



Bundesministerium  
für Digitales  
und Verkehr



**Expertennetzwerk**  
Wissen Können Handeln

# Roadmap des BMDV-Expertennetzwerks „Wissen – Können – Handeln“ bis 2030



Deutscher Wetterdienst  
Wetter und Klima aus einer Hand



Deutsches Zentrum für  
Schienenverkehrsforschung beim





# Inhalt

<b>Einleitung .....</b>	<b>5</b>
Das BMDV-Expertennetzwerk als verkehrsträgerübergreifendes Format in der Ressortforschung .....	5
Unsere Vision.....	5
Unsere Forschungsthemen .....	5
Unser Beitrag in der Ressortforschung .....	6
Einordnung der Roadmap 2030 .....	6
<b>Strategischer Forschungsrahmen bis 2030.....</b>	<b>7</b>
Daten .....	7
Methoden .....	7
Produkte .....	8
Vernetzung.....	9
<b>Themenfeld 1: Verkehr und Infrastruktur an Klimawandel und extreme Wetter- und Klimaereignisse anpassen.....</b>	<b>11</b>
Zusammenfassung .....	11
Ausgangslage und Ziel .....	12
Innovationsphase 2020–2025 .....	12
Innovationsphase 2026–2030 .....	12
Roadmap für das Themenfeld 1.....	14
<b>Themenfeld 2: Verkehr und Infrastruktur umweltgerecht gestalten .....</b>	<b>19</b>
Zusammenfassung .....	19
Ausgangslage und Ziel .....	20
Innovationsphase 2020–2025 .....	20
Innovationsphase 2026–2030 .....	21
Roadmap für das Themenfeld 2.....	22
<b>Themenfeld 3: Verlässlichkeit der Verkehrsinfrastruktur erhöhen .....</b>	<b>25</b>
Zusammenfassung .....	25
Ausgangslage und Ziel .....	26
Innovationsphase 2020–2025 .....	26
Innovationsphase 2026–2030 .....	26
Roadmap für das Themenfeld 3.....	28
<b>Themenfeld 4: Digitale Technologien erschließen.....</b>	<b>31</b>
Zusammenfassung .....	31
Ausgangslage und Ziel .....	32
Innovationsphase 2020–2025 .....	33
Innovationsphase 2026–2030 .....	33
Roadmap für das Themenfeld 4.....	34

<b>Themenfeld 5: Einsatzpotenziale erneuerbarer Energien für Verkehr und Infrastruktur verstärkt erschließen.....</b>	<b>37</b>
Zusammenfassung .....	37
Ausgangslage und Ziel .....	38
Innovationsphase 2020–2025 .....	38
Innovationsphase 2026–2030 .....	38
Roadmap für das Themenfeld 5.....	40
<b>Themenfeld 6: Verkehrswirtschaftliche Analysen.....</b>	<b>43</b>
Zusammenfassung .....	43
Ausgangslage und Ziel .....	44
Innovationsphase 2020–2025 .....	44
Innovationsphase 2026–2030 .....	45
Roadmap für das Themenfeld 6.....	47

# Einleitung

## Das BMDV-Expertennetzwerk als verkehrsträgerübergreifendes Format in der Ressortforschung

Das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) verfügt über hervorragende Ressortforschungseinrichtungen mit hoher praxisbezogener Expertise und wissenschaftlicher Reputation. Mit ihrer breiten Fachkompetenz beraten diese Einrichtungen Politik und Verwaltung sowie die Praxisebene, beispielsweise den Straßenbetriebsdienst oder die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV). Um dieses Wissenspotenzial noch besser auszuschöpfen, gezielt Synergien durch systematische Vernetzung zu fördern und zugänglich zu machen, wurde 2016 das BMDV-Expertennetzwerk „Wissen-Können-Handeln“ geschaffen. Damit folgte das BMDV auch einer Forderung des Wissenschaftsrates und des Bundesrechnungshofes.

Das BMDV-Expertennetzwerk ist ein behördenübergreifendes Forschungsformat und ist Teil der Ressortforschung. Ziel ist es, auf wichtige verkehrsträgerübergreifende Zukunftsfragen gemeinsam wissenschaftliche Antworten zu finden. Daran beteiligt sind:

- das Bundesamt für Logistik und Mobilität (BALM),
- 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),
- das Deutsche Zentrum für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahnbundesamt (DZSF/EBA).

Durch die gemeinsame Arbeit werden Synergien identifiziert und genutzt. Gewonnene Erkenntnisse können durch die enge Vernetzung von Theorie und Praxis, Wissenschaft und Anwendung schnell umgesetzt werden.

### Unsere Vision

Die hohe Zuverlässigkeit und Leistungsfähigkeit unseres Verkehrssystems ist ein Schlüsselfaktor für den wirtschaftlichen Erfolg und die Sicherung des Wohlstandes unserer Gesellschaft. Die hohen Anforderungen an die Mobilität von Gütern und Menschen erfordern eine ausreichend dimensionierte und intelligente Verkehrsinfrastruktur. Sie muss an die Auswirkungen des Klimawandels angepasst sein und flexibel auf Störereignisse reagieren und damit zü-



Verkehrsträgerübergreifender Transport. - © Arsel/stock.adobe.com

gig wieder ihre volle Leistungsfähigkeit erreichen können – sie muss resilient sein.

Gleichzeitig gilt es, dies mit der gesellschaftlichen Aufgabe des nachhaltigen Handelns zu verknüpfen. Die Auswirkungen von Verkehr und Verkehrsinfrastruktur auf die Umwelt sind entsprechend zu minimieren. Darüber hinaus kann das Verkehrssystem einen aktiven Beitrag zum Erhalt unserer natürlichen Lebensgrundlagen leisten – es muss umweltgerecht gestaltet sein.

Unsere Vision als BMDV-Expertennetzwerk lautet deshalb: „Das Verkehrssystem resilient und umweltgerecht gestalten“. Wir forschen anwendungsbezogen, bearbeiten konkrete wissenschaftliche, verkehrsträger- und behördenübergreifende Fragestellungen und erarbeiten praxisnahe Lösungen für eine Weiterentwicklung des Verkehrssystems.

### Unsere Forschungsthemen

Aus der Notwendigkeit eines resilienten und umweltgerechten Verkehrssystems ergeben sich zahlreiche drängende Forschungsfragen, zu deren Beantwortung das BMDV-Expertennetzwerk einen Beitrag leistet: Wie können wir die Zuverlässigkeit der Verkehrsinfrastruktur auch unter steigendem Verkehrsaufkommen weiter verbessern? Wie können wir das Verkehrssystem an die Auswirkungen des Klimawandels anpassen und welchen eigenen Beitrag kann die Verkehrsverwaltung zur Anpassung an den Klimawandel und zum Klimaschutz leisten? Wie können verkehrsbedingte Auswirkungen auf die Umwelt, seien es Schadstoffe,



Lärm oder die Zerschneidung von Lebensräumen, minimiert werden? Wie lassen sich Verkehrsströme optimieren und wie können bei all diesen Fragestellungen die vielfältigen Möglichkeiten der Digitalisierung nutzbringend eingebracht werden?

Das BMDV-Expertenetzwerk greift diese Forschungsfragen in der vorliegenden Roadmap bis 2030 auf. Charakteristisch für das BMDV-Expertenetzwerk ist dabei die behörden- und verkehrsträgerübergreifende Betrachtung und Bearbeitung der verschiedenen Themenstellungen. Ihre gemeinsame Bearbeitung ist in derzeit sechs Themenfeldern organisiert:

1. Klimawandelfolgen und Anpassung
2. Umwelt und Verkehr
3. Zuverlässige Verkehrsinfrastruktur
4. Digitale Technologien
5. Erneuerbare Energien
6. Verkehrswirtschaftliche Analysen

### Unser Beitrag in der Ressortforschung

Durch unsere gemeinsamen Forschungsaktivitäten helfen wir, effizienter zu forschen und Synergien zwischen den einzelnen Behörden zu nutzen. Auch aktuelle Entwicklungen der Wissenschaft werden dabei aufgegriffen und für die Praxis bewertet. So bleibt die Arbeit des BMDV-Expertenetzwerks offen für aktuelle Impulse und ermöglicht gleichzeitig und kontinuierlich die zeitnahe Umsetzung neuer Erkenntnisse in die Praxis.

Eine dauerhafte Operationalisierung ist nicht Teil der Forschung und damit nicht Aufgabe des BMDV-Expertenetzwerks, sondern erfolgt beispielsweise durch Überführung der Produkte in bestehende Dienste oder durch eine Beauftragung eines geeigneten Trägers durch das BMDV.

Das Motto des BMDV-Expertenetzwerks lautet „Wissen – Können – Handeln“ und orientiert sich unmittelbar an den wichtigsten Nutzerinnen- und Nutzergruppen unserer Forschungsergebnisse: Der politischen Entscheidungsebene (Handeln), den vielfältigen Anwenderinnen und Anwendern in der Praxis (Können) und der Wissenschaftsgemeinde (Wissen).

Die gemeinsamen Forschungsergebnisse unterstützen eine fundierte Politikberatung durch die beteiligten Behörden. Durch wissenschaftliche Kooperationen, Publikationen in wissenschaftlichen Fachzeitschriften und Diskussionen auf Fachtagungen sowie durch unsere Webseite [www.bmdv-expertennetzwerk.bund.de](http://www.bmdv-expertennetzwerk.bund.de) als zentrale Plattform für Publikationen im Rahmen des Expertenetzwerks werden unsere Ergebnisse national und international zugänglich gemacht.

### Einordnung der Roadmap 2030

Insgesamt fügt sich die Roadmap in den mehrjährigen strategischen Rahmen der BMDV-Ressortforschung ein, in dem die Forschungsschwerpunkte für das gesamte Ressort festgelegt sind, die auch für das BMDV-Expertenetzwerk Gültigkeit haben.

Darüber hinaus berücksichtigt unsere Roadmap weitere maßgebliche nationale Strategien und Pläne sowie zwischenstaatliche Abkommen und Vereinbarungen. Das Übereinkommen von Paris (Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen, UNFCCC) adressieren wir u. a. durch die Erschließung von Einsatzpotenzialen erneuerbarer Energien für Verkehr und Infrastruktur und unsere Arbeiten zur Anpassung von Verkehr und Infrastruktur an Klimawandel und extreme Wetterereignisse. Letztere haben zudem einen engen Bezug zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) und deren Fortschreibung. Aspekte der nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt werden durch unsere Forschung zum Thema „Verkehr und Infrastruktur umweltgerecht gestalten“ ebenso berücksichtigt wie auch der „Green Deal“ der Europäischen Kommission.

Die Roadmap des BMDV-Expertenetzwerks gliedert sich im Wesentlichen in den „Strategischen Forschungsrahmen bis 2030“ und sechs themenfeldspezifische Roadmaps. Der strategische Forschungsrahmen beschreibt dabei fachübergreifend die Ziele des BMDV-Expertenetzwerks in den vier Handlungsfeldern Daten, Methoden, Produkte und Vernetzung. Die themenfeldspezifischen Roadmaps legen darauf aufbauend fachspezifisch die wesentlichen Forschungs- und Entwicklungslinien für die Zeiträume 2020–2025 und 2026–2030 fest.

# Strategischer Forschungsrahmen bis 2030

Die Forschungsaktivitäten bis 2030 im BMDV-Experten-Netzwerk lassen sich vier einander ergänzenden abstrakten Handlungsfeldern zuordnen:

- **Daten:** Sammlung, Vereinheitlichung, Aktualisierung, Verdichtung, Zusammenführung und Synthese relevanter Datensätze
- **Methoden:** (Weiter-)Entwicklung und pilothafte Erprobung neuer Methoden, zum Beispiel in den Bereichen Messen, Analyse, Auswertung von Daten
- **Produkte:** Überführung wissenschaftlicher Erkenntnisse in praxistaugliche und zielgruppengerechte Produkte
- **Vernetzung:** Frühzeitiger und nachhaltiger Dialog mit zukünftigen Anwenderinnen und Anwendern unserer Erkenntnisse und Produkte

## Daten

Die Kategorisierung der den Behörden des BMDV-Experten-Netzwerks zur Verfügung stehenden Daten ist bis 2030 abgeschlossen. Damit wird ein Beitrag zur Standardisierung von Datenformaten geleistet. Das BMDV-Experten-Netzwerk unterstützt die Abstimmung von verkehrsträgerübergreifenden, praxisorientierten Standards. Zentrale Cloudlösungen können implementiert und Daten aus Digitalisierungsprojekten eingespeist werden.

Bis 2030 sind außerdem zahlreiche zusätzliche Datenquellen aus den beteiligten Behörden und weiteren Infrastrukturbehörden für das BMDV-Experten-Netzwerk erschlossen und in geeigneter Weise miteinander verknüpft. Sie erlauben beispielsweise die verbesserte Analyse der Anfälligkeit und Betroffenheit der Verkehrsinfrastruktur gegenüber Klimawandelfolgen und Wetterextremen oder eine bessere Erfassung von Lärmimmissionen entlang der Binnenwasserstraßen. Verkehrsrelevante Datensätze zum Güterverkehr ermöglichen zusätzliche verkehrswirtschaftliche Analysen. Für die Standorte der auf erneuerbaren Energiequellen beruhenden Systeme sind punktgenaue meteorologische Daten verfügbar. Neue Datenquellen aus Zukunftstechnologien sind identifiziert.

Vorhandene Datengrundlagen sind verdichtet und aktualisiert wie z. B. Daten verkehrsbedingter Schadstoffemissionen zur Quantifizierung des Beitrags der verschiedenen

Verkehrsträger zu Schadstoffbelastungen. Für die Bewertung von Extremereignissen sind zusätzliche Daten und Wetterlagenaspekte einbezogen sowie Datensätze aktualisiert. Aktuell vorhandene funk- und satellitengestützte Verkehrsdaten sowie weitere verknüpfbare Datensätze sind auf aggregierter Ebene exemplarisch zu einer behördenübergreifenden Datenbasis zusammengeführt. Daten zu Güterarten und zum Personenverkehr sind exemplarisch zusammengeführt und durch aktuelle Mobilitätskennziffern ergänzt.

Innovative Monitoring- und Datenerhebungspilotstudien, zum Beispiel zur Zustandserfassung von Bauwerken, sind in verkehrsträgerübergreifende Anwendungsmodul überführt und Routinen zur Datenpflege, Qualitätssicherung und Plausibilisierung stehen der Praxisanwendung zur Verfügung. Daten zur Erfassung und Bewertung von Klimawandelfolgen sind gemäß der Anforderung der Praxis aufbereitet.

Damit wird ein Beitrag geleistet, um bis 2030 eine verkehrsträgerübergreifende Datenlandschaft zu schaffen, welche aktuelle Mess-, Modell- und Grundlagendaten umfasst, und welche durch die Einbindung von Echtzeitdaten ergänzt wird. Das BMDV-Experten-Netzwerk nutzt diese Daten für Analysen im Verkehrsbereich.

## Methoden

Unser Systemverständnis ist bis 2030 erweitert und Wirkungen auf das Verkehrssystem sind damit besser bewertbar.

Neuartige Methoden und Technologien sind erprobt und ihre Nutzungspotenziale für die Zielstellungen im BMDV-Experten-Netzwerk bewertet. Dazu zählen beispielsweise die Exploration und Integration Künstlicher Intelligenz (KI)-Systeme, die systematische Analyse großer Datenbestände (Big Data) mithilfe erweiterter statistischer Methoden sowie Methoden der Fernerkundung und Genetik. Es erfolgt eine Untersuchung und Bewertung von Technologietrends und Neuheiten, etwa in Form von Beiträgen zum vernetzten Fahren (V2X) sowie der erweiterten und virtuellen Realität (AR und VR). Allgemeine Empfehlungen für den Einsatz von Analysemethoden für große und komplexe Datensätze sind gegeben, um real existierende Vorgänge,

Situationen und Objekte anhand entwickelter Methoden auf ein virtuelles Pendant in der digitalen Umgebung abzubilden.

Die Auswirkungen von sich ändernden klimatologischen Bedingungen auf die Verkehrsträger bzw. deren Energieversorgung sind untersucht. Unsicherheiten in Bezug auf die Modellierung von verkehrsbedingten Emissionen können besser quantifiziert werden.

Bereits vorhandene Modelle und Werkzeuge sind für erweiterte Anwendungsbereiche erprobt und systematisch weiterentwickelt. Das betrifft insbesondere die Methodik der Klimawirkungsanalysen und die der Stresstests zur Evaluation von Klimarisiken und besonders belastenden Extremereignissen sowie Methodenstandards im Artenschutz, Modellkomponenten im Rahmen eines Stoffstrommanagements zur Bilanzierung und Minimierung von Stoffeinträgen in die Umwelt und Verfahren zur Zustandserfassung und -bewertung von Ingenieurbauwerken und für optimiertes Bauen unter Verkehr.

Methoden zur Validierung und zur Einschätzung der Wirksamkeit und Anwendbarkeit der Modellwerkzeuge und Managementverfahren sind neu entwickelt oder weiterentwickelt. Die anhand meteorologischer Parameter korrigierte Bemessung verkehrsbedingter Lärmimmissionen ermöglicht die Anwendung in stark wetterbeeinflussten Lärmsituationen. Neue Materialien und angepasste Bauweisen sind unter verschiedenen Realbedingungen erprobt und Schnittstellen zwischen den Verkehrssimulationsmodellen zur verkehrsträgerübergreifenden Betrachtung funktionsgeprüft.

## Produkte

Zahlreiche Produkte zur Gestaltung eines resilienten und umweltgerechten Verkehrssystems sind bis 2030 entwickelt und können zur weiteren Verwendung auf Praxisebene bereitgestellt werden.

Mit dem Ziel, die „Verlässlichkeit der Verkehrsinfrastrukturen zu erhöhen“ und gleichzeitig Umweltauswirkungen zu minimieren, bringt das BMDV-Expertenetzwerk seine verkehrsträgerübergreifende Perspektive zur Konzeption eines modularen risikobasierten Lebenszyklusmanage-

ments für Ingenieurbauwerke unter Einbeziehung innovativer Technologien und Verfahren für die Zustandserfassung und -bewertung (Bestand und Neubau) ein. Das BMDV-Expertenetzwerk hat einen Beitrag zu Handlungshilfen, etwa zur Resilienzbewertung sowie zur Quantifizierung und Prognose der Verfügbarkeit von Ingenieurbauwerken geleistet. Auf Objekt- und Netzebene sind Methoden zur Bewertung von Resilienz, Verfügbarkeit und Sicherheit von Ingenieurbauwerken bei außergewöhnlichen Ereignissen entwickelt und zur Verfügung gestellt worden. Die Analysen zur Erfassung und Evaluation von Klimaresilienz sind erweitert und Forschungsbeiträge der Praxis zur Verfügung gestellt, um den Aufbau von Resilienzmanagementsystemen zu unterstützen.

Methodische Konzepte zur Bewertung des Status Quo im Verkehrsbereich sind weiterentwickelt und exemplarisch angewendet. Im Rahmen der Klimawirkungsanalyse unterstützen Analysen zur Exposition, Sensitivität und Kritikalität die Bewertung von Klimarisiken. Ausgewählte Klimawandelfolgen sind erstmals für den Binnenbereich über das Jahr 2100 hinaus analysiert und dargestellt. Neben Auswertungen und Analysen zu den unmittelbaren Auswirkungen des Klimawandels auf Verkehr und Verkehrsinfrastruktur sind Auswirkungen auf den Verkehrsbedarf, die verkehrsnahе Umwelt (z. B. Ausbreitung von Neobiota) sowie Aspekte der Lebenszyklusplanung von Bauwerken pilothaft bewertet.

Darüber hinaus ist ein verkehrsübergreifender Beitrag zu konkreten Konzepten für die Umstellung von Wartungs- und Betriebsfahrzeugen der Straße bzw. für den Betrieb des nichtelektrifizierten Schienenverkehrs mit erneuerbaren Energien geleistet worden.

Zur umweltgerechten Gestaltung von Verkehr und Infrastruktur ist die Wirksamkeit und Anwendbarkeit bereits angewandeter Managementverfahren, z. B. zur Früherkennung von Neobiota, bewertet. Die gewonnenen Erkenntnisse fließen in ein verkehrsträgerübergreifendes Managementkonzept zur Kontrolle der Ausbreitung von Neobiota und in verkehrsträgerspezifische Frühwarnsysteme ein.

Darüber hinaus sind zahlreiche Kartenprodukte generiert, die der Visualisierung von Analyseergebnissen dienen. Es sind vielseitige Modelle und Werkzeuge entwickelt worden,



insbesondere ein Modell zur Prognose der Ausbreitung von Neobiota entlang der Verkehrswege.

## Vernetzung

Der fachliche Austausch - national wie international - ist bis 2030 verstärkt.

Praxisdialoge zur Diskussion und weiteren Entwicklung der Forschungsaktivitäten sind in allen sechs Themenfeldern des Expertennetzwerks etabliert. Der Erfahrungsaustausch mit den Stakeholdern ist intensiviert und der Datenaustausch mit ihnen erfolgt über standardisierte Formate. Darüber hinaus werden Anwenderinnen und Anwender mit methodischen Grundlagen unterstützt. Im Rahmen von Abstimmungsgesprächen erfolgt eine enge Einbindung

der verschiedenen Interessensgruppen in die Aktivitäten des BMDV-Expertennetzwerkes, wodurch entwickelte Maßnahmen besser in bestehende Konzepte eingebracht werden können.

Mit der Bereitstellung von Handlungshilfen oder Handlungsempfehlungen für themenspezifische Fragestellungen, wie z. B. die Resilienzbewertung oder Methoden zur Bewertung von Klimawandelfolgen, wird die Überführung der Forschungserkenntnisse in die Praxis erleichtert.

Durch Fachgespräche zur Erweiterung von nutzungsoptimierten Anwendungen, wie etwa beim IT-gestützten Expertensystem „Baustoffe Umwelt“, wird die Weiterentwicklung sowie der Transfer von Forschungsprodukten in die Praxis unterstützt und beschleunigt.



Die sieben am BMDV-Expertennetzwerk beteiligten Behörden. - © Daniel Esser-Heyden (BfG)





## Themenfeld 1: Verkehr und Infrastruktur an Klimawandel und extreme Wetter- und Klimaereignisse anpassen

### Zusammenfassung

In Themenfeld 1 „Klimawandelfolgen und Anpassung“ des BMDV-Expertennetzwerks werden klimatische Einflüsse und Wirkungen auf das Verkehrssystem untersucht und Anpassungsoptionen exemplarisch bewertet. Übergeordnetes Ziel ist dabei die Erhöhung der Resilienz des Verkehrssektors gegenüber den negativen Folgen des Klimawandels. Im Fokus stehen der Umgang mit sich langsam ändernden Bedingungen (z. B. Meeresspiegelanstieg) und die Änderungssignale und Auswirkungen extremer Wetterereignisse. Dabei werden praxistaugliche Methoden, Werkzeuge und Konzeptvorschläge für Planungen der Verkehrsinfrastrukturbetreibenden erarbeitet, die bei der Entwicklung und Priorisierung von Anpassungsoptionen unterstützen.



## Ausgangslage und Ziel

Seit dem Jahr 2020 liegen Ergebnisse der ersten Innovationsphase (2016–2019) vor, welche die Auswirkungen ausgewählter Klimaveränderungen und Extremwetterereignisse auf das Verkehrssystem zeitlich und räumlich differenziert darstellen. Daran anknüpfend wurden exemplarische Anpassungsmaßnahmen untersucht. Daten und Ergebnisse sind ebenfalls in die Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 des Bundes eingeflossen.

Zur Bewertung der Klimawandelfolgen und Klimarisiken für das Verkehrssystem und zur Erarbeitung möglicher Anpassungsoptionen hat das Themenfeld vier Handlungsfelder identifiziert:

- Klimawandelfolgen
- Anpassungsoptionen
- Neue Datenprodukte und Methoden
- Beratungsangebote und Praxisdialog

## Innovationsphase 2020–2025

Aufbauend auf den Ergebnissen der 1. Phase sind die einzelnen Forschungsschwerpunkte für den Verkehrsbereich bis 2025 weiterentwickelt und hinsichtlich neuer technischer Möglichkeiten und verkehrsfachlicher Bedarfe erweitert. So sind Klimaprojektions-, Klimavorhersageprodukte und Beobachtungsdaten höherer räumlicher Auflösung generiert. Kleinskalige Prozesse wie Konvektion und topographische Effekte sind somit besser abgebildet und die Auswirkungen kurzfristiger, kleinräumiger, meteorologischer und hydrologischer Extremereignisse (Windböen, Starkregen, Sturzfluten, Sturmfluten, Sedimentflüsse) regional differenziert erfasst. Datenprodukte sind an die Belange der Infrastrukturbetreibenden von Straße, Schiene und Wasserstraße angepasst.

Das Konzept der Klimawirkungsanalyse ist weiterentwickelt und exemplarisch angewendet. Grundlage bilden Analysen zur Exposition, Sensitivität und Kritikalität. So entsteht ein für die Verkehrsträger Schiene, Straße und Wasserstraße kohärentes Bild, das Klimarisiken bewertbar macht, Bereiche besonderen Anpassungsbedarfs erkennen lässt und Entscheidungen bezüglich Anpassungsmaßnahmen

unterstützen kann. Die Basis bilden vielfältige Datenprodukte und Kartenwerke (z. B. Hinweiskarten).



Überflutung einer Straße durch Hochwasser  
© Stephan Baur/stock.adobe.com (ehem. Fotolia.com)

Die Analysen zur Exposition sind durch Faktoren wie Hitze, Dürre, Sturzfluten, Sturmfluten ergänzt. Die Erfassung der Betroffenheit der Verkehrsinfrastruktur gegenüber diesen Einwirkungen ist durch neue Datenquellen (z. B. Ereignis- und Schadensdaten), Datenprodukte und verbesserte Auswertungsroutinen deutlich erweitert. Die Analyse der Kritikalität von Infrastrukturelementen und Streckenabschnitten wird ergänzt durch die Bewertung von Verkehrsstrom- und Kosteneffekten.

Richtlinien und Regelwerke sind in Bezug auf ausgewählte Klimawirkungen untersucht und Handlungserfordernisse in Bezug auf Klimaanpassung identifiziert sowie Anpassungsvorschläge generiert.

Der Austausch mit Bundes-, Landesbehörden, Forschungseinrichtungen und deren vernetzten Strukturen sowie Infrastrukturbetrieben ist ausgeweitet.

## Innovationsphase 2026–2030

Klimawandelfolgen und deren Einfluss auf den Verkehrssektor sind pilothaft erstmals über den Zeitpunkt 2100 hinaus analysiert. Ein System zur Identifikation bevorstehender Wetter- und Klimaereignisse ist entwickelt und der Einfluss mehrjähriger extremer Klimaepisoden auf den Verkehrssektor exemplarisch untersucht.

Neue, nutzgerechte Datenprodukte zur Erfassung von Klimawandelfolgen auf Verkehr und Infrastruktur sowie zu Anpassungsoptionen sind entwickelt (z. B. aktuelle Bereitstellung von Wassertiefeninformationen bei Niedrigwasser durch autonomes Messen) und hinsichtlich ihres Potenzials für operationelle Dienste evaluiert.

Ein wesentliches Element ist die intensivierte themenfeldübergreifende Zusammenarbeit. So wurde nun begonnen, umweltbezogene (z. B. die Ausbreitung invasiver Arten; Themenfeld 2) oder auch bauwerkbezogene Themen (z. B. Alterung, Lebenszyklusmodelle; Themenfeld 3) sowie die Möglichkeiten zur Nutzung regenerativer Energien (z. B. Wind, Solar; Themenfeld 5) unter den Prämissen veränderter klimatischer Randbedingungen zu analysieren.

In der Innovationsphase 2026–2030 wird das Spektrum der adressierten Klimawirkungen erweitert. Neben der Infrastruktur und den Fahrzeugen (Phase 2) können nun verstärkt Klimawirkungen bewertet werden, die z. B. die Verkehrsnachfrage betreffen. Einflüsse veränderter Witterungsbedingungen auf Touristenströme oder auf die land-

wirtschaftliche Produktion und damit einhergehende veränderte Verkehrsströme können in der Verkehrsplanung berücksichtigt werden.

Neue methodische und technologische Entwicklungen sind aufgegriffen, um Szenarien und Klimaprojekte in ihrer räumlichen Auflösung sowie Aussagekraft an die hohen Ansprüche (Detaillierungsgrad, Wirkungsspezifität) des Verkehrssektors anzupassen. Mit einer verbesserten technischen Umsetzung der Klimawirkungsanalyse können durch den Klimawandel betroffene Teile des Verkehrssystems besser identifiziert und deren Anpassungsbedarf evaluiert werden.

Der Dialog mit Infrastrukturbetreibern ist intensiviert und als wesentliche Säule des BMDV-ExpertenNetzwerks etabliert. Konkrete Anwendungen, Anpassungsoptionen und Produkte sind an die operative Ebene weitergegeben und weitere Anpassungspotenziale erkundet. Die Arbeiten liefern den Infrastrukturbetreibern die Grundlagen für die Einbeziehung von Klimawandelaspekten in Strategien und Planungsprozesse.



Der Rhein bei Niedrigwasser nahe Bingen im September 2016. Links der Binger Mäuseturm, rechts die Burg Ehrenfels.  
© Branko Srot/stock.adobe.com (ehem. Fotolia.com)



## Roadmap für das Themenfeld 1

Handlungsfelder	Innovationsphase 2020–2025	Innovationsphase 2026–2030
Klimawandelfolgen	<p>Klimawirkungsanalysen sind exemplarisch auf einzelne Wirkungsketten angewendet und beziehen verschiedene räumliche Skalen (von Objekt- zu Netzebene) ein. Regional differenzierte Auswirkungen von Meeresspiegelanstiegsszenarien im Küstenbereich sind durch ein erweitertes Systemverständnis besser erfasst. Regional differenzierte Auswirkungen kurzfristiger und kleinräumiger meteorologischer und hydrologischer Extremereignisse (Windböen, Starkregen, Sturzfluten, Sturmfluten, Sedimentflüsse) sind für die Erfassung der Wirkung auf Verkehr- und Verkehrsinfrastruktur aufbereitet. Die Analysen zur Identifikation der Exposition der Verkehrsinfrastruktur gegenüber dem Klimawandel und extremen Wetterereignissen sind weiterentwickelt. Karten, Modelle und Werkzeuge sind pilothaft für unterschiedliche Klimawirkungen erprobt und auf Fokusgebiete angewendet.</p> <p>Erste methodische Ansätze zur Klimaresilienz sind erarbeitet, durch verkehrsträgerspezifische Fallstudien praxisorientiert weiterentwickelt sowie qualitätsgesichert und stehen zur Einordnung in ein übergeordnetes Resilienzmanagement zur Verfügung.</p> <p>Das Systemverständnis von Wirkungszusammenhängen ist erweitert. Die strecken- und objektspezifischen Eigenschaften, welche die Betroffenheit der Verkehrsinfrastruktur gegenüber klimatischen Einwirkungen beeinflussen, sind weiter untersucht und neue Datenquellen erschlossen.</p> <p>Die klimabedingten Funktionseinschränkungen bzw. Ausfälle von Verkehr und Verkehrsströmen sind vertieft untersucht. Die Methodik der Stresstests, die der Evaluation von extrem seltenen, aber theoretisch möglichen Extremereignissen dient, ist an neuen Fallstudien weiterentwickelt. Die Verkehrsstrom- und Kosteneffekte extremer Witterungsbedingungen sind erfasst.</p>	<p>Klimawirkungsanalysen zur Bewertung aktueller und zukünftiger Klimarisiken sind durch neue Erkenntnisse und Fragestellungen erweitert. Ausgewählte Klimawandelfolgen auf den Verkehrssektor sind erstmals für den Binnenbereich über das Jahr 2100 hinaus analysiert.</p> <p>Das Auftreten mehrjähriger extremer Klimaepisoden ist erfasst (z. B. Trockenheit) und deren Einfluss auf den Verkehrssektor exemplarisch untersucht. Zudem sind die Möglichkeiten untersucht, räumlich und zeitlich punktuelle Ereignisse wie Starkregen unter Einbindung bislang nicht genutzter Datenquellen besser zu modellieren.</p> <p>Die Analysen zur Erfassung und Evaluation von Klimaresilienz sind erweitert und Forschungsbeiträge der Praxis zur Verfügung gestellt, um den Aufbau von Resilienzmanagementsystemen zu unterstützen.</p> <p>Längerfristige Wechselwirkungen zwischen dem Meeresspiegelanstieg und der morphologischen Entwicklung im Küstenbereich sind besser verstanden.</p> <p>Zusätzlich zu den unmittelbaren Auswirkungen des Klimawandels auf Verkehr und Verkehrsinfrastruktur sind Auswirkungen auf den Verkehrsbedarf, die verkehrsnahe Umwelt (z. B. Ausbreitung von Neobiota; siehe Themenfeld 2) sowie Aspekte der Lebenszyklusplanung von Bauwerken pilothaft bewertet.</p>

Handlungsfelder	Innovationsphase 2020–2025	Innovationsphase 2026–2030
Anpassungsoptionen	<p>Weitere, die Infrastruktur und die Verkehrsträger betreffenden Anpassungsstrategien und -optionen sind erarbeitet, in Kooperation mit Verkehrsinfrastrukturplanenden exemplarisch erprobt und im DAS-Basisdienst „Klima und Wasser“ verankert.</p> <p>Grundlagen zur Erstellung von korridorbezogenen Anpassungskonzepten sind durch neue Erkenntnisse weiterentwickelt.</p> <p>Die durch klimainduzierte Funktionseinschränkungen ggf. veränderte Verfügbarkeit von Fahrzeugen und Fahrzeugflotten ist erstmals erfasst, und mögliche Anpassungen von Fahrzeugen sowie Anpassungsoptionen beim Management von Verkehrssystemen (bzw. Steuerung von Verkehrsströmen) sind betrachtet.</p>	<p>Mit der Zielsetzung, Auswirkungen des Meeresspiegelanstiegs entgegenzuwirken, ist die Unterstützung oder die Abmilderung natürlicher Prozesse durch technische und naturbasierte Anpassungsmaßnahmen geprüft.</p> <p>Zur Unterstützung der Durchführung von Klimawirkungsanalysen an den Bundeswasserstraßen ist ein netzweites Wirkungsketteninformationssystem für die Praxis entwickelt, das auch mit einem Katalog von Anpassungsoptionen verknüpft ist. Empfehlungen für Anpassungsoptionen an die Folgen des Klimawandels können somit z. B. ausgehend von Klimawirkungen oder Bundeswasserstraßen-Elementen abgefragt werden.</p>
Neue Datenprodukte und Methoden	<p>Die Verfahren zur Bereitstellung des Klimaprojektionsensembles sind aktualisiert und hochaufgelöste, konvektionserlaubende Klimaprojektionen erstellt. Für die Bewertung von Extremereignissen sind zusätzliche Daten- und Wetterlagenaspekte einbezogen sowie Datensätze aktualisiert. Das Potenzial von Klimavorhersageprodukten für die Belange der Verkehrsunternehmen und Infrastrukturbetreibenden ist weiter erschlossen.</p> <p>Bereits betrachtete Klimawirkungsketten sind hinsichtlich der Methodik und Datengrundlage verbessert (z. B. Sturmwurf, gravitative Massenbewegungen) und weitere klimatische Einflüsse und Wirkungen sind in die Betrachtung einbezogen (z. B. durch Hitze und Trockenheit verursachte Böschungsbrände oder Sturzfluten).</p> <p>Die Erschließung weiterer Datenquellen erlaubt die Quantifizierung und Lokalisierung der Sensitivität im Rahmen der Klimawirkungsanalyse.</p> <p>Die Klimawirkungsanalyse ist methodisch entwickelt und kombiniert Indikatoren zu Exposition, Sensitivität und Kritikalität. Die drei Teilschritte der Klimawirkungsanalyse sind für exemplarische Klimawirkungen miteinander verknüpft. GIS-basierte Anwendungen zur technischen Nutzung des Wirkungsketteninformationssystems im Zuge von Klimawirkungsanalysen sind entwickelt und Potenziale einer Nutzung dieser Anwendungen durch die Infrastrukturbetreibenden erkundet.</p>	<p>Die neueste Klimamodellgeneration ist in ihrer räumlichen und zeitlichen Auflösung weiter an die im Verkehrsressort benötigten Skalen angepasst und nutzerorientiert aufbereitet.</p> <p>Zum Aufbau eines nahtlosen Vorhersagesystems sind die Möglichkeiten zur Abschätzung des Potenzials für das Auftreten extremer Wetter- und Klimaereignisse der kommenden Wochen, Monate bis Jahre analysiert.</p> <p>Es liegen zeitlich und räumlich verbesserte sowie aktualisierte Daten und Methoden zur Klimawandel- und Klimafolgenanalyse vor. Neue Datenprodukte sind entworfen und deren operationelle Bereitstellung im DAS-Basisdienst sind angebahnt.</p> <p>Die methodische und technische Umsetzung der Klimawirkungsanalyse ist für wesentliche Klimawirkungen weiterentwickelt. Verkehrsträgerübergreifende Synergien sind genutzt.</p> <p>Maßgeschneiderte Klimawandelinformationen stehen den anderen Themenfeldern für deren Analysen zur Verfügung.</p>

Handlungsfelder	Innovationsphase 2020–2025	Innovationsphase 2026–2030
Beratungsangebote und Praxisdialoge	<p>Im Dialog mit Anwenderinnen und Anwendern ist das Konzept der Klimawirkungsanalyse um eine gefährdungsübergreifende Perspektive erweitert.</p> <p>Es sind Kooperationen mit weiteren Bundesbehörden (ressortübergreifend), Landesbehörden, Forschungseinrichtungen, Universitäten und Infrastrukturbetreibern sowie europäischen Nachbarländern weiterentwickelt und intensiviert.</p> <p>Die Bereitstellung von Grundlagen für Klimadienstleistungen läuft Hand in Hand mit der Etablierung des Deutschen Klimavorsorgeportals. Wissen und Methoden sind dem DAS-Basisdienst „Klima und Wasser“ zur Verfügung gestellt.</p>	<p>Anwendungen (z.B. Software-Tools), Daten und Methoden zur Bewertung von Klimawandelfolgen auf den Verkehrssektor sind aufbereitet und zusammen mit Handlungsempfehlungen den Infrastrukturbetreibern übergeben und dienen den Nutzerinnen und Nutzern zur Beantwortung ihrer spezifischen Fragestellungen.</p> <p>Nationale sowie internationale Kooperationen mit Universitäten, Behörden, Stakeholdern sowie Praxisdialoge sind intensiviert, erweitert und verstetigt. Der Datenaustausch, die themenfeldübergreifende Zusammenarbeit und die Öffentlichkeitsarbeit sind erweitert.</p> <p>Ausgewählte Datenprodukte und Methoden sind für die operationelle Bereitstellung durch den DAS-Basisdienst vorbereitet und stehen damit im DAS-Prozess dauerhaft zur Verfügung.</p>









An aerial photograph showing a wide river with a bridge crossing it. The river is bordered by lush green trees and vegetation. To the right, there is an industrial area with various buildings, including large white storage tanks and a large blue building. Several boats are visible in the river, and a small island or peninsula is in the middle of the river.

## Themenfeld 2: Verkehr und Infrastruktur umweltgerecht gestalten

### Zusammenfassung

Das Themenfeld 2 des BMDV-Expertenetzwerks leistet einen Beitrag, um Verkehr und Infrastruktur in Deutschland umweltgerecht zu gestalten, indem konkrete Strategien, innovative Konzepte und Managementsysteme in den Bereichen Emission und Immission, Management gebietsfremder Tier- und Pflanzenarten (Neobiota) und ökologische Vernetzung entwickelt und praxisorientierte Lösungen erprobt und angeboten werden. Die Ergebnisse werden der Praxis zur Verfügung gestellt und können in technische Regelwerke einfließen.



## Ausgangslage und Ziel

Das Themenfeld 2 „Verkehr und Infrastruktur umweltgerecht gestalten“ leistet einen maßgeblichen Beitrag, zentrale Herausforderungen unserer Zeit wie eine nachhaltige Mobilität im Einklang mit Mobilitätsbedürfnissen in nachfolgenden Handlungsfeldern zu bewältigen:

- Biodiversität und ökologische Vernetzung
- Neobiota
- Verkehrsbedingte stoffliche Emissionen und Immissionen
- Bau- und bauwerksbedingte Emissionen sowie Verkehrslärm

Aus der ersten Phase des BMDV-Expertennetzwerks (2016–2019) liegen umfangreiche Forschungsergebnisse vor, die auf die Förderung von Biodiversität und struktureller Lebensraumvielfalt, die Minimierung des Eintrags von Neobiota, die bau- und bauwerksbedingten Emissionen und Immissionen und die Modellierungen der verkehrsbedingten Schadstoff- und Lärmbelastung fokussieren. Verkehrsträgerübergreifend nutzbare Managementkonzepte zur Förderung der Biodiversität und Vernetzung von Verkehrsnebenflächen sowie zur Kontrolle bereits etablierter Neobiota sind entwickelt.



Grünbrücke über die A20. - © Lutz Günther (DEGES Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH)

Dies schließt auch ein digitales Ausbreitungsmodell und ein Frühwarnsystem mit ein. Die Konzeption einer web-basierten Datenbank über bau- und bauwerksbedingte Emissionen und Immissionen als Werkzeug zur Auswahl

umweltgerechter verkehrsträgerspezifischer Baustoffe ist abgeschlossen. Dabei werden die Beständigkeit, Einsatzmenge und Umwelteigenschaften wesentlicher Baustoffe berücksichtigt. Untersuchungen und Quellzuordnungen verkehrsbedingter Schadstoffe wurden in einzelnen Ballungsgebieten untersucht. Numerische verkehrsträgerübergreifende Analysen der Schadstoffbelastung sind in Pilotgebieten erfolgt. Der Leitfaden "Verfahren zur Lärm-minderung bei Kumulation" als praktikables Werkzeug für die Gesamtlärbetrachtung ist erarbeitet und ein Methodenvorschlag zur Berücksichtigung meteorologischer Einflüsse auf die Schallausbreitung ist entwickelt.

In den genannten Handlungsfeldern werden zur Vertiefung der bisherigen Ergebnisse weitere Daten erhoben sowie Modelle und Informationssysteme entwickelt, aus denen sich Maßnahmen für eine nachhaltige Mobilität ableiten lassen. Diese vorgeschlagenen Instrumente werden anschließend in enger Abstimmung mit den Nutzerinnen und Nutzern z. B. in Pilotprojekten validiert und später den Stakeholdern zur Verfügung gestellt.

Die Projekte reichen von der Durchführung praxisnaher Forschungsprojekte über die daraus abgeleiteten Handlungsempfehlungen bis zum Einsatz der Anwendungen.

## Innovationsphase 2020–2025

Aufbauend auf den bisherigen Ergebnissen werden die einzelnen Handlungsfelder in der zweiten Innovationsphase bis 2025 weiterentwickelt. Ein Handbuch zur Biodiversitätsförderung ist erarbeitet und Methodenstan-



Zebrauschel. Eine invasive Art. - © VitalisG/Getty Images

dards im Artenschutz sind weiterentwickelt. Ein darauf aufbauendes Managementkonzept kann in verschiedenen Pilotprojekten angewendet werden. Konzepte der Länder (Biotopvernetzung) bzw. der EU (grüne Infrastruktur) und verkehrsträgerübergreifende Biodiversitätsbelange sind darin berücksichtigt. Zur Früherkennung von Neobiota sind bereits angewendete Methoden und moderne genetische Methoden auf Relevanz, Einsetzbarkeit und Wirksamkeit geprüft. Maßnahmen zur präventiven Minimierung des Eintrags von Neobiota können in Pilotgebieten angewendet werden und sind mit den nationalen Aktivitäten (Bundesländer, Kommunen, Verbände und Bevölkerung) abgestimmt. Ein Austausch mit Anwenderinnen und Anwendern in der Praxis ist etabliert. Die Grundlagen für die Prognose der Ausbreitung von Neobiota sowie für ein Frühwarnsystem sind entwickelt.

Eine IT-gestützte Rechercheplattform „Baustoffe Umwelt“ zu umweltverträglichen, mengenmäßig relevanten Baustoffen der Verkehrsträger ist entwickelt. Die Emissionseigenschaften dieser Baustoffe sind abgeleitet und in die Rechercheplattform integriert. Modellkomponenten zur Nutzung im Rahmen eines Stoffstrommanagements unter Berücksichtigung der relevanten Quellen und Stofffreisetzung bei Einbau und Erhaltung/Smart Repair sind entwickelt und an einem Modellgebiet erprobt.

Eine Zusammenstellung zur Erfassung der Emissionen der unterschiedlichen Verkehrsträger ist erstellt als Grundlage eines Konzeptes zur gleichwertigen Erfassung der Emissionen der verschiedenen Verkehrsträger.

Größenspezifische und räumliche Verteilungen von verkehrsbedingten Abrieben sowie von gasförmigen und partikulären Emissionen wurden in Pilotgebieten untersucht. Maßnahmenkataloge und Konzepte zur verkehrsträgerübergreifenden Immissionsminderung liegen vor.

Die Erprobung und Weiterentwicklung der Methoden und Handlungsempfehlungen für eine verkehrsträgerübergreifende Gesamtlärbetrachtung sowie für eine meteorologische Betrachtung verkehrsbedingter Lärmimmissionen ist abgeschlossen. Die Erweiterung des Maßnahmenpektrums hinsichtlich verhaltensbezogener Lärminderungspoten-

ziale, psychoakustischer Effekte und innovativer Maßnahmen ist angelaufen und erste Erfahrungswerte liegen vor. Der Dialog mit relevanten Akteurinnen und Akteuren ist ausgeweitet.

### Innovationsphase 2026–2030

Die Managementsysteme und Modelle werden in der dritten Innovationsphase bis 2030 weiterentwickelt, validiert und zur Anwendung in der Praxis zur Verfügung gestellt. Ein Monitoringkonzept zur Erfolgskontrolle biodiversitätsfördernder Maßnahmen liegt vor. Erkenntnisse aus der Anwendung in der Praxis und aus dem Einsatz neuer Technologien dienen der Optimierung des Managementsystems. Sowohl beim Biodiversitätsmanagement als auch beim Management der Einschleppung und Ausbreitung von Neobiota sind Aspekte des Klimawandels in Zusammenarbeit mit Themenfeld 1 und Konsequenzen der Erzeugung alternativer Energien (Themenfeld 5) verstärkt berücksichtigt. Ein verkehrsträgerübergreifendes Frühwarnsystem Deutschlands für Neobiota liegt vor. Für alle mengenmäßig relevanten Baustoffe ist ein für die Nutzer optimiertes, IT-gestütztes Expertensystem vorhanden, das auch Elemente zur Nutzung im Rahmen eines Stoffstrommanagements beinhaltet. Chemische/(mikro-)biologische Umwelteinflüsse auf die Nutzungsdauer von Bauprodukten/Bauwerken sind anhand ausgewählter Beispiele aufgeklärt. In Pilotgebieten konnte der Einfluss angewendeter Maßnahmenkonzepte auf die Einhaltung von Schadstoffgrenzwerten der Luftbelastung in Ballungsgebieten untersucht werden. Auf Basis der Maßnahmenkataloge und Konzepte zur Minimierung von Schadstoffemissionen der einzelnen Verkehrsträger sind verkehrsträgerübergreifende Konzepte zur Immissionsminimierung entwickelt. Die entwickelte Methodik zur Bewertung von Gesamtlärmsituationen und der Maßnahmenfindung ist ein erprobtes und anwendbares Verfahren. Die validierte meteorologische Betrachtung verkehrsbedingter Lärmimmissionen kann in stark wetterbeeinflussten Lärmsituationen angewendet werden. Das Spektrum an Lärminderungsmaßnahmen ist um verhaltensbezogene, psychoakustische und innovative Konzepte erweitert. Der Wissenstransfer und Erfahrungsaustausch mit relevanten Akteurinnen und Akteuren ist etabliert.

## Roadmap für das Themenfeld 2

Handlungsfelder	Innovationsphase 2020–2025	Innovationsphase 2026–2030
Biodiversität und ökologische Vernetzung	Die Erfassung der ökologischen Wertigkeit von Verkehrsnebenflächen anhand von Untersuchungen in weiteren repräsentativen Beispielgebieten unterschiedlicher Verkehrsinfrastruktur sowie die Erschließung und Erprobung neuartiger Methoden (Fernerkundung, Genetik) ist abgeschlossen. Ein Handbuch zur Biodiversitätsförderung auf Verkehrsnebenflächen liegt vor, verkehrsträgerübergreifende Synergien bei Bau- und Unterhaltungsmaßnahmen sind identifiziert. Methodenstandards im Artenschutz sind weiterentwickelt. Ein Managementkonzept zur verkehrsträgerübergreifenden Berücksichtigung von Biodiversitätsbelangen kann in verschiedenen Pilotgebieten angewendet werden. Konzepte der Länder (Biotopvernetzung) bzw. der EU (grüne Infrastruktur) werden berücksichtigt. Ein Austausch mit den Themenfeldern 1 und 5 findet statt.	Managementkonzepte sind weiterentwickelt, validiert und für die Anwendung in der Praxis zur Verfügung gestellt. Ein Monitoringkonzept für Erfolgskontrollen liegt vor. Erkenntnisse aus der Praxisanwendung und dem Einsatz neuer Technologien in der Unterhaltung gehen in die Konzepte ein. Die Entwicklung von Verkehrsnebenflächen kann in Übereinstimmung mit den Zielen der Biodiversitätsstrategie erfolgen. Aspekte des Klimawandels sind beim Biodiversitätsmanagement in Zusammenarbeit mit Themenfeld 1 verstärkt berücksichtigt. Bei der Gewinnung erneuerbarer Energien auf Verkehrs- und Verkehrsnebenflächen sind Konsequenzen für die Umwelt, insbesondere die Biodiversität und Lebensraumvernetzung in Kooperation mit Themenfeld 5 untersucht.
Neobiota	Die Bewertung der Wirksamkeit von bereits angewendeten Managementverfahren zur Kontrolle sowie von modernen genetischen Methoden zur Früherkennung von Neobiota ist erfolgt. Die Maßnahmen zur präventiven Minimierung des Eintrags von Neobiota können in Pilotgebieten angewendet werden, sind validiert und mit den entsprechenden nationalen Aktivitäten von Bundesländern, Kommunen und Verbänden abgestimmt. Das Modell zur Prognose der Verbreitung von Neobiota entlang der Verkehrswege ist validiert; die Relevanz von Verkehrsumschlagpunkten für die Einfuhr und Ausbreitung von Neobiota ist ermittelt.	Präventive Maßnahmen zur Minimierung des Eintrags von Neobiota durch Verkehrsträger stehen den zuständigen Nutzerinnen und Nutzern zur Verfügung. Ein verkehrsträgerübergreifendes Managementkonzept zur Kontrolle der Ausbreitung von Neobiota ist entwickelt. Ein verkehrsträgerspezifisches Frühwarnsystem liegt vor. Die Vernetzung mit relevanten Entscheidungsträgerinnen und -trägern ist erfolgt. Aspekte des Klimawandels werden beim Management von Neobiota in Zusammenarbeit mit Themenfeld 1 verstärkt berücksichtigt.
Bau- und bauwerksbedingte Emissionen und Immissionen	Eine IT-gestützte Rechercheplattform „Baustoffe Umwelt“ zur Informationsbeschaffung über umweltverträgliche, mengenmäßig relevante Baustoffe der Verkehrsträger, wie Festbeton, Frischbeton, Korrosionsschutz und Geokunststoffe, ist entwickelt. Auf der Basis gesetzlicher und fachlicher Referenzwerte werden die Emissionseigenschaften dieser Baustoffe bewertet und die Ergebnisse in die Rechercheplattform integriert. Zur Bilanzierung und Minimierung von Stoffeinträgen in die Umwelt sind Modellkomponenten zur Nutzung im Rahmen eines Stoffstrommanagements unter Berücksichtigung der relevanten Quellen und Stofffreisetzung bei Einbau und Erhaltung/Smart Repair entwickelt und an einem Modellgebiet erprobt.	Das nutzeroptimierte und erweiterte IT-gestützte Expertensystem „Baustoffe Umwelt“ ist für alle mengenmäßig relevanten Baustoffe der Verkehrsträger vorhanden. Weitere Elemente zur Nutzung im Rahmen eines Stoffstrommanagements unter Berücksichtigung der relevanten Quellen, Stofffreisetzung und Umweltverhalten bei Einbau und Erhaltung/Smart Repair neuer relevanter Baustoffe und deren Inhaltsstoffen sind in das Expertensystem integriert. Chemische/(mikro-)biologische Umwelteinflüsse auf die Nutzungsdauer von Bauprodukten/Bauwerken sind anhand ausgewählter Beispiele aufgeklärt.

Handlungsfelder	Innovationsphase 2020–2025	Innovationsphase 2026–2030
Verkehrsbedingte Emissionen und Immissionen	<p>Die Datengrundlage bezüglich verkehrsbedingter Schadstoffemissionen zur Quantifizierung des Beitrags der verschiedenen Verkehrsträger zu den Schadstoffbelastungen wurde verdichtet und aufgrund neuer technologischer Entwicklungen aktualisiert. Die Bestimmung von Unsicherheiten von Eingangsparametern sowie der Gesamtunsicherheit für Emissionsmodellierungen ist abgeschlossen.</p> <p>Maßnahmenkataloge und Konzepte zur Minimierung verkehrsbedingter Schadstoffemissionen liegen vor. Die Auswirkungen der Emissionen der Verkehrsträger auf die Luftqualität und die Deposition von Schadstoffen sind ermittelt. Zudem ist die größenspezifische und räumliche Verteilung von verkehrsbedingten Abrieben und partikulären Emissionen in Pilotgebieten untersucht.</p>	<p>In Pilotprojekten ist der Einfluss angewandeter Maßnahmenkonzepte auf die Einhaltung von Schadstoffgrenzwerten untersucht. Aufgrund technischer Weiterentwicklungen und sich ändernden umweltrechtlichen Rahmenbedingungen sind Emissions- und Immissionsdaten als Grundlage für genaue Modellvorhersagen und -konzepte laufend zu aktualisieren. Auf Basis der Maßnahmenkataloge und Konzepte zur Minimierung von Schadstoffemissionen der einzelnen Verkehrsträger sind verkehrsträgerübergreifende Konzepte zur Immissionsminimierung entwickelt.</p> <p>Relevante Stakeholder sind in die Entscheidungsprozesse bei der Planung und Umsetzung von Maßnahmen eingebunden.</p>
Verkehrslärm	<p>Die Methoden und Handlungsempfehlungen für eine verkehrsträgerübergreifende Gesamtlärmbetrachtung sowie für eine meteorologische Betrachtung verkehrsbedingter Lärmimmissionen sind erprobt und weiterentwickelt. Erste Praxiserprobungen der Betrachtung von komplexen Lärmsituationen haben stattgefunden. Erste Erfahrungswerte zu verhaltensbezogenen Lärm-minderungspotenzialen, zur Nutzung psychoakustischer Effekte und zur akustischen Wirksamkeit innovativer Maßnahmen liegen vor. Die Datengrundlage für binnenschiffahrtsbezogenen Lärm ist erweitert. Der Dialog mit relevanten Akteurinnen und Akteuren ist ausgeweitet.</p>	<p>Die entwickelte Methodik zur Bewertung von Gesamtlärmsituationen und der Maßnahmenfindung ist ein erprobtes Verfahren und kann angewendet werden. Die meteorologische Betrachtung verkehrsbedingter Lärmimmissionen ist validiert und die Anwendung in stark wetterbeeinflussten Lärmsituationen ist möglich. Das Maßnahmen-spektrum ist um verhaltensbezogene, psychoakustische und innovative Konzepte erweitert. Der Wissenstransfer und Erfahrungsaustausch mit relevanten Akteurinnen und Akteuren ist etabliert. Neue Forschungsfragen und -strategien bezüglich der Minimierung verkehrsbedingter Lärmimmissionen sind identifiziert.</p>









## Themenfeld 3: Verlässlichkeit der Verkehrsinfrastruktur erhöhen

### Zusammenfassung

Das Themenfeld 3 des BMDV-Experten Netzwerks leistet einen Beitrag, um die Verkehrsinfrastruktur in Deutschland mit der erforderlichen Zuverlässigkeit an aktuelle und zukünftige Herausforderungen anpassen zu können. Das Themenfeld liefert Konzepte und Strategien, wie die Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit der Verkehrsinfrastruktur signifikant verbessert und die vorhandenen Ressourcen priorisiert und effizienter eingesetzt werden können. Es werden belastbare Informationen zur Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit der Verkehrsinfrastrukturen aktuell und für ihren Lebenszyklus bereitgestellt. Dies wird durch die Weiterentwicklung von Verfahren, Vorgehensweisen und Methoden der Zustandserfassung und -bewertung sowie der Zuverlässigkeits-/Resilienzbewertung und -prognose unter Berücksichtigung der Kritikalität und gesamtwirtschaftlicher Aspekte erreicht. Ziel ist die Überführung dieser Erkenntnisse in ein modulares, risikobasiertes Lebenszyklusmanagement für Ingenieurbauwerke sowie ein System zum (teil-)automatisierten Benchmarking von Ingenieurbauwerken.

## Ausgangslage und Ziel

Das Themenfeld 3 „Verlässlichkeit der Verkehrsinfrastruktur erhöhen“ des BMDV-Expertennetzwerks adressiert das übergeordnete Ziel einer hohen Leistungsfähigkeit und Verfügbarkeit der Verkehrsinfrastruktur durch die folgenden Handlungsfelder:

- Zustandserfassung und -bewertung
- Zuverlässigkeit, Risiko und Resilienz
- Optimierte Bauen unter Verkehr
- Lebenszyklusmanagement

Seit Ende 2019 liegen erste Forschungsergebnisse des BMDV-Expertennetzwerks aus der ersten Projektphase vor, die auf eine Erhöhung der Verlässlichkeit der Verkehrsinfrastrukturen der Verkehrsträger Straße, Schiene und Wasserstraße fokussieren. Diese Ergebnisse bilden die Grundlage für die Weiterentwicklung von Verfahren für die risikobasierte Zustandserfassung, die Beurteilung von Ingenieurbauwerken im Bestand und Neubau sowie die Entwicklung von Methoden zur Erhöhung der Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit von Ingenieurbauwerken, die in der zweiten Innovationsphase weiter untersucht werden. Die Quantifizierung und Prognose der Verfügbarkeit und Sicherheit bei außergewöhnlichen Ereignissen erfolgte unter Berücksichtigung der Kritikalität und gesamtwirtschaftlicher Aspekte sowie möglicher Anpassungsstrategien. Die Auswirkungen bestehender Bauverfahren und -prozesse auf die Verfügbarkeit der Infrastrukturen wurden analysiert und die Erkenntnisse daraus sind in konzeptionelle Ansätze zur Optimierung von Lebenszyklusstrategien (insbesondere beschleunigtes Bauen und Modernisieren unter Verkehr) eingeflossen. Es wurden exemplarisch Pilotstudien durchgeführt.

### Innovationsphase 2020–2025

Aufbauend auf diesen Ergebnissen sollen die einzelnen Handlungsfelder bis 2025 weiterentwickelt werden. Die Berücksichtigung objektspezifischer Aspekte der Zuverlässigkeit ist pilothaft in Verfahren der Zustandserfassung und -bewertung von Ingenieurbauwerken integriert. Unter Einbeziehung innovativer Technologien und Verfahren für die Zustandserfassung und -bewertung ist ein modulares risikobasiertes Lebenszyklusmanagement für Ingenieurbauwerke

bauwerke konzipiert und in ersten Modulen validiert. Die Potenziale aus einer fortschreitenden Digitalisierung sind hierbei berücksichtigt.



Nutzung von erweiterter Realität (Englisch: augmented reality) zur Bauwerkskontrolle. - © kokliang1981/stock.adobe.com

Auf Objekt- und Netzebene sind Methoden einer vergleichenden Bewertung (Benchmarking) der Verkehrsinfrastruktur konzipiert, durch Prognosesysteme für extreme Wetterereignisse ergänzt und im Rahmen von Machbarkeitsstudien pilothaft unter Berücksichtigung der Erfahrungen von Nutzerinnen und Nutzern validiert. Konzepte für die Implementierung optimierter Managementverfahren von Bau-, Instandhaltungs- und Modernisierungsmaßnahmen für Ingenieurbauwerke, insbesondere netzbezogene Managementverfahren unter besonderer Berücksichtigung gesamtwirtschaftlicher Aspekte, werden erarbeitet und pilothaft angewendet.

### Innovationsphase 2026–2030

Unter Berücksichtigung der Möglichkeiten aus einer fortschreitenden Digitalisierung werden die oben genannten Verfahren bis zum Jahr 2030 als ganzheitliches, modulares, risikobasiertes Lebenszyklusmanagement für Ingenieurbauwerke pilothaft realisiert und validiert. Konzepte für die Implementierung der Kernmodule sind erstellt. Unter Einbeziehung innovativer Technologien und Verfahren zur Zustandserfassung und -bewertung stellen modulare Entscheidungsprozesse die Basis für die Auswahl ereignis- und objektspezifischer Prüfverfahren zur Zustandserfassung dar. Innovative Monitoring- und Datenerhebungspilotstudien sind in verkehrsträgerübergreifende Anwendungsmo-



dule überführt. Auf Objekt- und Netzebene sind Methoden zur Bewertung von Resilienz, Verfügbarkeit und Sicherheit bei außergewöhnlichen Ereignissen von Ingenieurbauwerken entwickelt und validiert. Praxisgerechte IT-Tools als Anwendungshilfen und zur Entscheidungsunterstützung bei der Auswahl geeigneter und wirtschaftlicher Maßnahmen stehen zur Verfügung. Mögliche Strategien zu ihrer Einführung sind erarbeitet. Prognosesysteme extremer Wetterereignisse für (teil-)automatisierte oder entschei-

dungsunterstützende Maßnahmen werden praxisgerecht berücksichtigt. Verfahren des Bauens unter Verkehr sind hinsichtlich des Lebenszyklusmanagements für Ingenieurbauwerke optimiert, entwickelt und validiert.

Die Erfahrungen aus pilothaften Anwendungen sind dokumentiert und umgesetzt und können für die Festlegung von Standards und Regelbauweisen genutzt werden.



Bauen unter Betrieb. Große Autobahn-Baustelle Schiersteiner Brücke, A643. - © ollo/Getty Images

## Roadmap für das Themenfeld 3

Handlungsfelder		Innovationsphase 2020–2025	Innovationsphase 2026–2030
Lebenszyklusmanagement	Zustandserfassung und -bewertung	Die weiterentwickelten Verfahren der Zustandserfassung und -bewertung von Ingenieurbauwerken unter besonderer Berücksichtigung spezifischer Aspekte der Zuverlässigkeit sind im Rahmen von Pilotvorhaben in bestehende Verfahren integriert. Ein modulares risikobasiertes Lebenszyklusmanagement für Ingenieurbauwerke unter Einbeziehung innovativer Technologien und Verfahren für die Zustandserfassung und -bewertung (Bestand und Neubau) ist konzipiert und erste Module sind validiert und anwendungsreif realisiert. Konzeptstudien für die Berücksichtigung der Potenziale aus einer fortschreitenden Digitalisierung wie Building Information Modeling (BIM) sind erstellt und Strategien zur netzweiten Einführung erarbeitet.	Das modulare risikobasierte Lebenszyklusmanagement für Ingenieurbauwerke ist unter Berücksichtigung der Möglichkeiten einer fortschreitenden Digitalisierung in Pilotvorhaben realisiert und validiert. Konzepte für die Implementierung der Kernmodule sind erstellt und Optimierungsmöglichkeiten durch die Integration Künstlicher Intelligenz (KI)-basierter Verfahren sind geprüft. Mögliche Strategien zur großflächigen Implementierung der entwickelten Konzepte und Methoden sind konzeptuell erarbeitet und ein Maßnahmenkatalog zur Evaluierung des flächendeckenden Einsatzes liegt vor, sodass eine Nachschärfung im Hinblick auf den Praxisbedarf ermöglicht wird.
	Zuverlässigkeit, Risiko und Resilienz	Handlungshilfen zur Resilienzbewertung sowie zur Quantifizierung und Prognose der Verfügbarkeit von Ingenieurbauwerken sind fertiggestellt, in Pilotvorhaben validiert und für eine Einführung vorbereitet. Verfahren zur Analyse und zur Entscheidungsunterstützung zum (teil-) automatisierten Benchmarking durch Bewertung wichtiger Ingenieurbauwerke der Verkehrsinfrastruktur sind auf Objekt- und Netzebene hinsichtlich der Optimierung von Verfügbarkeit und Sicherheit bei außergewöhnlichen Ereignissen konzipiert und im Rahmen von Machbarkeitsstudien validiert. Prognosesysteme für extreme Wetterereignisse werden pilothaft angewendet und Nutzererfahrungen hierzu gesammelt.	Den künftigen Herausforderungen angepasste und hinsichtlich des Lebenszyklusmanagements für Ingenieurbauwerke optimierte Verfahren des Bauens unter Verkehr sind entwickelt und können flächendeckend eingesetzt werden. Das Konzept zur praxisnahen Validierung ist erarbeitet und kann Weiterentwicklungspotenziale aufzeigen. Modulare Entscheidungsprozesse stellen unter Einbeziehung innovativer Technologien und Verfahren zur Zustandserfassung und -bewertung die Basis für die Auswahl der Prüfverfahren zur ereignis- und objektspezifischen Zustandserfassung bereit. Innovative Monitoring- und Datenerhebungspilotstudien sind in verkehrsträgerübergreifende Anwendungsmodule überführt. Ihr digitaler, systemunabhängiger Einsatz unterstützt den laufenden Betrieb und die Unterhaltung mithilfe von automatisierten Beobachtungsmethoden im Fernbetrieb.

Handlungsfelder		Innovationsphase 2020–2025	Innovationsphase 2026–2030
Lebenszyklusmanagement	Optimiertes Bauen unter Verkehr	Den künftigen Herausforderungen angepasste und hinsichtlich des Lebenszyklusmanagements für Ingenieurbauwerke optimierte Verfahren sind entwickelt und in Pilotprojekten angewendet. Ein auf Objekt- und Netzebene optimiertes Management von Bau-, Instandhaltungs- und Modernisierungsmaßnahmen für Ingenieurbauwerke, insbesondere ein netzbezogenes Management unter besonderer Berücksichtigung gesamtwirtschaftlicher Aspekte, ist konzipiert und wird pilothaft angewendet.	Systeme zum (teil-)automatisierten Benchmarking durch Bewertung von wichtigen Ingenieurbauwerken auf Objekt- und Netzebene sind hinsichtlich der Optimierung von Verfügbarkeit und Sicherheit bei außergewöhnlichen Ereignissen entwickelt und erprobt. IT-Tools als Anwendungshilfen und Kataloge sind zur Entscheidungsunterstützung bei der Auswahl geeigneter und wirtschaftlicher Maßnahmen erstellt und validiert, um in den Wirkbetrieb überführt zu werden. Ein praxisgerechtes Verfahren zur Berücksichtigung von Prognosesystemen extremer Wetterereignisse für automatisierte oder entscheidungsunterstützende Maßnahmen ist realisiert und wird weiterentwickelt. Erfahrungen aus pilothaften Anwendungen liegen vor und können für die Festlegung von Standards und Regelbauweisen genutzt werden.









## Themenfeld 4: Digitale Technologien erschließen

### Zusammenfassung

Die Themen Mobilität, Infrastruktur und Digitales stehen in enger Verbindung. Eine Echtzeiterfassung und -versorgung von bzw. mit schnell bewegten Gütern, Personen und Transportmitteln wird durch digitale Technologien ermöglicht. Die Verwaltung flächendeckender Infrastrukturen, wie es im Verkehrswesen der Fall ist, benötigt eine Vielzahl an Informationen, die in digitaler Form hochverfügbar, medienbruch- und verlustfrei übertragbar, gut zu kombinieren und qualitätsgesichert sind und mittels Software bewertet und kontinuierlich fortgeschrieben werden können. In diesem Kontext forscht Themenfeld 4, um Auskunft über den Einsatz und die Nutzung digitaler Technologien im Behördenalltag geben zu können.



## Ausgangslage und Ziel

Ziel des Themenfeldes ist unter anderem, die Entwicklung ausgewählter digitaler Technologien genau zu beobachten und zu bewerten. Damit soll ein Beitrag geleistet werden, dass die Behörden im BMDV-Expertenetzwerk frühzeitig Potenziale und Herausforderungen erkennen können. Durch diese Kenntnis kann die Beratung der Politik hinsichtlich der Rahmensetzung zielgerichtet und zeitgerecht erfolgen und so die Entwicklung technischer Lösungen beeinflusst werden. Auch werden dadurch die Regelungen und die Zulassungskriterien für die Technologien bereits existieren oder zumindest vorbereitet sein, wenn die Behörden und weitere Stakeholder diese für ihre Aufgaben benötigen. Des Weiteren befasst sich das Themenfeld mit der Standardisierung von Datenformaten, modernen Methoden der Datenverarbeitung und der Digitalisierung von Verwaltungsprozessen in den Behörden. Dabei geht es u. a. um die Nutzung der Building Information Modeling (BIM)-Methode in Bundesoberbehörden, den Einsatz von Demonstratoren zur Verwaltung fels- und bodenmechanischer Kennwerte (GeoValML) und um die Bewertung digitaler Technologien nach einem im Themenfeld erarbeiteten Konzept.

Das erlangte Wissen aus den Handlungsfeldern wird genutzt, um die aktuellen Entwicklungen vermehrt und mit geschärftem Blick zu beobachten. Die Reaktionszeiten der beteiligten Behörden auf neue technologische Entwicklungen werden damit verkürzt.

Die Arbeiten des Themenfeldes 4 integrieren neben Bedürfnissen und Wissen der anderen Themenfelder des BMDV-Expertenetzwerks einschlägige Forschung anderer Einrichtungen. So ermöglichen die erarbeiteten verkehrsträgerübergreifenden Handlungsempfehlungen und Studien den im BMDV-Expertenetzwerk beteiligten Behörden eine Kompetenzsteigerung im Bereich der digitalen Technologien. In der ersten Phase des BMDV-Expertenetzwerks war es unter anderem ein Ziel, das Themenfeld 4 aufzubauen (Start des Themenfeldes 2018, 2 Jahre nach der Gründung des BMDV-Expertenetzwerks) und die Arbeiten für die zweite Phase zu definieren. Seit 2020 werden diese Ansätze nun umgesetzt und weiterentwickelt. Die Arbeiten in Themenfeld 4 erfolgen im Rahmen der beiden Handlungsfelder:

- Datenmanagement und Datenverarbeitung
- Bewertung digitaler Technologien



Datenströme in komplexem Netzwerk. - © envfx/stock.adobe.com



## Innovationsphase 2020–2025

Erste Datenstandards für eine einheitliche Nutzung innovativer Methoden sind in den Behörden des BMDV-Expertennetzwerks weiterentwickelt worden. Eine Berücksichtigung behördenpezifischer Anforderungen an die Sicherheit, Haltung und Veröffentlichung der Daten ist dabei möglich. Ein Konzept zur Integration neuer Standards der Software für die Datenhaltung, -verarbeitung und -analyse in den Behördenalltag ist entwickelt. Aktuelle Lösungen zur Verarbeitung steigender und komplexerer Datenmengen, basierend auf Künstlicher Intelligenz (KI) und Big Data stehen den Beschäftigten der im BMDV-Expertennetzwerk beteiligten Behörden zur Verfügung. Daten für die behördenübergreifende Verarbeitung sind anhand geotechnischer Kennwerte beispielhaft semantisch aufbereitet und stehen in einem entsprechenden Standardformat FAIRfügbar (= Findable, Accessible, Interoperable, Reusable) bereit.

Für den Bereich "Planen, Bauen und Betreiben" ist die Herstellung der Kompatibilität bestehender und zukünftiger digitaler Technologien am Beispiel einer kombinierten Nutzung von Geoinformationssystemen (GIS) und Methoden des BIM demonstriert.



Virtual-Reality-Brillen zur Unterstützung der Arbeit von Ingenieuren in der Praxis. - © Seventyfour/stock.adobe.com

Die Möglichkeiten zur Unterstützung von Prüf- und Kontrollaufgaben an Bauwerken durch Ansätze der erweiterten (AR) und virtuellen Realität (VR) sind untersucht und eine Verknüpfung mit damit im Zusammenhang stehenden Entwicklungen (z. B. KI) geprüft.

Das Anwendungspotenzial der Vehicle-to-everything (V2X)-Kommunikation für die Verkehrsbeeinflussung in Gefahren- oder Stausituationen oder zur Durchführung von Verkehrskontrollen ist bewertet. Ausgewählte Aspekte für die Zulassung von einzelnen autonomen Systemen sind untersucht. In der Innovationsphase 2020-2025 steht im Fokus der Untersuchungen, dass mit steigender Autonomie der Technik vormals steuernde Menschen durch technische Systeme mit anderen Systemgrenzen und anderer Risikoverteilung ersetzt werden.

## Innovationsphase 2026–2030

Die Erweiterung der BIM-Methode zum Digitalen Zwilling erleichtert den Datenaustausch während des gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks und steht den Behörden des BMDV-Expertennetzwerks als zeit- und ressourcensparendes Beratungswerkzeug im Bereich Lebenszyklusmanagement (LZM) zur Verfügung.

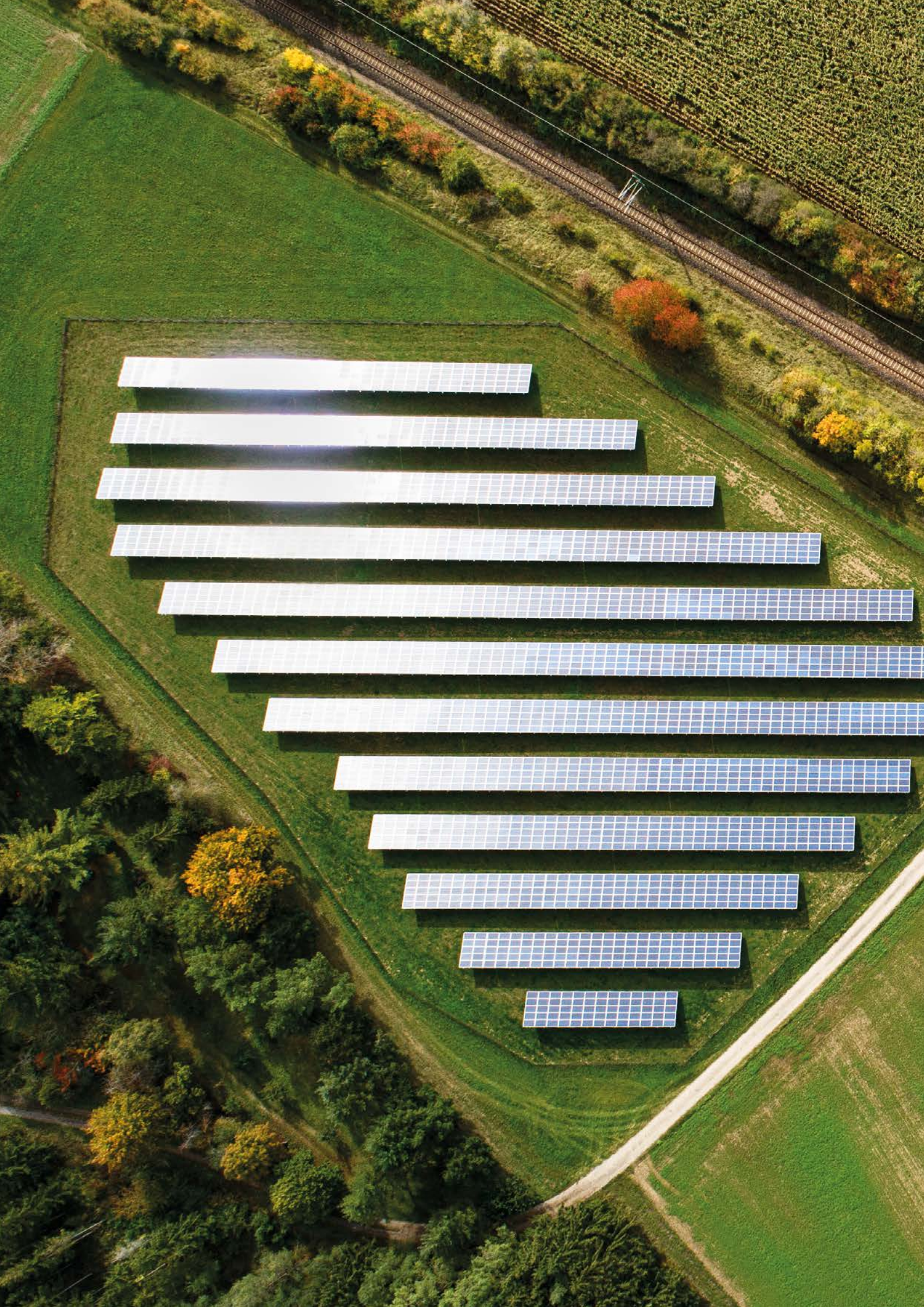
Das Einsatzpotenzial der ferngesteuerten und autonomen Fahrzeuge für Land, Wasser und Luft (Drohnen) ist behörden- und verkehrsträgerübergreifend geprüft. Die Konzeptionierung einer Prozesskette, ihrer Nutzung, Erweiterung durch KI- und VR/AR-Funktionalitäten, bis hin zur Darstellung und Auswertung der entsprechenden Daten ist abgeschlossen und steht für die Anwendung bereit. Die Begleitung von für die routinemäßige Anwendung solcher Drohnen (auch im Verbund) notwendigen rechtlichen Anpassungsprozesse ist für die Bereiche Verifikation und Validation (V&V) sowie Zulassung abgeschlossen. Ein Konzept für die fortlaufende Prüfung und Anpassung der Regelungen liegt vor.

## Roadmap für das Themenfeld 4

Handlungsfelder	Innovationsphase 2020–2025	Innovationsphase 2026–2030
Datenmanagement und -verarbeitung	<p>Standardisierung von Datenformaten: Die Kategorisierung der den Behörden des BMDV-Expertenetzwerks zur Verfügung stehenden Daten ist abgeschlossen. Die Entwicklung eines Konzepts zur Standardisierung und Transformation der Daten in semantische Standardformate ist erfolgt. Eine geeignete Infrastruktur für Linked Data Triplestores ist in der BfG versuchsweise für die anderen Behörden des BMDV-Expertenetzwerks eingeführt. Auch ist ein geeignetes Vokabular bei allen Behörden des Expertenetzwerks etabliert.</p> <p>Moderne Methoden der Datenverarbeitung: Die Forschungsdaten in den Behörden des BMDV-Expertenetzwerks sind hinsichtlich zusätzlich benötigter Informationen untersucht und Ansätze zu deren Gewinnung liegen vor. Systeme wie z. B. Big-Data-Analysen und Künstliche Intelligenz (KI)-Systeme (wie z. B. Machine Learning und Deep-Learning) stehen dem BMDV-Expertenetzwerk bei Bedarf zur Verfügung. Eine Big Data und Smart Data IT-Infrastruktur innerhalb der BfG ist eingerichtet. Auch die anderen Behörden des BMDV-Expertenetzwerks haben Zugriff auf diese Infrastruktur.</p> <p>Digitalisierung in Behörden: Die Methode „Building Information Modeling (BIM)“ ist für die Behörden des BMDV-Expertenetzwerks erschlossen. Rechtliche Fragen bezüglich der baulichen Planprüfung, der Bauwerksprüfung und der Genehmigungsverfahren im Baubereich sind gestellt und beantwortet. Ein Konzept zur Nutzung ist erstellt. Auch ist die Interoperabilität zwischen einem GIS und der BIM-Methode erprobt, sodass die Behörden des BMDV-Expertenetzwerks auf beide Datengrundlagen für die Planung, den Bau und die Instandhaltung von Bauwerken zugreifen können. Ein Konzept für die generelle, standardisierte Bearbeitung im Planungs- und Bauwesen mittels eines GIS und BIMs liegt vor.</p> <p>Ein Demonstrator zur Verwaltung von fels- und bodenmechanischen Kennwerten ist behördenübergreifend im BMDV-Expertenetzwerk implementiert. Eine Konzeptvorlage für eine gemeinsame webbasierte Geodatenbank der Oberbehörden des BMDV – ausgehend von den Anforderungen und Bedürfnissen der Wissenschaftler des BMDV-Expertenetzwerks – liegt vor.</p>	<p>Standardisierung von Datenformaten: Die Datenhaltung der Behörden des BMDV-Expertenetzwerks erfolgt stark standardisiert und semantisch, sodass Informationen einfach zugänglich sind.</p> <p>Moderne Methoden der Datenverarbeitung: Allgemeine Empfehlungen für den Einsatz von Analysemethoden großer und komplexer Datensätze sind erstellt und werden für diverse Aufgaben der Behörden des BMDV-Expertenetzwerks verwendet.</p> <p>Digitalisierung in den Behörden des BMDV-Expertenetzwerks: Grundsätzliche Vorgehen zur Einführung neuer Technologien sind erarbeitet und in der Praxis erprobt. Ein Leitfaden zur Bewertung der Auswirkungen auf Prozesse durch neue Technologien ist erstellt. Zentrale Cloudlösungen sind an die Sicherheitsstandards angepasst und mit Daten aus vorherigen Digitalisierungsprojekten gespeist. Die Daten sind in behörden-einheitlichen Standards verwaltet. Auch ist der Öffentlichkeit der Zugang zu „Offenen Daten“ des BMDV-Expertenetzwerks (und der beteiligten Behörden) via Plattform möglich.</p> <p>Die Datenbank für fels- und bodenmechanische Kennwerte kann in den Behörden des BMDV-Expertenetzwerks implementiert und zur Speicherung der Geodaten genutzt werden. Durch die Lizenzierung nach GPL 3.0 (General Public License) ist eine weitere Nutzung in anderen Ressorts und bei KMUs (Klein- und Mittelständische Unternehmen) durchaus möglich. Der Einsatz ist auch in geotechniknahen Fachbereichen möglich.</p>

Handlungsfelder	Innovationsphase 2020–2025	Innovationsphase 2026–2030
Bewertung digitaler Technologien	<p>Bewertung digitaler Technologien: Die Technologietrends des vernetzten und autonomen Fahrens (V2X und KI-gesteuerte Fahrzeuge) sowie der erweiterten und virtuellen Realität (AR und VR) sind untersucht und mögliche Potenziale der Technologien für die Behörden des BMDV-ExpertenNetzwerks erfasst. Die weiteren Entwicklungen dieser Technologien sind abgeschätzt. Zusätzlich findet eine inhaltliche und zeitliche Spezifizierung der hierdurch zu erwartenden Herausforderungen statt und Handlungsoptionen sind vorgeschlagen.</p> <p>Im Hinblick auf eine virtuelle Abbildung realer Situationen und Objekte zu Zwecken der Dokumentation, der Planung, des Baus, insbesondere der Instandhaltung und des Betriebes von Verkehrsinfrastruktur, Betriebsstätten und Verkehrsleitsystemen sowie der Optimierung behördlicher Kontrollaufgaben, sind beispielhafte Technologien identifiziert, die zur Erfassung, Vernetzung, Aufbereitung und Nutzung der Daten eingesetzt werden könnten. Diese Technologien sind auf ihre Einsatzpotenziale in verschiedenen Verkehrsträgern und Behörden hin analysiert und die Einsatzfähigkeit ist zum Teil praktisch überprüft.</p> <p>Bewertungskonzept: Eine Handlungsempfehlung für Behörden des BMDV-ExpertenNetzwerks zur Vorausschau auf die Entwicklung digitaler Technologien ist erstellt und veröffentlicht. Ein einheitliches Bewertungssystem sowie eine systematische Darstellungsform für Bewertungen im Themenfeld sind erarbeitet und getestet.</p>	<p>Das Konzept zur Untersuchung und Bewertung technologischer Neuheiten ist konsequent umgesetzt. So sind Technologien mit Relevanz für die verschiedenen Arbeitsbereiche der Behörden des BMDV-ExpertenNetzwerks schnell erkannt und frühzeitig untersucht worden.</p> <p>Aus bereits durchgeführten Analysen sind bestehende Erkenntnisse in anwendungsbezogene Pilotprojekte überführt oder gemäß dem Digitalisierungsleitfaden genutzt, um die Arbeitsabläufe der Oberbehörden durch die Einführung neuer Technik zu optimieren und an den Wandel der Umstände und Möglichkeiten anzupassen.</p> <p>Die Erarbeitung und Analyse weiterer Anwendungen digital vernetzter Daten des Verkehrssystems ist abgeschlossen. Viele real existierende Vorgänge, Situationen und Objekte können anhand entwickelter Methoden auf ein virtuelles Pendant in der digitalen Umgebung abgebildet werden, wodurch ein medienbruchfreier Übergang und Austausch zwischen unterschiedlichen Systemen möglich ist.</p> <p>Im Themenfeld erarbeitete Vorschläge zu Regelungen und Zulassungsverfahren für von KI und für anderweitig autonom gesteuerte Fahrzeuge liegen vor.</p>







An aerial photograph showing a two-lane asphalt road and a railway track running diagonally through a lush green landscape. The road has two cars driving on it. The railway track has overhead power lines. The landscape is dotted with trees showing vibrant autumn colors in shades of yellow, orange, and red. In the bottom left corner, there are some solar panels.

## Themenfeld 5: Einsatzpotenziale erneuerbarer Energien für Verkehr und Infrastruktur verstärkt erschließen

### Zusammenfassung

Das Themenfeld 5 des BMDV-ExpertenNetzwerks leistet einen Beitrag, um die Einsatzpotenziale erneuerbarer Energien für Verkehr und Infrastruktur verstärkt zu erschließen. Mit einem verkehrsträgerübergreifendem Untersuchungsansatz werden Energiebedarfe in der Verkehrsinfrastruktur detailliert erfasst und Vorschläge zu einer effizienten Energienutzung entwickelt. Konzepte zur Verbesserung der Rahmenbedingungen für die Erzeugung und Nutzung erneuerbarer Energien werden erarbeitet. Hierbei wird auch die wirtschaftliche und rechtliche Umsetzbarkeit betrachtet und die klimatologische Bewertungsgrundlage verbessert. Es wird gezeigt, wie Hauptenergieverbraucher der Verkehrsinfrastruktur einen Beitrag zu den sektorübergreifenden Klimaschutzzielen der Bundesregierung leisten können.



## Ausgangslage und Ziel

Übergeordnetes Ziel dieses Themenfeldes ist es, die Einsatzpotenziale erneuerbarer Energien für Verkehr und Infrastruktur verstärkt zu erschließen. Es erfolgt im Bereich des Verkehrs die Betrachtung der Wartungs- und Betriebsfahrzeuge der Meistereien bezogen auf den Verkehrsträger Straße. Im Bereich des Verkehrsträgers Schiene wird hingegen die allgemeine Energiebereitstellung zur Erbringung der Verkehrsleistung betrachtet. Das Themenfeld leistet damit einen Beitrag zum Klimaschutz in den nachfolgenden Handlungsfeldern:

- Energiebedarf für den Betrieb der Verkehrsinfrastruktur
- Portfolio erneuerbarer Energien für Verkehr und Infrastruktur
- Wartungs- und Betriebsfahrzeuge
- Klimatologische Reanalysedaten
- Vernetzung der Akteure

## Innovationsphase 2020–2025

Bis zum Jahr 2025 ist die Energiebedarfsanalyse der Hauptverbraucher der Infrastrukturanlagen für die Verkehrsträger Straße und Schiene unter Verantwortung des Bundes auf das Bundesgebiet ausgeweitet. Mögliche Einsparpotenziale in der Verkehrsinfrastruktur sind durch Abgleich energieeffizienter Technologien identifiziert.

Eine deutschlandweite Ertragsprognose aus Photovoltaik an Lärmschutzwällen und -wänden an Bundesautobahnen und Schiene ist abgeschlossen. Weiterhin ist die Realisierbarkeit verschiedener nachhaltiger Technologien an den Verkehrswegen ausgewertet. Die Rahmenbedingungen für die Nutzung und den Austausch erneuerbarer Energien innerhalb der Verkehrsinfrastruktur sind analysiert.

Zusätzlich ist das Potenzial relevanter Einsatzmöglichkeiten von Speicherelementen abgeschätzt. Konkrete Konzepte für die Umstellung von Wartungs- und Betriebsfahrzeugen auf den Betrieb mit erneuerbaren Energien liegen vor und der wirtschaftliche Einsatz ist aufgezeigt. Die klimatologischen Grundlagen zur optimalen Nutzung erneuerbarer Energien sind bereitgestellt und Eintrittswahrscheinlichkeiten außergewöhnlicher meteorologischer Ereignisse sind abgeschätzt. Die Vernetzungen mit anderen Akteuren sind ausgeweitet und intensiviert.

## Innovationsphase 2026–2030

Bis zum Jahr 2030 sind Modelle für die großflächige Erschließung der Energieeinsparpotenziale der Infrastrukturelemente, insbesondere der Straße und Schiene, entwickelt und angewendet. Sowohl die Potenziale erneuerbarer Energien sind identifiziert als auch konkrete Maßnahmen (z. B. Contracting-Modelle) benannt, mit denen die Infrastruktur und der Verkehr (ausgenommen: Individualverkehr) einen Beitrag zum Klimaschutz leisten können. Für die Wasser-



Solarmodule entlang einer deutschen Autobahn. - © Jochen Netzker/stock.adobe.com



straße sind die Potenziale der Energieeinsparung und der Nutzung erneuerbarer Energien beim Pumpbetrieb zur Kanalspeisung an ausgewählten Standorten ermittelt. Für die Unterhaltung von Straße und Schiene sind Antriebskonzepte auf Basis erneuerbarer Energien für die Umsetzung durch Infrastrukturbetreibende erstellt. Eine wissenschaftliche Begleitung bei der Integration der Fahrzeuge in die Fuhrparks ist erfolgt. Der Beitrag zu den Klimaschutzzielen ist wissenschaftlich eingeordnet. Die Auswirkungen sich ändernder klimatologischer Bedingungen auf die

Energieversorgung sind charakterisiert. Die relevanten Partner, insbesondere aus den anderen Themenfeldern des BMDV-Expertennetzwerks und andere Bundesbehörden, Landesbehörden, Forschungseinrichtungen, Infrastrukturbetreibende sowie europäischen Nachbarländer sind eingebunden. Thematische Schnittstellen im BMDV-Expertennetzwerk bestehen beispielsweise zu Themenfeld 1 (Klimaprojektionen) oder Themenfeld 2 (Biodiversität und Lebensraumvernetzung an den Verkehrsnebenflächen).



Windkraftanlagen und Rapsanbau entlang einer Fernstraße. - © Kruwt/stock.adobe.com

## Roadmap für das Themenfeld 5

Handlungsfelder	Innovationsphase 2020–2025	Innovationsphase 2026–2030
Energiebedarf für den Betrieb der Verkehrsinfrastruktur	Die Energiebedarfsanalyse für den Betrieb der Infrastruktur der Verkehrsträger ist räumlich und zeitlich erweitert und fortgeführt. Die Energieeinsparpotenziale sind identifiziert. Die Analysen beziehen sich auf die Verkehrsinfrastruktur der Straße und Schiene unter Verantwortung des Bundes. Zudem wird jährlich ein Rückblick auf die energierelevanten meteorologischen Größen gegeben.	Der Energiebedarf der Hauptverbraucher im Bereich Straße und Schiene ist automatisch erfasst und ausgewertet. Energieeinsparpotenziale beim Pumpbetrieb zur Kanalspeisung ausgewählter Kanalhaltungen an Bundeswasserstraßen sind ermittelt. Optimierungspotenziale sind identifiziert.
Portfolio erneuerbare Energien für Verkehr und Infrastruktur	Das Portfolio zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Integration in die Verkehrsinfrastruktur ist erstellt. Die klimatologischen Grundlagen zur optimalen Nutzung erneuerbarer Energien im Verkehrssektor sind bereitgestellt. Die entwickelten Konzepte zur intelligenten Anwendung sind in ausgewählten Demonstratoren erprobt und optimiert, wobei auch die Klimawirkung abgeschätzt ist. Weiterentwicklungen der Technologien sind im Rahmen des BMDV-Expertennetzwerks angestoßen. Die Rahmenbedingungen für die Erzeugung und Nutzung erneuerbarer Energien in Verkehr und Infrastruktur sind analysiert. Konzepte zur Verbesserung der Rahmenbedingungen für die Erzeugung und Nutzung erneuerbarer Energien liegen vor. Eine deutschlandweite Ertragsprognose aus Photovoltaik (PV) an Lärmschutzwällen und -wänden ist abgeschlossen. Weiterhin ist die Realisierbarkeit verschiedener Technologien, wie zum Beispiel Kleinwindkraftanlagen, an den Verkehrswegen ausgewertet. Das Potenzial der Speicher für eine bedarfsgerechte Bereitstellung der überschüssigen erneuerbaren Energie ist ermittelt.	Die relevanten Potenziale erneuerbarer Energien, die an der Verkehrsinfrastruktur erzeugt werden können, sind ermittelt, und deren Realisierbarkeit charakterisiert. Konkrete Maßnahmen (z. B. Contracting-Modelle) sind benannt, mit denen der Verkehr (ausgenommen: Individualverkehr) und die Infrastruktur ihren Beitrag zu den sektorübergreifenden Klimaschutzzielen der Bundesregierung (gemäß Klimaschutzplan und Klimaschutzprogramm) leisten können. Das Nutzungspotenzial erneuerbarer Energien für die Kanalspeisung liegt für ausgewählte Standorte vor.

Handlungsfelder	Innovationsphase 2020–2025	Innovationsphase 2026–2030
Wartungs- und Betriebsfahrzeuge	Konkrete Konzepte für die Umstellung von Wartungs- und Betriebsfahrzeugen auf den Betrieb mit erneuerbaren Energien liegen vor. Die Auswirkungen meteorologischer Variabilität auf die Speicher- und Ladeinfrastruktur sind analysiert. Der wirtschaftliche Einsatz (evtl. unter geänderten Rahmenbedingungen) ist aufgezeigt. Neue Materialien und angepasste Bauweisen sind unter Realbedingungen erprobt und werden schrittweise zur Anwendungsreife gebracht. Die Überarbeitung technischer Regelwerke und Betriebskonzepte wurde unterstützt und eine Einführung in die Praxis ist in Vorbereitung. Die Umsetzung erster Demonstratoren hat begonnen. Anhand der Demonstratoren erfolgt eine Abschätzung der Klimawirkung der Maßnahmen.	Für die Unterhaltung von Straße und Schiene sind Konzepte für Antriebe auf Basis erneuerbarer Energien für die Umsetzung durch Infrastrukturbetreibende erstellt. Eine wissenschaftliche Begleitung bei der Integration der Fahrzeuge in die Fuhrparks ist erfolgt. Der Beitrag zu den Klimaschutzziele ist wissenschaftlich eingeordnet.
Klimatologische Reanalyse-daten	Reanalysen oder alternative meteorologische Daten sind in bedarfsgerechter räumlicher und zeitlicher Auflösung bereitgestellt. Für die Standorte der auf erneuerbaren Energiequellen beruhenden Systeme sind punktgenaue meteorologische Daten verfügbar, unter Angabe von Wahrscheinlichkeiten und Unsicherheiten. Eintrittswahrscheinlichkeiten außergewöhnlicher meteorologischer Ereignisse sind aufgrund der hochaufgelösten Rekonstruktionen der Vergangenheit abschätzbar.	Die Wahrscheinlichkeiten der sich ändernden klimatologischen Bedingungen mit Auswirkungen auf die verschiedenen Verkehrsträger bzw. deren Energieversorgung sind in allen relevanten Details charakterisiert.
Vernetzung der Akteure	Die Vernetzung zum Thema erneuerbare Energien mit anderen Bundesbehörden (ressortübergreifend, insbesondere auch mit den Themenfeldern des BMDV-Experten Netzwerks), Landesbehörden, Forschungseinrichtungen, Infrastrukturbetreibenden sowie europäischen Nachbarländern ist weiterentwickelt und intensiviert.	Die relevanten Partner sind eingebunden und Strukturen für einen regelmäßigen Abstimmungsdialo mit Nachbarländern sind für die wichtigsten europäischen Verkehrskorridore etabliert.







# Themenfeld 6: Verkehrswirtschaftliche Analysen

## Zusammenfassung

Das Themenfeld 6 des BMDV-ExpertenNetzwerks leistet einen essentiellen Beitrag für die Beantwortung von aktuellen verkehrswirtschaftlichen Fragestellungen und unterstützt somit die Weiterentwicklung einer zukunftsfähigen Verkehrsinfrastruktur. Dazu werden hochqualitative Verkehrsdaten und verkehrsrelevante Daten integriert und innovative computergestützte quantitative Analysemethoden entwickelt. Anhand konkreter Anwendungsfälle werden die Möglichkeiten neuer verkehrswirtschaftlicher Instrumentarien exemplarisch demonstriert.





## Ausgangslage und Ziel

In der ersten Innovationsphase des BMDV-Expertennetzwerks konnte ein Bedarf für eine schnelle und möglichst präzise Quantifizierung von verkehrlichen Wirkungen identifiziert werden. Beispielsweise ergeben sich durch extreme Wetterereignisse oder Baumaßnahmen Veränderungen der Verkehrsströme, die zeitnah zu bestimmen sind. Themenfeld 6 wurde hierfür 2020 neu gegründet und greift diese Bedarfe mithilfe der zur Verfügung stehenden Daten und weiterentwickelten Analysemethoden auf.

Das übergeordnete Ziel des Themenfeldes ist es, bestehende und neue Datensätze im Geschäftsbereich des BMDV zu nutzen und geeignete Methoden zur Quantifizierung von verkehrlichen Wirkungen durch aktuelle, zurückliegende oder zukünftige Veränderungen (z. B. durch Klimawandel, Baumaßnahmen, Sperrungen) zu entwickeln. Darüber hinaus werden bestehende Verkehrsstatistiken und Verkehrsverflechtungsmatrizen sowie Langfristverkehrsprognosen ergänzt.

Für Entscheidungsebenen im BMDV und seinen nachgeordneten Behörden entsteht ein hoher Nutzen, da ihnen

räumlich feinere und aktuellere Informationen als bisher über die Entwicklung des Verkehrs zur Verfügung gestellt werden. Die aufgebaute verkehrsträgerübergreifende Datenbasis, die damit einhergehenden verkehrswirtschaftlichen Kompetenzen und entwickelten digitalen Werkzeuge sollen dabei dem BMDV und den Behörden in seinem Geschäftsbereich auch über das BMDV-Expertennetzwerk hinaus zur Verfügung stehen und für konkrete praxisrelevante Fragestellungen genutzt werden können.

Zur Erreichung der beschriebenen Ziele wurden drei Handlungsfelder identifiziert, welche die Planungen im Themenfeld gliedern:

- Verkehrsdaten
- Methodenentwicklung
- Exemplarische verkehrswirtschaftliche Anwendungen

## Innovationsphase 2020–2025

Geleitet von den verkehrswirtschaftlichen Fragestellungen innerhalb des BMDV-Expertennetzwerks und im Geschäftsbereich des BMDV hat Themenfeld 6 eine Datensammlung mit funk- und satellitengestützten Verkehrs-



Transport und Technologie. - © metamorworks/stock.adobe.com



daten zum Güterverkehr auf den Verkehrsträgern Straße, Schiene und Wasserstraße aufgebaut. Die genutzten Daten werden kontinuierlich plausibilisiert und es ist ein Methodenbaukasten zur Verknüpfung der einzelnen Datensätze entwickelt. Diese Prozesse sind flexibel gestaltet, sodass zukünftige Datensätze oder verbesserte Evaluierungs- bzw. Verknüpfungsmethoden integriert werden können. Die Datensammlung ist durch weitere verkehrsrelevante Daten und aufbereitetes Kartenmaterial, z. B. für relevante Klimawirkungen (Zusammenarbeit mit Themenfeld 1) vervollständigt.

Basierend auf diesen Daten sind Werkzeuge entwickelt, um verkehrswirtschaftliche Zusammenhänge zu erfassen. Dabei kommen neu entwickelte computerbasierte Analysemethoden zum Einsatz. Indikatoren zur frühzeitigen Beurteilung von Entwicklungstendenzen im Güterverkehr sind etabliert. Zusätzlich ist das analytische Instrumentarium mit Verkehrsmodellen für einzelne Verkehrsträger erweitert. Es sind mögliche Schnittstellen zwischen den Verkehrssimulationsmodellen zur verkehrsträgerübergreifenden Betrachtung identifiziert.

Mit den aufbereiteten Daten und entwickelten Methoden sind exemplarische verkehrswirtschaftliche Analysen und Auswertungen durchgeführt. Die Auswahl von Fallbeispielen erfolgt im engen Austausch mit dem BMDV. So sind kurzfristige Verlagerungen des Güterverkehrs und weitere Verkehrswirkungen bei zurückliegenden Ereignissen quantifiziert, um Rückschlüsse für zukünftige Ereignisse ziehen zu können.

Verkehrsstatistiken, Verkehrsverflechtungsmatrizen und Langfristverkehrsprognosen sind mit der neu erzeugten Datengrundlage ergänzt. Beispielsweise sind verkehrsrelevante Daten (z. B. Pegelstand, Temperatur, Niederschlag) hinsichtlich ihrer Zusammenhänge mit Güterverkehrsströmen untersucht. Darüber hinaus ist ein Beitrag zur Kritikalitätsanalyse der Verkehrsinfrastruktur in Deutschland geleistet. So können fundierte Planungs- und Analysewerkzeuge dem BMDV und den nachfolgenden Behörden bereitgestellt werden.

## Innovationsphase 2026–2030

Aufbauend auf den Ergebnissen und Erkenntnissen der Innovationsphase 2020–2025 ist die verkehrsträgerübergreifende Sammlung und Aufbereitung von verkehrlichen und verkehrsrelevanten Daten weitergeführt. Dabei ist die Datenbasis in Raumtypen eingegliedert und um Informationen zu Güterarten und zum Personenverkehr ergänzt. Darüber hinaus sind Routinen zur Datenpflege, Qualitätssicherung und Plausibilisierung für die Praxisanwendung entwickelt. Es existieren abgestimmte Standards, die verkehrsträgerübergreifend Geltung haben und neue Datenquellen und -typen aus möglichen Zukunftstechnologien konzeptionell berücksichtigen.

Die Forschungsarbeiten in Themenfeld 6 ermöglichen es den am BMDV-Expertenetzwerk beteiligten Behörden, verkehrsbezogene Fragestellungen effizient und präzise zu beantworten. Hierzu sind beispielsweise Werkzeuge zur Verknüpfung von Verkehrssimulationsmodellen oder Quell-Ziel-Analysen etabliert. Konzepte für Echtzeitschätzungen wetterbedingter Änderungen der Verkehrsnachfrage und der Verkehrsströme sind erarbeitet. Die Zusammenführung von Wetter- und Verkehrsdaten wird auch hinsichtlich möglicher Warnsysteme (Impact-Based Warnings) geprüft. Um bisher verborgene Muster, Zusammenhänge und langfristige Trends im Verkehr zu identifizieren, sind neben der Einbindung neuer Datenquellen und der Weiterentwicklung von Methoden auch aktuelle Entwicklungen aus den Bereichen Big Data, Data Mining und künstliche Intelligenz berücksichtigt.



Datenstrom durch Glasfaserkabel.  
© Alexander Limbach/stock.adobe.com

Zur Veranschaulichung der in Themenfeld 6 gesammelten Daten und entwickelten Werkzeuge sind Analysen zu exemplarischen verkehrswirtschaftlichen Anwendungsfällen durchgeführt. Dabei kommen sowohl ex-post-Betrachtungen als auch Simulationsmodelle zum Einsatz. Die Berechnungen von Korrelationen und kausalen Zusammenhängen umfassen neben dem Güterverkehr nun auch den Personenverkehr. Die innerhalb des BMDV-Experten-

netzwerks erarbeiteten Erkenntnisse zu den Folgen des Klimawandels auf das Verkehrssystem und weitere Wirkzusammenhänge können in die Langfristverkehrsprognosen integriert werden. Ebenfalls ist geprüft, inwiefern für den Verkehrssektor relevante sozioökonomische Entwicklungen sowie zukünftige Verkehrskonzepte und -technologien mithilfe der neuen Daten und Werkzeuge exemplarisch besser erfasst werden können.

## Roadmap für das Themenfeld 6

Handlungsfelder	Innovationsphase 2020–2025	Innovationsphase 2026–2030
Verkehrsdaten	<p>Die Sammlung, Aufbereitung und Plausibilisierung von verkehrlichen und verkehrsrelevanten Datensätzen zum Güterverkehr basierend auf aktuell verfügbaren Daten ist vorangetrieben. Die Datenformate, Aggregationsebenen, Datenaustauschplattformen und Schlüsselvariablen zur Verknüpfung von Datensätzen sind festgelegt.</p> <p>Aktuell vorhandene funk- und satellitengestützte Verkehrsdaten sowie weitere verknüpfbare Datensätze sind auf aggregierter Ebene zu einer exemplarischen behördenübergreifenden Datenbasis zusammengeführt. Geeignete Schnittstellen zur fallbezogenen Verknüpfung der Daten sind etabliert. Aktuelles Daten- und Kartenmaterial für relevante Klimawirkungen ist aufbereitet.</p>	<p>Neue verfügbare Datenquellen sind verkehrsträgerübergreifend gesammelt und aufbereitet. Die Verknüpfung von funk- und satellitengestützten Daten zum Güterverkehr mithilfe geeigneter Schnittstellen ist praxisreif entwickelt und zukünftig erweiterbar. Sofern Daten zu Güterarten und zum Personenverkehr zur Verfügung stehen, sind diese exemplarisch ergänzt. Der zusammengetragene Datensatz zum Güterverkehr ist durch aktuell vorliegende Mobilitätskennziffern ergänzt.</p> <p>Die Datenbasis ist in verschiedene Raumtypen eingegliedert, um kleinräumigere Auswertungen in Form von Fallstudien zu ermöglichen. Routinen zur Datenpflege, Qualitätssicherung und Plausibilisierung, basierend auf aktuellen Erkenntnissen, stehen der Praxisanwendung zur Verfügung. Abgestimmte Standards haben verkehrsträgerübergreifend Geltung.</p> <p>Neue Datenquellen und -typen aus Zukunftstechnologien, wie einer Datenerfassung in Echtzeit, einer vernetzten Infrastruktur, dem (teil-)automatisierten Fahren oder Drohnen sind konzeptionell eingebunden.</p>
Methodenentwicklung	<p>Technische und fachliche Grundlagen sowie Analyseverfahren für tiefergehende Auswertungen der Daten sind nach aktuellem Stand erarbeitet bzw. weiterentwickelt. Dabei sind routinemäßige Arbeitsabläufe und methodische Ansätze zur zielgenauen und effizienten Durchführung von verkehrlichen Auswertungen entwickelt. Erste Indikatoren zur frühzeitigen Beurteilung von Änderungstendenzen des Güterverkehrs sind entwickelt und stehen exemplarisch zur Verfügung.</p> <p>Werkzeuge für Verkehrsmodellierungen einzelner Verkehrsträger (Binnenschifffahrt und Straße) stehen zur Anwendung bereit. Die Funktionsprüfung von Schnittstellen zwischen den Verkehrssimulationsmodellen zur verkehrsträgerübergreifenden Betrachtung ist abgeschlossen.</p>	<p>Die computergestützten zeitlich und räumlich differenzierten Analyseverfahren für den Güterverkehr sind für alle Verkehrsträger spezifiziert und soweit möglich auf den Personenverkehr ausgeweitet. Die im BMDV-Expertenetzwerk beteiligten Behörden können verkehrsbezogene Fragestellungen durch automatisierte Datenanalysen effizient und präzise beantworten. Quelle-Ziel-Analysen sind durchführbar und sollen nach Möglichkeit um Warenströme ergänzt werden. Es ist geprüft, inwiefern Verkehrssimulationsmodelle für die Beantwortung von verkehrsträgerübergreifenden Fragestellungen beispielhaft herangezogen werden können. Die entwickelten Analyseverfahren stehen für vielfältige fachliche Fragestellungen innerhalb des BMDV-Expertenetzwerks bereit oder sind anpassbar.</p>



Handlungsfelder	Innovationsphase 2020–2025	Innovationsphase 2026–2030
Methodenentwicklung		<p>Die Bereitstellung einer Echtzeitabschätzung von wetterbedingten Änderungen bzw. Verschiebungen der Verkehrsnachfrage und der Verkehrsströme ist konzeptionell entwickelt. Die Möglichkeit einer Bereitstellung von Warnungssystemen (Impact-Based Warnings) für den Verkehrssektor durch den Einfluss des Wetters ist geprüft.</p> <p>Die Methodenentwicklung ist konzeptionell auf die zu erwartenden neuen Datenquellen und -typen durch (teil-)automatisierte Systeme, Drohnen und eine vernetzte Infrastruktur erweitert. Systematische Analysen von großen Datenbeständen (Big Data) mithilfe erweiterter statistischer Methoden (z. B. Data Mining) sind konzeptionell erarbeitet. Es ist geprüft, inwiefern der Methodenkatalog um weitere innovative computergestützte Analysemethoden (z. B. künstliche Intelligenz, Neuronale Netze) erweitert werden kann, um bisher verborgene Muster, Zusammenhänge und längerfristige Trends zu identifizieren.</p>
Exemplarische verkehrswirtschaftliche Anwendungen	<p>Basierend auf den gesammelten und aufbereiteten Daten sowie den entwickelten Methoden bestehen vielfältige Anwendungsmöglichkeiten. Dahingehend sind exemplarische verkehrswirtschaftliche Analysen und Auswertungen durchgeführt. Kurzfristige Verlagerungen des Güterverkehrs und weitere Verkehrswirkungen bei zurückliegenden Ereignissen sind beispielhaft quantifiziert.</p> <p>Des Weiteren sind Verkehrsstatistiken und Verkehrsverflechtungsmatrizen mit geeigneten Verkehrsdaten ergänzt. Korrelationen und kausale Zusammenhänge zwischen verkehrlichen und verkehrsrelevanten Kennzahlen (z. B. Pegelstand, Temperatur, Niederschlag) sind exemplarisch untersucht. Integrierte Datensätze sind für eine Schätzung des nichtmautpflichtigen Straßenverkehrs genutzt.</p>	<p>Zur Veranschaulichung der neuen Daten und Analysemöglichkeiten werden einzelne verkehrswirtschaftliche Fragestellungen betrachtet. Verkehrsrelevante hypothetische Ereignisse sind exemplarisch mithilfe von Simulationsmodellen ausgewertet. Weitere Korrelationen und kausale Zusammenhänge zwischen verfügbaren verkehrsträgerübergreifenden Daten des Personen- und Güterverkehrs und verkehrsrelevanten Kennzahlen (z. B. Pegelstand, Temperatur, Niederschlag) sind ermittelt. Fragestellungen aus vielfältigen Fachrichtungen innerhalb des BMDV-Expertennetzwerks sind exemplarisch mithilfe von ex-post-Analysen und Simulationsmodellen für Güter- und Personenverkehr beantwortbar.</p>

Handlungsfelder	Innovationsphase 2020–2025	Innovationsphase 2026–2030
Exemplarische verkehrswirtschaftliche Anwendungen	Langfristverkehrsprognosen können mit der neu erzeugten Datengrundlage angereichert werden. Erkenntnisse zu den Folgen des Klimawandels können teilweise in die Langfristverkehrsprognosen integriert werden. Die Kritikalitätsanalysen anderer Themenfelder werden unterstützt, indem funk- und satellitengestützte Daten für die Binnenschifffahrt ausgewertet werden.	Aktuelle Erkenntnisse zu den Folgen des Klimawandels und weiterer Wirkzusammenhänge können in die Langfristverkehrsprognosen integriert werden. Mithilfe der neu entwickelten Analyseverfahren sollen für den Verkehrssektor relevante gesellschaftliche Trends bzw. sozioökonomische Entwicklungen (z. B. veränderte Verkehrsbedarfe durch Digitalisierung der Arbeitswelt und Urbanisierung, veränderte Warenströme durch 3D-Druck, veränderte Brennstoffbedarfe und Online-Handel) und zukünftige Verkehrskonzepte und -technologien (z. B. autonomes Fahren, Drohnen, Platooning, Intelligente Verkehrssteuerung) hinsichtlich ihrer verkehrlichen Auswirkungen exemplarisch besser erfasst werden.

Die Roadmap des BMDV-Expertennetzwerks „Wissen – Können – Handeln“ wurde durch die Themenfelder 1 bis 6 in Zusammenarbeit mit der Gesamtkoordination und der Geschäftsstelle sowie in Abstimmung mit der Lenkungsgruppe des Netzwerks verfasst. Stellvertretend für alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des BMDV-Expertennetzwerks sind nachfolgend genannt:

#### **Gesamtkoordination des BMDV-Expertennetzwerks**

Dr. Anja Baum (BASt), Michael Cox (BALM), Claus Goebels (BALM), Dr. Stephanie Hänsel (DWD), Dr. Frank Kaspar (DWD), Claus Kunz (BAW), Markus Reinhardt (DZSF/EBA), Eckard Roll (DZSF/EBA), Sophie Rüd (BAW), Dr. Stefan Schmolke (BSH), Dr. Franz Schöll (BfG), Prof. Dr. Thomas Ternes (BfG)

#### **Stellvertretend für die Themenfelder (TF)**

- TF1: Dr. Stephanie Hänsel (DWD), Dr. Lara Klippel (DWD)
- TF2: Dr. Franz Schöll (BfG), Dr. Sebastian Flues (BfG)
- TF3: Sophie Rüd (BAW), Pia Stejskal (BAW)
- TF4: Markus Reinhardt (DZSF/EBA), Dr. Ascelina Hasberg (DZSF/EBA), Sebastian Witzler (BALM)
- TF5: Dr. Frank Kaspar (DWD), Franziska Bär (DWD)
- TF6: Claus Goebels (BALM), Dr. Lisa May (BALM), Teresa Stahl (BALM)

#### **Redaktionsteam**

Dr. Sebastian Buchinger (BfG), Michael Cox (BALM), Dr. Daniel Esser-Heyden (BfG), Dr. Barbara Früh (DWD), Dr. Stephanie Hänsel (DWD), Mandy Hoyer (BfG), Dr. Lara Klippel (DWD), Anne-Farina Lohrengel (BASt), Dr. Sabrina Michael (DZSF/EBA), Dr. Andreas Walter (DWD), Matthias Wunsch (BSH)

## **Impressum**

#### **Herausgeber**

Bundesministerium für Digitales und Verkehr  
Invalidenstraße 44  
10115 Berlin  
Internet: [www.bmdv.bund.de](http://www.bmdv.bund.de)  
E-Mail: [poststelle@bmdv.bund.de](mailto:poststelle@bmdv.bund.de)

#### **Kontakt**

Prof. Dr. Thomas Ternes (BfG)  
Leiter der Gesamtkoordination des BMDV-Expertennetzwerks  
[BMDV-expertennetzwerk@bafg.de](mailto:BMDV-expertennetzwerk@bafg.de)  
[www.bmdv-expertennetzwerk.bund.de](http://www.bmdv-expertennetzwerk.bund.de)

#### **Stand**

Januar 2023

#### **Gestaltung | Druck**

Bundesministerium für Digitales und Verkehr  
Referat Z 21, Druckvorstufe | Hausdruckerei

#### **Bildnachweis**

Titelseite: Der Rhein bei Oberwesel. Verkehr auf Schiene, Straße und Wasserstraße.  
- © Daniel Esser-Heyden (BfG)  
Seite 10-11: © Moorefam/Getty Images  
Seite 18-19: © (BAW)  
Seite 24-25: Moselbrückenpanorama in Zeltingen. - © Markus Mainka/stock.adobe.com  
Seite 30-31: © metamorworks/stock.adobe.com  
Seite 36-37: Solarmodule auf Grünlandflächen. - © Thomas Winz/Getty Images  
Seite 42-43: Logistik mit Transport und Lagerung von Gütern. - © gopixa/stock.adobe.com

Diese Broschüre ist Teil der Öffentlichkeitsarbeit der Bundesregierung.  
Sie wird kostenlos abgegeben und ist nicht zum Verkauf bestimmt.





