlässigkeit des betroffenen Bauwerks Zeit zu gewinnen.

Moderation

Dr. Martin Friese (BASt) und Andreas Panenka (BAW)

Vorträge

- ❖ **Expertenwissen als Datengrundlage zur Bewertung von Schadensbildern und deren Ursachen an Bestandsbauwerken**
Julia Sorgatz (BAW)
- ❖ **Digitale Unterstützung der Zustandserfassung von Ingenieurbauwerken**
Markus Reinhardt (EBA), Dr. Iris Hindersmann (BASt), Dr. Martin Friese (BASt)
- ❖ **Steigerung der Aussagekraft von Zustandsbewertungen durch Zuverlässigkeitsbetrachtungen**
Rolf Rabe (BASt), Francois-Marie Nyobeu (BAW), Andreas Panenka (BAW)
- ❖ **Smart Repair**
Mario Hörnig (BAW)

Verbesserung der Resilienz des Verkehrssystems bei außergewöhnlichen Ereignissen

Resilienz beschreibt die Fähigkeit, tatsächliche oder potenziell widrige Ereignisse abzuwehren, sich darauf vorzubereiten, sie einzukalkulieren, sie zu verkraften, sich davon zu erholen und sich ihnen immer erfolgreicher anzupassen. Die Arbeiten im BMVI-Experten Netzwerk leisten hierzu einen wesentlichen Beitrag. Hier werden Maßnahmen zur Verbesserung der Resilienz des Verkehrssystems identifiziert und die dauerhafte Verfügbarkeit einer hoch leistungsfähigen Verkehrsinfrastruktur in den Fokus der Betrachtung gestellt.

Die Fachsession ermöglicht – ergänzend zu der Postersession – einen Überblick über die Arbeiten im BMVI-Experten Netzwerk. In den Vorträgen werden nach einem ersten Überblick über das Thema Resilienz die Arbeiten zu folgenden Themen vorgestellt: kurzfristige Vorhersagbarkeit extremer Wetterereignisse, Einfluss von außergewöhnlichen Ereignissen auf überregionale Verkehrsströme, Bewertung der Exposition und Verwundbarkeit von Ingenieurbauwerken und Anpassung der Verkehrsinfrastruktur bei außergewöhnlichen Ereignissen am Beispiel der Abfluss- und Stauregelung von Wasserstraßen.

Moderation

Eckhard Roll (EBA) und Dr. Andreas Schacht (BASt)

Vorträge

- ❖ **Das Verkehrssystem resilient gestalten: Wie können wir eine ungewisse Zukunft meistern?**
Dr. Martin Klose (BASt)
- ❖ **Resilienz des Verkehrssystems verbessern: Was kommt auf uns zu?**
Dr. Michael Denhard (DWD)
- ❖ **Resilienz des Verkehrssystems verbessern: Wie analysieren wir die Betroffenheit des Verkehrs durch extreme Wetterereignisse?**
Elise Lifschiz (BAW), Dr. Regina Patzwahl (BAW), Dr. Martin Klose (BASt), Dr. Enno Nilson (BfG), Markus Forbriger (EBA), Dr. Stephanie Hänsel (DWD), Dr. Martin Helms (BfG), Dr. Norman Voß (BASt)
- ❖ **Resilienz des Verkehrssystems verbessern: Wie widerstandsfähig ist unsere Verkehrsinfrastruktur?**
Dr. Kalliopi Anastassiadou (BASt)
- ❖ **Resilienz des Verkehrssystems verbessern: Was erreichen wir durch ein digitales Management der Wasserstraßen?**
Franz Simons (BAW), Julia Kasper (BAW)

Beiträge für eine integrierte Klimawirkungsanalyse der Bundesverkehrsinfrastruktur

In dieser Session wird die Vorgehensweise bei der Analyse von Klimawirkungen auf die Bundesverkehrsinfrastruktur vorgestellt. Die Klimawirkungsanalyse ist dabei ein wichtiger Schritt, um die Verkehrsinfrastruktur gegenüber dem Klimawandel und extremen Ereignissen resilient zu gestalten.

Basierend auf praxisrelevanten Klimaindikatoren und spezifischen Wirkmodellen zur Bewertung der Klimafolgen wird die Betroffenheit der Verkehrsträger Straße, Schiene und Wasserstraße analysiert. Dabei stehen vier Gefährdungen im Vordergrund, für die erste Umsetzungsbeispiele vorgestellt werden. Dies sind Hochwasser, Sturm, Hangrutschungen und wasserstraßenspezifische Gefährdungen – wie Niedrigwasser und Wasserbeschaffenheit. Die Gefährdungen wirken auf Schifffahrt, Schienen- und Straßenverkehr in unterschiedlicher Form, weshalb eine verkehrsträgerübergreifende Sichtweise besonders wichtig ist. Aufbauend auf der Analyse der aktuellen Gefährdung, werden die zukünftig unter dem Einfluss des Klimawandels zu erwartenden Veränderungen untersucht. Abschließend wird die Kritikalität der betroffenen Abschnitte bewertet, was eine Priorisierung des Anpassungsbedarfs auf Netzebene erlaubt.

Moderation

Dr. Annegret Gratzki (DWD) und Dr. Gudrun Hillebrand (BfG)

Vorträge

- ❖ **Klimawirkungsanalyse im BMVI-Expertennetzwerk – Konzept, Vorgehen und Nutzen**
Jens Kirsten (BASt), Dr. Martin Klose (BASt), Christoph Brendel (DWD), Claudius Fleischer (BfG), Markus Forbriger (EBA), Dr. Stephanie Hänsel (DWD), Dr. Martin Helms (BfG), Carina Herrmann (EBA), Dr. Gudrun Hillebrand (BfG), Dr. Sabine Hüttl-Kabus (BSH), Alexander Kikillus (BAW), Elise Lifschiz (BAW), Anne-Farina Lohrengel (BASt), Jens Möller (BSH), Dr. Enno Nilson (BfG), Dr. Regina Patzwahl (BAW), Dr. Monika Rauthe (DWD), Dr. Andreas Walter (DWD)
- ❖ **Hoch- und Niedrigwasser im Klimawandel – Ansätze und Umsetzungsbeispiele einer integrierten Klimawirkungsanalyse**
Dr. Enno Nilson (BfG), Linda Bergmann (BAW), Christoph Brendel (DWD), Claudius Fleischer (BfG), Markus Forbriger (EBA), Dr. Stephanie Hänsel (DWD), Dr. Martin Helms (BfG), Dr. Gudrun Hillebrand (BfG), Jens Kirsten (BASt), Alexander Kikillus (BAW), Elise Lifschiz (BAW), Dr. Martin Labadz (BfG), Marcus Mannfeld (BfG), Dr. Regina Patzwahl (BAW), Caroline Rasquin (BAW), Dirk Schulz (BfG), Benno Wachler (BAW), Dr. Norbert Winkel (BAW)
- ❖ **Sturmbedingte Verkehrsausfälle – Ansätze und Umsetzungsbeispiele einer integrierten Klimawirkungsanalyse**
Markus Forbriger (EBA), Anette Ganske (BSH), Natacha Fery (DWD), Michael Haller (DWD), Anne-Farina Lohrengel (BASt), Birger Tinz (DWD)
- ❖ **Hangrutschungen – Ansätze und Umsetzungsbeispiele einer integrierten Klimawirkungsanalyse**
Anne-Farina Lohrengel (BASt), Jens Kirsten (BASt), Markus Forbriger (EBA), Christoph Brendel (DWD)

Verkehr und Infrastruktur umweltgerecht gestalten

Mobilität und eine leistungsstarke Verkehrsinfrastruktur bilden zusammen einen wichtigen Grundpfeiler unserer heutigen Gesellschaft und Wirtschaft. Allerdings transportiert der Verkehr nicht nur Personen und Güter, sondern er hinterlässt auch Spuren in der Umwelt. Der Verkehr emittiert umweltschädliche Stoffe, verbraucht Energie, verursacht Lärm und verbreitet unbeabsichtigt gebietsfremde Organismen. Gleichzeitig werden Stoffe durch Bautätigkeiten oder Pflegemaßnahmen aus der Verkehrsinfrastruktur freigesetzt, die mit der Umwelt in Wechselwirkung stehen. Indirekt können durch Verkehrsbauwerke Zerschneidungswirkungen in Ökosystemen auftreten – mit entsprechenden negativen Folgen.

Die Fachsession thematisiert wesentliche Aspekte aus den Bereichen Methoden und Regelungsmöglichkeiten im Korrosionsschutz, Einsatzpotenziale von erneuerbaren Energien, räumliche Erfassung von Luftbelastungen, Einfuhr und Ausbreitung von gebietsfremden Arten und den Einfluss unterschiedlicher Wetterbedingungen auf die Schallausbreitung mit Bezug auf Verkehr und Infrastruktur. Das dabei verwendete Methodenspektrum reicht von klassischen Freiland- und Laboruntersuchungen über komplexe Modellierungen bis hin zur Entwicklung umfassender Daten- und Informationsplattformen.

Moderation

Dr. Sabrina Michael (EBA) und Dr. Stefan Schmolke (BSH)

Vorträge

- ❖ **Probleme und Lösungsansätze bei der Zulassungsprüfung von Korrosionsschutzbeschichtungen**
Roland Baier (BAW), Dr. Matthias Schmid (BAW), Dr. Michael Schröder (BASt), Dr. Birgit Kocher (BASt), Charlotte Molt (BASt), Prof. Dr. Thomas Ternes (BfG), Simon Brand (BfG), Dr. Sabrina Michael (EBA), Dr. Torben Kirchgeorg (BSH)
- ❖ **Einsatzpotenziale erneuerbarer Energien in der Verkehrsinfrastruktur erschließen**
Dr. Anna-Dorothea Ebner von Eschenbach (BfG), Dr. Markus Auerbach (BASt), Sandra Freudenstein (BASt), Deborah Niermann (DWD), Philipp Streek (EBA)
- ❖ **Verkehrsträgerübergreifende Messung von Luftschadstoffen mit Drohnen**
Dr. Anja Baum (BASt), Dr. I. Düring (Ingenieurbüro Lohmeyer), Dr. C. Ehlers (LANUV NRW), V. Dietze (DWD), L. Günther (IVI Fraunhofer), Dr. S. Michael (EBA), Dr. R.-D. Preuß (BSH), G. Schaufelberger (AirClip), C. Schmellekamp (BASt), Dr. F. Steinert (IVI Fraunhofer), Dr. P. Wagner (BfG), Prof. Dr. K. Weber (FH Düsseldorf), C. Fischer (FH Düsseldorf), Dr. B. Wehner (TROPOS), Dr. A. Weigelt (BSH)
- ❖ **Die Rolle von Verkehrsträgern bei der Einfuhr und Verbreitung von Neobiota**
Dr. Nicole Schwartz (BfG), Dr. Pia Bartels (BASt), Dr. Katja Broeg (BSH), Dr. Daniel Esser (BfG), Dr. Marion Leiblein-Wild (EBA), Dr. Franz Schöll (BfG), Dr. Andreas Sundermeier (BfG), Mariusz Zabrocki (BSH)
- ❖ **Lärmwetter – Wie stark beeinflusst das Wetter die Schallausbreitung?**
Dr. Fabio Strigari (BASt), Michael Chudalla (BASt), Dr. Susanne Biermann-Höller (DFS), Dr. Patrick Wagner (BfG), Michael Ziegert (EBA)

Impressum

Herausgeber

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
Invalidenstraße 44
10115 Berlin

Kontakt

Bundesanstalt für Straßenwesen
Anne-Kathrin Stube
Wissenschaftlicher Arbeitsstab des BMVI-ExpertenNetzwerks
expertenNetzwerk@bast.de

Anmeldung

www.bmvi-expertenNetzwerk.de/VIT

Gestaltung | Druck

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
Referat Z 32, Druckvorstufe | Hausdruckerei

Bildnachweis

Titelseite: Maintal bei Karlstadt © Deutsche Bahn AG / Uwe Miethe

- S. 6 Mintarder Ruhrtalbrücke bei Mühlheim an der Ruhr © travelpeter / Fotolia
- S. 22 Gleisbaustelle © DB Netz AG
- S. 32 Hochwasserschutzmaßnahmen © Gina Sanders / Fotolia
- S. 46 Überschwemmte Straße © photyo / Fotolia
- S. 58 Grünbrücke über Bundesstraße © Sascha Rösner / Fotolia
- S. 70 Lärmschutzwand © focus finder / Fotolia

