

Deutsches Zentrum für
Schienenverkehrsforschung beim



Eisenbahn-Bundesamt

Jahresbericht 2022

Impressum

HERAUSGEBER

Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahn-Bundesamt

August-Bebel-Straße 10
01219 Dresden

www.dzsf.bund.de

BILDNACHWEIS

S. 3: Günther Fotodesign Leipzig, S. 4: unsplash/Onur K., S. 6: unsplash/Gantumur Delgerdalai, S. 17: unsplash/Tom Grünbauer, S. 18: unsplash/Adam Borkowski, S. 37: unsplash/Markus Spiske, S. 47: unsplash/Markus Spiske, S. 48: pixabay/Bruno Germany, S. 56: pixabay/Michael Gaida, S. 60: unsplash/David Herron, S. 62: unsplash/Yulian Alexeyev, andere: Siehe Bildunterschriften.

PUBLIKATION ALS PDF

https://www.dzsf.bund.de/DZSF/DE/Infothek/Jahresberichte_Flyer_Broschueren/jahresberichte_flyer_node.html

Dresden, März 2023

Liebe Leserin, lieber Leser,

auch am Deutschen Zentrum für Schienenverkehrsforschung blicken wir auf ein ereignisreiches Jahr 2022 zurück. Die vergangenen drei Jahre wurden natürlich stark durch den Organisationsaufbau und die Corona-Pandemie beeinflusst. Im vierten Jahr unseres Bestehens konnten wir erstmals so etwas wie Normalbetrieb erleben. In unseren Büros in Dresden und Bonn arbeiteten die Kolleginnen und Kollegen



wieder vor Ort zusammen – eine wichtige und motivierende Ergänzung zu unseren Videokonferenzen. Im Mai 2022 haben wir uns in einer zweitägigen Klausurtagung erstmals in voller Besetzung persönlich getroffen und intensiv miteinander gearbeitet.

Endlich konnten wir einige Veranstaltungen hybrid oder sogar vor Ort durchführen. Zusammen mit verschiedenen Onlineformaten, einer Fachtagung zur Begleitforschung rund um das 9-Euro-Ticket oder dem Forschungsworkshop zur Schienenverkehrsforschung blicken wir auf ein Veranstaltungsprogramm zurück, durch das wir uns an vielen Stellen mit der Branche austauschen und viele wichtige Impulse für unsere weitere Arbeit mitnehmen konnten.

Ein wichtiger Meilenstein im vergangenen Jahr war die Evaluation durch den Wissenschaftsrat. Die Vorbereitung der Begehung hat unsere Arbeit Anfang des Jahres sehr geprägt. Ende März präsentierten wir unsere Arbeit und die laufenden Forschungsprojekte der Arbeitsgruppe des Evaluationsausschusses – leider aufgrund der Pandemielage nur digital. Im Oktober wurde der Evaluationsbericht veröffentlicht, der uns für unsere weitere Arbeit sehr motiviert: Aus Sicht des Wissenschaftsrats leisteten wir bislang gute Aufbauarbeit und haben eine große Bedeutung für die angestrebte Mobilitätswende. Damit haben wir Rückenwind für den weiteren Ausbau des DZSF!

Ein Höhepunkt des Jahres war die erste InnoTrans-Messe seit Bestehen des DZSF. Zum ersten Mal konnten wir unsere Arbeit einem breiten Fachpublikum präsentieren und viele neue Kontakte in die Branche knüpfen. Wir haben die Messe auch genutzt, um unser internationales Netzwerk auszubauen: Mit dem Korean Railroad Research Institute und dem polnischen Instytut Kolejnictwa wurden Vereinbarungen zur zukünftigen Zusammenarbeit abgeschlossen.

Im letzten Jahr konnte ich an dieser Stelle resümieren, dass das DZSF in der Schienenverkehrsforschung angekommen ist. Ein Jahr später möchte ich ergänzen: Wir konnten uns an der Schnittstelle zwischen Wirtschaft, Wissenschaft und Politik etablieren und blicken der Zusammenarbeit mit dem Bundesverkehrsministerium, dem Schienenverkehrssektor und der Wissenschaft voller Erwartung auf das gemeinsame Engagement für die Stärkung des Schienenverkehrs entgegen!

Eine interessante Lektüre wünscht Ihnen

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'C. Salander'.

Prof. Dr.-Ing. Corinna Salander, Direktorin des DZSF (bis Januar 2023)



Inhalt

| | |
|--|-----------|
| Das DZSF | 7 |
| Ziele und Instrumente der Ressortforschung..... | 8 |
| Die Forschungsbereiche | 9 |
| Forschungsinfrastrukturen..... | 13 |
| Evaluation durch den Wissenschaftsrat..... | 15 |
| Wissenschaftlicher Beirat | 16 |
| Themen 2022 | 19 |
| Reaktivierung von Schienenstrecken | 20 |
| Prädiktive Instandhaltung..... | 23 |
| Vegetationsmanagement..... | 26 |
| Cybersecurity..... | 30 |
| Klimaschutz durch CO ₂ -basierte Materialien..... | 33 |
| Das Offene Digitale Testfeld | 35 |
| Das Netzwerk des DZSF | 39 |
| BMDV-Expertennetzwerk..... | 40 |
| Internationale Zusammenarbeit | 44 |
| Veranstaltungen | 49 |
| Organisation | 57 |
| Ausblick 2023 | 61 |
| Anhang | 63 |



Das DZSF

Das Deutsche Zentrum für Schienenverkehrsforschung (DZSF) beim Eisenbahn-Bundesamt ist die Ressortforschungseinrichtung für den Verkehrsträger Schiene im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV). Seit seiner Gründung im Mai 2019 forscht das DZSF als neutrale, unabhängige Denkfabrik des BMDV für die Weiterentwicklung des Schienenverkehrs.

Die Ressortforschung des DZSF ist lösungsorientiert, praxisnah und interdisziplinär ausgerichtet. Sie deckt ein breites Themenspektrum ab und ist eng mit der Wissenschaft und dem Bahnsektor vernetzt. Die Ressortforschung dient der wissenschaftsbasierten Politikberatung und der wissenschaftsbasierten Unterstützung der hoheitlichen Aufgaben des Bundes. Am Hauptsitz in Dresden sowie am Standort Bonn arbeiten insgesamt über 60 Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen.

Das DZSF

- berät das BMDV wissenschaftlich fundiert in allen Fragen des Schienenverkehrs. Es stellt Entscheidungshilfen zu wichtigen Fragen des Regierungshandelns bereit.
- koordiniert und fördert den Austausch und Wissenstransfer in der Schienenverkehrsforschung. Die Ergebnisse aus Forschung und Entwicklung werden veröffentlicht und stehen dem Sektor und der breiten Öffentlichkeit zur Verfügung.
- greift neben mittel- und langfristigen Forschungsthemen dringende aktuelle Fragestellungen in seiner Ressortforschungsarbeit auf.
- wirkt bei der nationalen und europäischen Standardisierung mit.
- identifiziert Forschungsbedarfe und entwickelt Forschungsthemen weiter. Die Steuerung der Forschungsaktivitäten stellt sicher, dass Haushaltsmittel wirtschaftlich und zielorientiert eingesetzt werden.
- forscht neutral und unabhängig. Das DZSF verfügt über wissenschaftlich fundierte Expertise. Die Leitlinien der guten wissenschaftlichen Praxis werden eingehalten.

Ziele und Instrumente der Ressortforschung

Die Ressortforschung ist ein eigenständiger Teil des deutschen Wissenschaftssystems, insbesondere der wissenschaftsbasierten Politikberatung. Die Forschungsergebnisse sind öffentlich zugänglich, z. B. durch Publikationen und Veranstaltungen. Das DZSF kann für seine Aufgaben als Ressortforschungseinrichtung verschiedene Instrumente nutzen: eigene Forschungsaktivitäten, die Vergabe von Forschungsaufträgen an Dritte und Drittmittelforschung. Außerdem nimmt das DZSF Aufgaben des Eisenbahn-Bundesamts in der Steuerung und Durchführung für einzelne Förderrichtlinien wahr.

Eigene Forschungsaktivitäten und Auftragsforschung

Das DZSF führt die Ressortforschung durch eigene Forschungsaktivitäten, teilweise in Kooperation mit anderen Forschungseinrichtungen, durch. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des DZSF decken hierzu ein breites Themenspektrum und unterschiedliche Fachdisziplinen ab, um den vielfältigen Fragestellungen zur Weiterentwicklung des Verkehrssystems Schiene gerecht zu werden.

Ergänzend werden Themen und Aufgaben, die durch eigene Forschung nicht abgedeckt werden können, als Forschungs- und Entwicklungsaufträge (FuE) an wissenschaftlich arbeitende Einrichtungen und Personen vergeben. Das DZSF definiert die Ziele der Projekte und steuert diese fachlich. Diese Form der Ressortforschung wird als Auftragsforschung oder extramurale Forschung bezeichnet. Die Übersicht aller Projekte aus dem Jahr 2022 findet sich im Anhang (siehe Forschungsprojekte).

Forschungsförderung und Bewilligungsbehörde

Die Forschungsförderung dient der Entwicklung neuer Technologien und erfolgt im Rahmen von Förderrichtlinien, die, inhaltlich abgegrenzt, offen sind für die Kreativität der Antragsteller. Die Forschungsförderung richtet sich an Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Universitäten. Die Forschungsergebnisse und Entwicklungen sollen anwendungsorientiert sein und sich am Bedarf des Markts ausrichten. Das Element der Forschungsförderung wird perspektivisch stärker für die Umsetzung des Bundesforschungsprogramms Schiene genutzt werden.

Das Eisenbahn-Bundesamt (EBA) ist Bewilligungsbehörde für die Förderrichtlinie zur Förderung von Innovationen im Schienengüterverkehr (Z-SGV). Das DZSF informiert und berät im Auftrag des BMDV zu den Fördermöglichkeiten sowie der Beantragung und wickelt die Bereitstellung und zweckgemäße Verwendung der Fördermittel ab. Hierzu gehört auch die Bewertung der Förderanträge für die Erprobung und Markteinführung innovativer Technologien des Schienengüterverkehrs in den Bereichen Digitalisierung, Automatisierung und Schienenfahrzeugtechnik. Die Förderperiode bezieht sich aktuell auf den Zeitraum vom 20.05.2020 bis 31.12.2024.

Die Forschungsbereiche

Das DZSF ist als eigenständiges Bundesinstitut beim Eisenbahn-Bundesamt (EBA) angesiedelt. Der Präsident des EBA nimmt im Einvernehmen mit dem BMDV die Dienstaufsicht über das DZSF wahr. Die koordinierende Fachaufsicht wird durch das BMDV wahrgenommen.

Das Bundesforschungsprogramm Schiene definiert die Themenfelder Wirtschaftlichkeit, Umwelt und nachhaltige Mobilität sowie Sicherheit als Struktur für die Arbeit des DZSF. Das komplexe System Bahn ist von vielen Interdependenzen geprägt: Digitalisierung, Automatisierung, Migration sowie rechtliche Fragestellungen sind Querschnittsthemen, die alle Themenfelder betreffen. Aufgabe des DZSF ist es, das Gesamtsystem Bahn einschließlich seiner Schnittstellen zu berücksichtigen.

Das DZSF gliedert sich in fünf Forschungsbereiche: Strategische Planung, Wirtschaftlichkeit, Umwelt und nachhaltige Mobilität, Sicherheit und Querschnittsthemen. Die Forschungsbereiche des DZSF sind interdisziplinär aufgestellt, um Projekte und Themen umfassend und unter Beteiligung der unterschiedlichen Fachdisziplinen zu bearbeiten.



Abbildung 1: Organigramm des DZSF: Forschungsbereiche und Bereichsleitungen. Quelle: DZSF.

Strategische Planung

Der Forschungsbereich Strategische Planung führt die strategische Forschungsplanung und das strategische Management der Forschungsarbeit im DZSF durch. Die Ziele der Bundesregierung, der strategische Ressortforschungsrahmen des BMDV sowie das Bundesprogramm Schiene bilden den Rahmen für die kurz-, mittel- und langfristige Forschungsplanung des DZSF. Internationale Bezüge werden ebenso berücksichtigt wie der einheitliche europäische Eisenbahnraum. Der Forschungsbereich Strategische Planung koordiniert die internationale Vernetzung des DZSF, baut das Offene Digitale Testfeld und das LärmLab 21 auf und betreut die Förderrichtlinie Z-SGV.

Wirtschaftlichkeit

Der Forschungsbereich Wirtschaftlichkeit greift die grundsätzliche Fragestellung auf, wie der Schienenverkehr mit Hilfe technologischer Entwicklungen und durch staatliches Handeln effizienter werden kann. Ziel ist es, Schienenverkehr für Fahrgäste und in der Logistik attraktiv zu machen und damit den Anteil des Schienenverkehrs am Modal Split dauerhaft zu erhöhen. Mehr Güter- und Personenverkehr auf die Schiene zu verlagern, setzt voraus, dass der Transport bedarfsgerecht, zuverlässig und ökonomisch ist.

Die Verlagerung von Verkehr auf die Schiene erfordert die Steigerung entsprechender Kapazitäten im Schienennetz. Fehlende oder überlastete Strecken und Bahnhöfe sind relativ einfach einzuordnen, der Ausbau und Neubau von Strecken ist aber aufwändig und stößt oft auf Widerstand bei Anwohnerinnen und Anwohnern. Die Bestimmung der Nutzungsdauer der vorhandenen Schieneninfrastruktur ist ein weiterer Aspekt für die Kapazität im Schienennetz. Zentrale Forschungsthemen des Bereiches Wirtschaftlichkeit umfassen die optimierte Nutzung der vorhandenen Schieneninfrastruktur durch digitale Innovationen, eine verbesserte intermodale Verkehrssteuerung und die Digitalisierung von Lieferketten.

Umwelt und nachhaltige Mobilität

Die Forschungsarbeit des Bereiches Umwelt und nachhaltige Mobilität soll dazu beitragen, den Vorteil der Schiene als umweltfreundlichsten Verkehrsträger zu festigen und gegenüber anderen Verkehrsträgern auszubauen. Um das Ziel einer deutlich reduzierten Umweltbelastung bei gleichzeitig steigenden Mobilitätsansprüchen von Bevölkerung und Wirtschaft zu erreichen, muss sich auch der Schienenverkehr den sich ändernden sozialen, technologischen und ökologischen Rahmenbedingungen stellen.

Der Forschungsbereich baut dazu ein bundesweites Umweltmessstellennetz auf, das Daten für das Boden- und Gewässermonitoring aufzeichnet. Auch für den Bereich Luftmonitoring werden Daten mit Ausbreitungsberechnungen bereitgestellt, die in einem ersten Untersuchungsprogramm erfasst werden.

Die Auswirkungen des Klimawandels und die Zunahme von Extremwetterereignissen auf den Verkehr und die Infrastruktur werden analysiert und verschiedene Anpassungsoptionen für die Schiene evaluiert. Für den verbesserten Natur- und Artenschutz untersucht der Forschungsbereich Möglichkeiten, um beispielsweise die heimische Biodiversität zu fördern und gebietsfremde Tier- und Pflanzenarten zu bekämpfen.

Nachhaltige Mobilität braucht ein gutes Verkehrsangebot. Die Wiederinbetriebnahme von zuvor stillgelegten Schienenstrecken stellt eine wichtige Möglichkeit dar, um den Schienenverkehr wieder in der Fläche zu etablieren, eine verbesserte Stadt-Umland-Anbindung zu ermöglichen und damit zur generellen Verkehrsverlagerung beizutragen.

Sicherheit

Im Forschungsbereich Sicherheit sind der Erhalt und die Weiterentwicklung des bestehenden Sicherheitsniveaus im Bahnsystem die übergreifenden Ziel der Forschungsaktivitäten. Eng vernetzt ist dieses Ziel mit den anderen DZSF-Forschungsbereichen Wirtschaftlichkeit, Umwelt und nachhaltige Mobilität oder Digitalisierung, Automatisierung und Migration.

Die Digitalisierung und die Automatisierung sind zentrale Treiber für eine Modernisierung der Leit- und Sicherungstechnik. Gleichzeitig erfordert die Umsetzung von Innovationen im Bereich Sicherheit der Eisenbahn eine durchdachte Migrationsstrategie, um Kompatibilitätsprobleme zu vermeiden und zudem dem Wirtschaftlichkeitsgebot zu genügen. Eine zentrale Rolle in diesem Zusammenwirken spielt der Mensch. Um die Sicherheit im Schienenverkehr zu gewährleisten und weiter auszubauen, müssen neben regulatorischen und technischen Maßnahmen zunehmend auch menschliche und organisatorische Faktoren adressiert werden.

Die zunehmende Vernetzung und Digitalisierung der Systeme schafft neue Angriffsmöglichkeiten für aggressivere und komplexere, cyber-physische Angriffe auf diese Systeme. Die Absicherung gegen solche Angriffe erfordert ein beständiges Reagieren und prognostische Weitsicht bei der Identifizierung, Erforschung und Schließung entsprechender Sicherheitslücken. Die Forschung im Bereich Cybersecurity etabliert sich daher als Daueraufgabe.

Querschnittsthemen

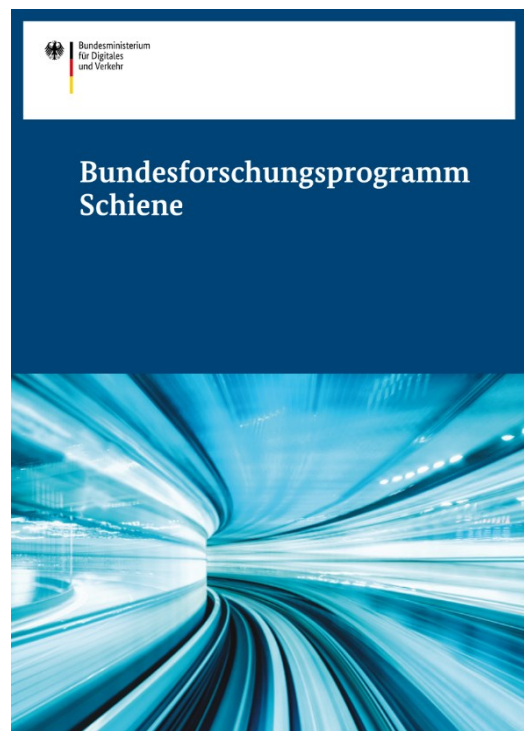
Digitalisierung, Automatisierung, Migration und Recht

Der Forschungsbereich Querschnittsthemen befasst sich mit den vielfältigen Forschungsfragen zur Digitalisierung. Grundlage die Anwendung digitaler Technologien im Bahnsektor ist die Entwicklung einer verfügbaren und verlässlichen Datenbasis für das Bahnsystem. Die Verbesserung dieser Daten ist eine wesentliche Aufgabe des Forschungsbereichs. Der Forschungsbereich befasst sich insbesondere auch mit der Einführung digitaler und datenbasierter Instandhaltungsstrategien, um die Planbarkeit von Instandhaltungsmaßnahmen zu erhöhen und Ausfallrisiken von Infrastruktur und Fahrzeugen zu reduzieren.

Forschungsfragen des Fahrbetriebs mit höheren Automatisierungsgraden sind ein weiterer Schwerpunkt des Forschungsbereichs. Die Herausforderung in diesem Bereich besteht aktuell darin, Erfahrungen aus Inselbetrieben auf offene Netzstrukturen mit vielfältiger Fahrzeugnutzung im Mischbetrieb zu übertragen. Voraussetzung dafür ist eine angepasste Sensorik, um die Anforderungen zur Fahrweg-, Hindernis- und Positionserkennung zu erfüllen. Zudem sind regulative Fragestellungen zur Festlegung von Sicherheitskennwerten für die Regel- und Rückfallfunktionen beim hochautomatisierten Fahrbetrieb zu klären. Der Forschungsbereich entwickelt außerdem Ansätze zur Migration von Forschungsergebnissen und Innovationen in die betriebliche Praxis.

Das Bundesforschungsprogramm Schiene

Das Bundesforschungsprogramm Schiene ist das eigenständige Forschungsprogramm des Bundes für den Schienenverkehr. Es beschreibt den Forschungs- und Entwicklungsbedarf des gesamten Verkehrsträgers: Personen- und Güterverkehr, Infrastruktur und Fahrzeuge. Mit dem Bundesforschungsprogramm Schiene setzt das Bundesministerium für Digitalisierung und Verkehr (BMDV) wichtige Ziele und Meilensteine in der Schienenverkehrsforschung für die nächsten Jahre. Das Programm ordnet die Forschungsthemen den drei zentralen Zielen Wirtschaftlichkeit, umweltverträgliche und nachhaltige Mobilität sowie Sicherheit zu. Für das DZSF bildet es den übergeordneten fachlichen Rahmen für die Forschungsarbeit. Über die Aktivitäten des DZSF hinaus gibt das Bundesforschungsprogramm einen Überblick über die derzeitigen Forschungsvorhaben des BMDV und der anderen Bundesressorts mit Bezug zum Schienenverkehr.



Forschungsinfrastrukturen

Forschungsinfrastrukturen, wie beispielsweise Messeinrichtungen, Labore und Reallabore, unterstützen die Ressortforschungsarbeit des DZSF. Erprobungen im Realbetrieb fördern die Überführung von Innovationen in die Bahnpraxis wesentlich. Im Jahr 2022 hat das DZSF die eigene Forschungsinfrastruktur weiter ausgebaut: das Offene Digitale Testfeld und LärmLab21, das ETCS-Labor und das Cybersicherheitslabor sowie das Umweltmessstellennetz.

Das Offene Digitale Testfeld und LärmLab21

Das DZSF errichtet das Offene Digitale Testfeld (ODT) zwischen Halle (Saale), Cottbus und Niesky und nutzt dafür das Streckennetz dieser Region für Erprobungen im Realbetrieb. Aufgrund der Vielseitigkeit von Streckennetz und Umgebung können umfangreiche Versuchsbedingungen bereitgestellt werden. So können Fragestellungen erforscht werden, die auf existierenden Testeinrichtungen nicht umsetzbar sind. Das DZSF schafft damit spezielle Erprobungsmöglichkeiten und Kapazitäten für die gesamte Schienenverkehrsforschung. Nach der Aufbauphase wird das ODT dem Sektor als unabhängige Testinfrastruktur für Wirtschaft und Wissenschaft zur Verfügung stehen (siehe S. 35 ff.).

Fester Bestandteil des ODT ist das LärmLab 21, in dem zur wirksamen Reduzierung von Schall und Erschütterungen geforscht wird. Das LärmLab 21 bietet die Möglichkeit, innovative Techniken, wie z. B. neue geometrische Formen, besondere Materialien von Lärmschutzwänden oder Dämpfungsmaßnahmen gegen Erschütterungen zu erproben und weiterzuentwickeln.

ETCS-Labor

Das ETCS-Labor (ETCS = European Train Control System, deutsch: Europäisches Zugbeeinflussungssystem) ist ein Simulationslabor, mit dem die Interaktion verschiedener Komponenten der Leit- und Sicherungstechnik mit Fahrzeugen und Schieneninfrastruktur durch simulierte Streckenfahrten untersucht und geprüft werden kann; zeit- und kostenintensive reale Testfahrten sollen ersetzt werden. Das ETCS-Labor wird als neutrale und unabhängige Laborumgebung in enger Kooperation zwischen DZSF und EBA aufgebaut, an den Standorten des EBA in München und des DZSF in Dresden.

Das ETCS-Labor soll zur Lösung von Kompatibilitätsfragen und zur Überprüfung der Funktionsweise von Komponenten eingesetzt werden. Weitere geplante Einsatzszenarien sind: Weiterentwicklung von Komponenten und Schnittstellen, Unterstützung von Standardisierungen, Durchführung von sicherheitskritischen Tests im virtuellen Raum, Optimierung der Zulassungsprozesse und Schulungs- und Trainingsmaßnahmen.

Cybersecurity-Labor

Als wichtige Säule für die Arbeit zu Cybersecurity baut das DZSF ein Cybersecurity-Labor auf. Damit werden in diesem Bereich die Grundlagen für die Ausweitung der Eigenforschung gelegt. Das Labor besteht aus einer flexibel konfigurier- und einsetzbaren IT-Infrastruktur. Es soll das Security-Testing von Sicherheitslösungen für den Bahneinsatz ermöglichen. Weiterhin sollen im Labor Netzwerke der Leit- und Sicherungstechnik simuliert, Softwarelösungen entwickelt und getestet sowie Planungsdokumente validiert werden können. Auch eine Verknüpfung mit Laboren anderer Lehr- und Forschungseinrichtungen einerseits, aber auch Laboren der Bahnbetreiber und Hersteller andererseits wird angestrebt, um Forschungsfragen zu beantworten, die mit dem DZSF-Cybersecurity-Labor allein nicht bearbeitet werden können.

Umweltmessstellennetz

Das DZSF baut ein bundesweites Messstellennetz auf, um ein Umweltmonitoring-Programm für verschiedene Emissionen aus dem Schienenverkehr durchzuführen. An zunächst fünf Dauermessstellen werden die Niederschlagswasserabflussmenge, die Schadstoffbelastung und deren Ausbreitung im Gleiskörper, Grundwasser und Boden ermittelt. Die Messstellen liegen an Hauptverkehrsachsen und repräsentieren unterschiedliche klimatische Bedingungen und Naturräume innerhalb Deutschlands. Schwerpunkte der Untersuchungen liegen im Gewässer- und Bodenschutz, dabei werden auch Fragestellungen zu Abrieb und Mikroplastik untersucht. Die Forschungsergebnisse und die empirischen Daten unterstützen das EBA bei der Durchführung der Umweltaufsicht sowie bei der Durchführung wasserrechtlicher Genehmigungsverfahren.



Abbildung 2: Umweltmessstelle am Standort Weinböhl. Quelle: Beak, 2022.

Evaluation durch den Wissenschaftsrat

Die Ressortforschungseinrichtungen des Bundes werden regelmäßig durch den Wissenschaftsrat (WR) evaluiert. Die Empfehlungen des WR dienen der Stärkung der wissenschaftlichen Qualität der Einrichtungen und der Verbesserung des Austauschs mit den Hochschulen.

Der Wissenschaftsrat hat die Evaluierung des DZSF nach einer rund einjährigen Prüf- und Bewertungsphase im Oktober 2022 abgeschlossen. Die Fragestellung der organisatorischen Anbindung des DZSF beim Eisenbahn-Bundesamt stand im Zentrum der Evaluierung. Darüber hinaus hat der Wissenschaftsrat die bisherige wissenschaftliche Leistung des DZSF als Ressortforschungseinrichtung des BMDV bewertet.

„Die Gründung des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung im Jahr 2019 zeigt, dass jetzt auch dieser Verkehrsträger stärker ins Blickfeld geraten ist. Das Zentrum selbst, das Bundesministerium für Digitales und Verkehr und das Eisenbahn-Bundesamt haben gemeinsam überzeugende Aufbauarbeit geleistet, die noch nicht beendet ist.“

Dorothea Wagner, Vorsitzende des Wissenschaftsrats

Der Wissenschaftsrat kommt zu einem positiven Ergebnis: Das DZSF erfüllt einen Auftrag von großer Bedeutung für die angestrebte Mobilitätswende. Die geleisteten Aufbauarbeiten der Leitung und des wissenschaftlichen Personals sind überzeugend. Das BMDV und das EBA haben gute Rahmenbedingungen für den zügigen Aufbau des DZSF geschaffen.

Der Wissenschaftsrat empfiehlt in seiner Stellungnahme, das DZSF zu einer leistungsfähigen Ressortforschungseinrichtung weiter auszubauen, deren personelle und finanzielle Ausstattung ihren Aufgaben sowie ihrer wachsenden Bedeutung entspricht. Die Voraussetzungen für gute wissenschaftliche Arbeit sollen weiter verbessert werden. Der Wissenschaftsrat empfiehlt dafür unter anderem den Ausbau der eigenen Forschungsarbeit, Maßnahmen zur Qualitätssicherung und intensivere Kooperationen mit anderen wissenschaftlichen Einrichtungen im In- und Ausland. Für die weitere Aufbauphase empfiehlt der Wissenschaftsrat, vorerst die organisatorische Anbindung des DZSF beim EBA beizubehalten.

Wissenschaftlicher Beirat

Der Wissenschaftliche Beirat des DZSF besteht aus acht Mitgliedern aus Wissenschaft und Forschung. Diese decken mit ihrer fachlichen Expertise alle Forschungsfelder des DZSF ab. Das Gremium tagt zweimal jährlich. Vorsitzende ist Prof. Dr. Martina Schraudner, stellvertretender Vorsitzender ist Prof. Dr.-Ing. Martin Cichon. Der Wissenschaftliche Beirat berät die mittel- und langfristige strategische Ausrichtung des Forschungsprogramms gemeinsam mit der Leitung des DZSF. Er setzt wissenschaftliche Impulse für die strategische und thematische Weiterentwicklung des Bundesforschungsprogramms Schiene und fördert die Zusammenarbeit des DZSF mit anderen Forschungseinrichtungen. Der Beirat sichert das hohe wissenschaftliche Niveau in der Arbeit des DZSF.

Mitglieder des wissenschaftlichen Beirates 2022

Prof. Dr.-Ing. Christine Ahrend

Technische Universität Berlin, Lehrstuhl für Integrierte Verkehrsplanung am Institut für Land und Seeverkehr (ILS); Vizepräsidentin für Forschung, Berufungsstrategie und Transfer

Prof. Dr.-Ing. Martin Cichon (stellvertretender Vorsitzender)

Technische Hochschule Nürnberg, Leiter des Instituts für Fahrzeugtechnik (IFZN); Sprecher des Forums der Hochschulprofessuren des Bahnwesens (FHB)

Prof. Dr. phil. Dr. iur. habil. Felix Ekardt

Universität Rostock, Professur für Öffentliches Recht und Rechtsphilosophie; Leiter der Forschungsstelle Nachhaltigkeit und Klimapolitik, Leipzig und Berlin

Prof. Dr.-Ing. Ulrike Meyer

RWTH Aachen University, Leiterin des Lehr- und Forschungsgebietes Informatik, IT-Sicherheit

Prof. Dr.-Ing. Christian Schindler

RWTH Aachen University, Direktor des Instituts für Schienenfahrzeuge und Transportsysteme (IFS); Sprecher der Vereinigung der Universitätsprofessuren des Eisenbahnwesens (VUE)

Prof. Dr. rer. nat. Martina Schraudner (Vorsitzende)

Technische Universität Berlin, Professur für Gender und Diversity in der Technik und Produktentwicklung am Institut für Maschinenkonstruktion und Systemtechnik (IMS); Leiterin des Fraunhofer Centers for Responsible Research and Innovation (CeRRI) am Fraunhofer IAO

Prof. Dr. habil. Wolfgang Schulz

Zeppelin Universität gGmbH Friedrichshafen, Lehrstuhl für Mobilität, Handel und Logistik

Prof. Dr.-Ing. Thomas Siefer

Technische Universität Braunschweig, Leiter des Instituts für Verkehrswesen, Eisenbahnbau und -betrieb (IVE)

Der Präsident des Eisenbahn-Bundesamtes, Gerald Hörster, sowie Dr. Jens Klocksinn als Vertreter des BMDV (bis Dezember 2022) sind ständige Gäste der Sitzungen des Wissenschaftlichen Beirates.





Themen 2022

Das DZSF bildet in seiner Arbeit ein weites Themenspektrum an interdisziplinärer Forschung für den Schienenverkehr ab. Im übergeordneten Rahmen der drei zentralen Forschungsfelder Wirtschaftlichkeit, umweltverträgliche und nachhaltige Mobilität sowie Sicherheit aus dem Bundesforschungsprogramm Schiene ist die Arbeit von Themen geprägt, die übergreifend auf mehrere dieser Ziele einzahlen. Im Folgenden werden für das Jahr 2022 fünf Themen vorgestellt:

- Reaktivierung von Schienenstrecken
- Prädiktive Instandhaltung
- Vegetationsmanagement
- Cybersecurity
- Klimaschutz durch CO₂-basierte Materialien

Außerdem wird ein Einblick in den weiteren Aufbau des Offenen Digitalen Testfelds in 2022 gegeben.

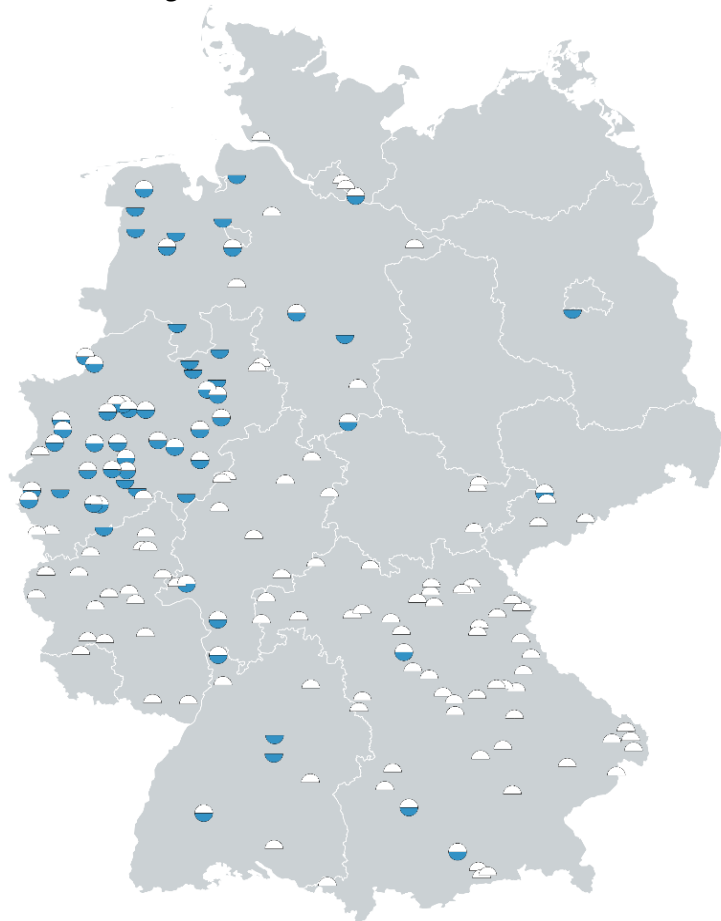
Reaktivierung von Schienenstrecken

Ein gut ausgebautes Streckennetz erleichtert den Zugang zum Bahnverkehr, erhöht die Kapazität und Resilienz des Gesamtnetzes und ist Voraussetzung für ein attraktives Verkehrsangebot. Dessen ungeachtet schrumpfte das deutsche Streckennetz seit den 1950er Jahren um 15.000 km, mehr als ein Viertel des Gesamtnetzes ging verloren. Erst seit Ende der 1990er Jahre ist das Streckennetz weitgehend konstant geblieben. An vielen Stellen, an denen Strecken nach der Stilllegung nicht entwidmet wurden, können Verbindungen reaktiviert werden.

Die Reaktivierung von Schienenstrecken kann die Schiene wieder zurück in die Fläche bringen. In Regionen mit Stadt-Umland-Verflechtungen können Reaktivierungen unterstützen, Pendelverkehre zu verlagern und eine nachhaltige Raumentwicklung fördern.

Dem politischen Ziel der nachhaltigen Raumentwicklung wird unter anderem mit dem Zentrale-Orte-Konzept Rechnung getragen. Zentrale Orte, Grund-, Mittel- und Oberzentren, erbringen wichtige Funktionen der Daseinsvorsorge für ihr Umland und tragen zur Unterstützung gleichwertiger Lebensverhältnisse bei.

Trotz dieses wichtigen Auftrags verfügen 15 % der deutschen Mittelzentren und 9 % der Gemeinden mit mehr als 20.000 Einwohnern über keinen Bahnanschluss auf ihrem Gemeindegebiet (Abbildung 3). Dabei leisten der Schienenpersonennahverkehr (SPNV) und andere öffentliche Verkehrsmittel einen wichtigen Beitrag im Rahmen der staatlichen Daseinsfürsorge, da sie die Mobilität vor Ort sicherstellen. Durch die Reaktivierung von Schienenstrecken können diese ehemals an den Schienenverkehr angebundene Regionen wieder erschlossen werden.



Gemeinden ohne Bahnanschluss
 ○ Mittelzentrum
 ● Gemeinde > 20.000 Einwohner

Abbildung 3: Gemeinden ohne Bahnanschluss, eigene Darstellung auf Basis von BBSR (2021).

Forschung am DZSF

In den letzten Jahren gab es in Deutschland einige erfolgreiche Reaktivierungen von Schienenstrecken, weitere Projekte befinden sich in der Planung und Umsetzung. Um zukünftige Reaktivierungen zu unterstützen, fokussieren die Forschungsvorhaben am DZSF auf zentrale Erfolgsfaktoren von Reaktivierungen (Abbildung 4): Der Erfolg von Reaktivierungsvorhaben hängt davon ab, dass ein wirtschaftlicher Betrieb der Strecken gegeben ist, die Reaktivierung in ein (verkehrliches) Gesamtkonzept eingebettet ist, das vorhandene Nutzungspotential ausgeschöpft wird und weitere Auswirkungen, z. B. strukturpolitischer Art, beachtet werden. Die Forschungsprojekte des DZSF zielen auf eine effiziente und bedarfsgerechte Ausrichtung von Reaktivierungsvorhaben sowie die umfangreichen Auswirkungen von Bahninfrastruktur ab. Damit werden die beteiligten Akteure mit praxisnahen und validierten Handlungsempfehlungen bei Reaktivierungsprojekten unterstützt.



Abbildung 4: Erfolgsfaktoren bei der Reaktivierung von Bahnstrecken. Quelle: DZSF/eigene Darstellung.

Ein **wirtschaftlicher Betrieb der Strecken** ist eine Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Reaktivierung. In den Projekten **Kostenoptimierung Bau und Betrieb von Nebenbahnen** und **ETCS und DSTW auf Regional- und Nebenbahnen** wurden daher Optimierungspotenziale für den Bau und Betrieb sowie die Leit- und Sicherungstechnik speziell für Nebenbahnen untersucht. Nebenbahnen waren in der Vergangenheit besonders häufig von Stilllegungen aufgrund einer schlechten Kosten-Nutzen-Bilanz betroffen.

Neben dem wirtschaftlichen Betrieb steigert auch die **Einbettung in ein verkehrliches Gesamtkonzept** die Erfolgsaussichten von Reaktivierungsprojekten. Begleitmaßnahmen und die Beachtung regionaler Besonderheiten sind oftmals entscheidende Erfolgsfaktoren. Daher wurde im Projekt **Begleitende Maßnahmen für die Reaktivierung von Schienenstrecken** ein Katalog effektiver Begleitmaßnahmen erarbeitet. Diese Begleitmaßnahmen können auf verschiedenen Ebenen – Bundes-, Landes-, Kreis- oder lokaler Ebene – ergriffen werden und reichen von verkehrlichen über administrative und politische bis hin zu raumordnerischen Instrumenten. Auf der lokalen und Kreisebene sind

beispielsweise eine frühe, proaktive Einbindung von Anwohnern und ein abgestimmtes verkehrsmittelübergreifendes Verkehrsangebot fördernd. Begleitmaßnahmen mit dem Fokus auf Bahnhöfe werden im Projekt [Bahnhof der Zukunft als Kern multimodaler Mobilitätsplattformen in Kommunen](#) identifiziert. In einem bedarfsorientierten Maßnahmenkatalog werden Empfehlungen für die Weiterentwicklung von Bahnhöfen für verschiedene Bahnhofskategorien erarbeitet. Der Katalog unterstützt auch die Planung und Ausgestaltung von zu reaktivierenden Bahnhöfen. Die besonderen Herausforderungen im länderübergreifenden Verkehr werden im Projekt [Reaktivierung von Bahnstrecken in Grenzregionen](#) in den Blick genommen. Hier werden Impulse und Handlungsempfehlungen für die Verlagerung von Mobilität auf die Schiene entwickelt. Der Fokus liegt auf möglichen Reaktivierungen von Schienestrecken.

Ziel einer erfolgreichen Reaktivierungsmaßnahme sollte es sein, das **Nutzungspotential** optimal **auszuschöpfen** und somit den Marktanteil der Schiene zu steigern. Mobilitätsverhalten ist jedoch Gewohnheitsverhalten und die Veränderung von teils stark habitualisierten Mobilitätsroutinen ist eine große Herausforderung. Die Reaktivierung von Bahnstrecken stellt eine „harte“ verkehrlich - infrastrukturelle Maßnahme dar. „Sanfte Maßnahmen“ wie Motivations- und Informationsstrategien können dabei unterstützen, Unsicherheiten und Barrieren abzubauen und einen Umstieg auf schienengebundene Mobilität zu vereinfachen. Im Projekt [Sanfte Maßnahmen zur Begleitung der Reaktivierung von Bahnstrecken](#) erfolgt daher eine Wirkungsabschätzung, anhand welcher sanften Begleitmaßnahmen sich der Marktanteil der Bahn durch Reaktivierungsprojekte steigern lässt.

Die **strukturpolitischen Auswirkungen** von Reaktivierungen gehen weit über den verkehrlichen Aspekt hinaus und können wirtschaftliche, räumliche, gesellschaftliche und Umwelteffekte bedingen. So erhöht ein Bahnanschluss die Attraktivität von Kommunen als Lebens- und Wirtschaftsstandort und unterstützt die nachhaltige Entwicklung von urbanen Räumen und ihrem Umland. Außerdem kann ein Bahnanschluss Impulse im ländlichen Raum setzen und somit die Strukturpolitik unterstützen. Um den Erfolg einer Reaktivierung bewerten zu können, sollten möglichst alle Auswirkungen bekannt sein und berücksichtigt werden. Die Kommunikation der vielfältigen Auswirkungen kann zudem die Einstellungen zum Schienenverkehr beeinflussen. Im Projekt [Untersuchung der gesamtwirtschaftlichen Bedeutung des deutschen Bahnsektors auf Grundlage der Beschäftigungswirkung](#) konnte bereits im Jahr 2020 gezeigt werden, dass der Bahnsektor direkt und durch Nachfrage in vorgelagerten Sektoren rund 550.000 Arbeitsplätze schafft und damit Kaufkraft und Wohlstand sichert. In dem nachfolgenden Projekt [Untersuchung der gesamtwirtschaftlichen Bedeutung des deutschen Bahnsektors auf Grundlage der Investitionstätigkeit](#) werden Beschäftigungs- und Wertschöpfungseffekte quantifiziert, welche durch öffentliche und private Investitionen im Bahnsektor bedingt sind.

Reaktivierungen stellen ein wertvolles Instrument dar, um den Klimaschutz durch mehr Bahnnutzung zu fördern und Kommunen in vielerlei Hinsicht zu stärken. Die Forschungsprojekte des DZSF unterstützen die effiziente und bedarfsgerechte Ausrichtung dieser Vorhaben.

Prädiktive Instandhaltung

Die Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit der Infrastruktur und des Rollmaterials sind die entscheidenden Einflussgrößen auf die Leistungsfähigkeit bzw. Kapazität des Systems Bahn. Das DZSF verfolgt dabei mehrere Ansätze zur Kapazitätsoptimierung.

Der geplante umfangreiche Ausbau der Schieneninfrastruktur wird die Verfügbarkeit der Infrastruktur baubedingt zunächst einmal weiter einschränken. Dem kann durch verbesserte Rahmenbedingungen für **kapazitätsoptimiertes Bauen**, aufeinander abgestimmte Prozesse und geeignete Planungsinstrumente für alle Beteiligten (Infrastrukturunternehmen, Verkehrsunternehmen und Bauausführende) entgegengewirkt werden. Einen entscheidenden Beitrag kann dabei die Digitalisierung des Kapazitätsmanagements liefern.

Ein weiterer Hebel zur Erhöhung von Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit liegt in der Vermeidung ungeplanter Ausfälle, verursacht etwa durch schadhafte Infrastruktur oder durch liegengebliebene Züge. Neue digitale und datenbasierte Instandhaltungsstrategien – wie die **prädiktive Instandhaltung** – verringern die Ausfallrisiken und erhöhen die Planbarkeit von Instandhaltungsmaßnahmen. Das DZSF will mit seiner Forschung dazu beitragen, die Entwicklung der notwendigen Technologien zu unterstützen, die beteiligten Akteure zusammenzubringen und damit insgesamt den Übergang zu prädiktiver Instandhaltung im Bahnsektor zu beschleunigen.

Unter dem Oberbegriff „Predictive Maintenance“ (PM) – der prädiktiven oder vorausschauenden Instandhaltung – werden neuartige Konzepte und Lösungen zum Instandhaltungsmanagement verstanden, die auf einer genauen Kenntnis aktueller Zustände, dem Verständnis des Fehler- und Verschleißverhaltens von Komponenten sowie der Vorhersage und Bewertung von zukünftigen Ereignissen beruhen. Getragen werden diese Innovationen von der tendenziell zunehmenden Digitalisierung, Automatisierung und Vernetzung. Hierdurch können ausgehend von rein schadensbasierten Ansätzen nach und nach Instandhaltungsstrategien entwickelt werden, die helfen, Ausfälle vorausschauend zu vermeiden (Abbildung 5).

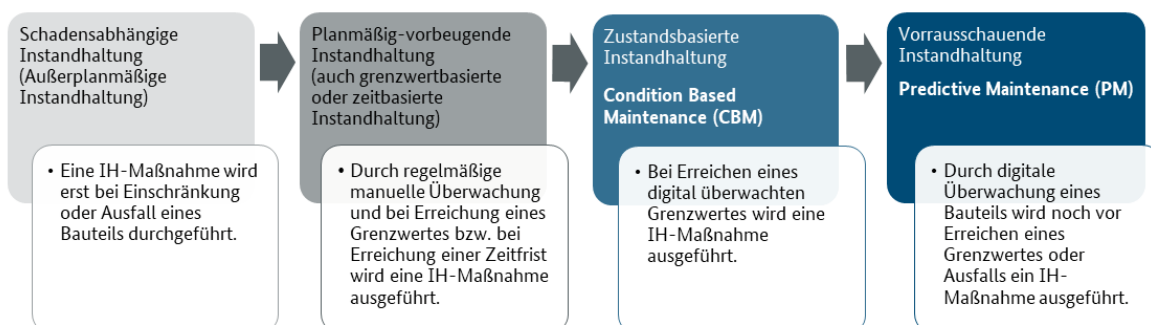


Abbildung 5: Entwicklung der Instandhaltungsstrategien. Quelle: DB Systemtechnik GmbH.

Bei der Instandhaltung von Schieneninfrastruktur und -fahrzeugen können PM-Konzepte signifikant zur Erhöhung von Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit und Wirtschaftlichkeit des Systems Bahn beitragen.

Im Vergleich zu herkömmlichen Instandhaltungsstrategien, die zumeist auf präventiven Wartungen und korrektiven Maßnahmen basieren, werden bei PM zielgerichtete und zeitlich abgestimmte Aktivitäten angestrebt.

Forschung am DZSF

Die Einführung von PM stellt Infrastrukturbetreiber, Verkehrsunternehmen und Aufsichtsbehörden in der Praxis vor große Herausforderungen:

- *Technisch*: Neben der Entwicklung von Verfahren zur Diagnose und Prognose sowie von Planungssystemen müssen Fragen der Datenverfügbarkeit und -sicherheit geklärt werden.
- *Organisatorisch*: Neue Technologien ziehen veränderte Abläufe in der Instandhaltung nach sich, z. B. bei der Planung von Instandhaltungsmaßnahmen aufgrund flexiblerer Fristen.
- *Wirtschaftlich*: Die hohen Implementierungsaufwände bei der Einführung von PM-Systemen müssen durch Kosten-Nutzen-Analysen abgesichert werden. Neue Betreiber- und Geschäftsmodelle können entstehen.
- *Rechtlich*: Die geltenden Regelwerke sehen fristen- und inspektionsbasierte Instandhaltungen vor. Sie müssen an die Möglichkeiten von PM angepasst werden. Darüber hinaus müssen die Beteiligten die Bedingungen für den vertrauensvollen Austausch sensibler und werthaltiger Zustandsdaten verhandeln.

Diese Herausforderungen im Umfeld von PM werden in aktuellen Forschungsaktivitäten am DZSF angegangen.

Momentan haben Entwicklungen und der vermehrte Einsatz von Diagnose- und Remoteanwendungen für die Zustandsbewertung von für die Instandhaltung relevanten Objekten noch zur Folge, dass das Arbeitsvolumen aus Diagnosemeldungen und Fehlervorhersagen zunächst mit der Anzahl dieser Anwendungen ansteigt. Vorbeugende Instandhaltungsarbeiten wie Prävention, Inspektion und Wartung reduzieren sich nicht automatisch durch mehr Diagnostik und Prognostik. Grund hierfür ist, dass im aktuell geltenden Regelwerk fristenbasierte Aufwandsbestandteile gefordert sind, die auf jeden Fall zu erbringen sind. Um insgesamt zu einer Reduzierung der Instandhaltungsaufwände zu kommen, müssen die Regelwerke einer systematischen Prüfung unterzogen werden.

Das Projekt [Ermittlung des Anpassungsbedarfs der Regelwerke zwecks Anwendung diagnosebasierter Instandhaltung der Schieneninfrastruktur](#) untersucht, wie bestehende Regelwerke angepasst werden müssen, um sie bei diagnosebasierten Instandhaltungskonzepten anwendbar zu machen. Es sollen Möglichkeiten für den Übergang von der aktuellen, überwiegend fristenbasierten Instandhaltung (Inspektion und Wartung) hin zu einer zustands- und diagnosebasierten Instandhaltung entwickelt werden (Abbildung 6). Hierbei findet zudem ein Vergleich mit anderen Industrien statt.

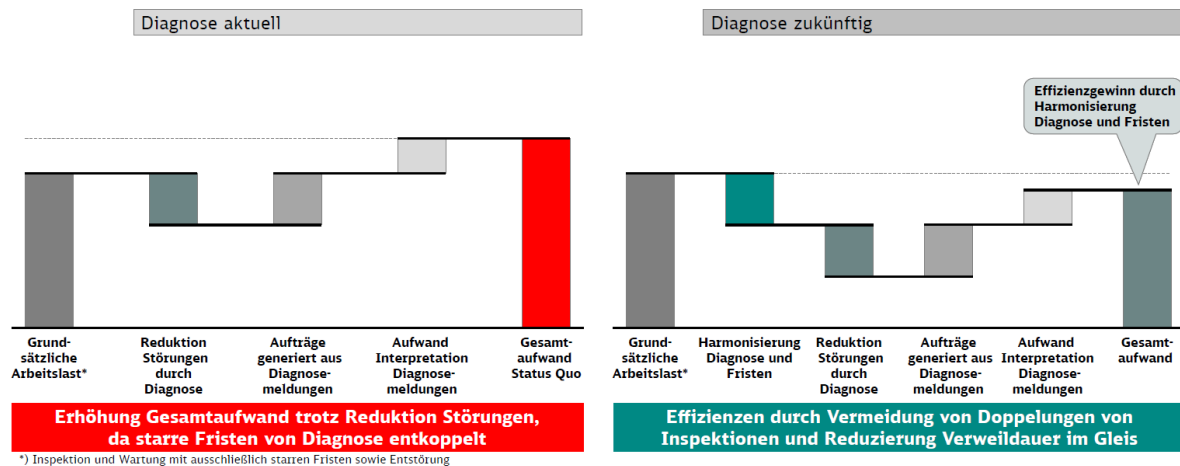


Abbildung 6: Veränderung des Instandhaltungsaufwandes. Quelle: DB Netz AG.

Trotz technisch vielversprechender Ansätze setzt sich PM im Bahnsektor bislang nur zögerlich durch. Das liegt u. a. an dem bisher unzureichenden Datenaustausch. So fehlt die Grundlage, auf der die für PM-Anwendungen notwendigen Analysen erstellt werden könnten. Der Datenaustausch scheitert derzeit an der Zurückhaltung der Beteiligten, Daten zu teilen, sowie am Fehlen eines Vermittlers, der Daten, Dienste und Know-how zusammenbringt. Eine neutrale Plattform und transparente Geschäftsmodelle könnten diese Hemmnisse vermutlich überwinden. Die Beteiligten könnten sich miteinander vernetzen und sicher Daten austauschen. Als technisches und organisatorisches Gerüst steht der Mobility Data Space (MDS) bereit. Allerdings fehlt ein detailliertes Konzept, wie dieser für PM-Anwendungen praktisch genutzt werden kann.

Das Projekt [Datenplattform PM](#) soll ein Konzept entwickeln, wie der Datenaustausch für PM-Anwendungen im MDS realisiert werden kann. Den technischen Rahmen gibt die MDS-Plattform vor; im Fokus des Projekts stehen offene wirtschaftliche und rechtliche Fragen. Über die Analyse bestehender Prozesse und Interessen sollen Lösungsansätze erarbeitet werden, die wiederum in ein konkretes Umsetzungskonzept münden.

Diagnose- und Prognoseverfahren werden aktuell noch nahezu ausschließlich auf einzelne Komponenten ausgerichtet. Dies hat sehr kleinteilige Lösungsansätze für einzelne Fehlertypen an verschiedenen Komponenten zur Folge, ebenso finden Synergien und Datenfusion verschiedener Sensorsysteme bisher kaum statt. Das Umdenken von der Detektion einzelner Fehler auf die Funktionsicht, bei der die Beurteilung der Funktion des Gesamtsystems im Vordergrund steht, kann die Effizienz des Condition Monitoring für die Instandhaltungsplanung deutlich erhöhen. Ein Wandel zu diesem sogenannten funktionalen Ansatz führt zu weitreichenden Veränderungen des Einsatzes von Diagnose- und Prognoseverfahren.

Im Projekt [Diagnose und Prognose für das Instandhaltungsmanagement im Schienenverkehr](#) soll daher, neben einem allgemeinen Überblick zu Modellen und Verfahren, auch eine Untersuchung stattfinden, wie durch Datenfusion oder Modellkombination die Aussagekraft für die Zustandsbewertung erweitert werden kann.

Vegetationsmanagement

Der Schienenverkehr stellt hohe Anforderungen an die Funktionsfähigkeit und Sicherheit von Bahnanlagen und Flächen. Eisenbahnbetreiber sind gesetzlich verpflichtet, die Infrastruktur sicher zu bauen und zu unterhalten. Während Vegetation viele nützliche Funktionen erfüllt, kann sie auf Gleisanlagen zum Sicherheitsrisiko werden. Bei Kontrolle und Unterhaltung von Gleisanlagen spielen daher neben betrieblichen Anforderungen auch Flächeneigenschaften sowie die Art und der Ort der Vegetation eine entscheidende Rolle.

Auf unbefestigten Flächen, d. h. außerhalb von Gleisanlagen, erfüllt die Vegetation häufig verschiedene nützliche Funktionen. Sie kann als natürliche Sicherung Bahndämme oder Böschungen vor Erosion schützen und so Baumstürzen oder Hangrutschungen vorbeugen. Zusätzlich schützt die an Schienenwege angrenzende Vegetation vor Schneeverwehungen, unterstützt bei der Bewältigung des Oberflächenwasserabflusses, dient als Sichtschutz und kann lärmindernd wirken. Darüber hinaus bildet der Bewuchs Lebensräume für viele, zum Teil seltene oder geschützte Tier- und Pflanzenarten und leistet einen wichtigen Beitrag zur Biodiversität. Besonders verholzte Pflanzenteile binden größere Mengen an Kohlenstoff und tragen dadurch zum natürlichen Klimaschutz bei. Der kühlende Effekt von Schienenbegleitgrün kann Temperaturspitzen reduzieren. Allerdings kann die Vegetation auch zu Problemen beim Arbeitsschutz, im Naturschutz und bei der Sicherheit führen, vor allem, wenn sich nicht standortgerechte Vegetation zu stark ausbreitet und bei Stürmen zu Gefahren entlang der Schienenwege führt. Auch die ungehinderte Ausbreitung invasiver Pflanzenarten, die mitunter seltene oder geschützte einheimische Pflanzenarten verdrängen, führt zu Sichtbehinderungen, einem erhöhten Pflegeaufwand sowie in einigen Fällen zur Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit. Beispiele hierfür sind die Beifuß-Ambrosie oder der Riesenbärenklau.

In sicherheitsrelevanten Bereichen von Gleisanlagen wird vorhandener Bewuchs systematisch bekämpft. Die Eingriffe reichen dabei von Jäten über Gehölzrückschnitt bis hin zum Einsatz chemischer Herbizide. Im Rahmen der chemischen Vegetationskontrolle waren in Deutschland bisher drei Wirkstoffe für den Gleisbereich zugelassen, u. a. das Blattherbizid Glyphosat. Diese Form des Vegetationsmanagements muss überdacht werden, da die Zulassung dieses Wirkstoffs geprüft wird und Anwendungsbeschränkungen möglich werden. Neue Forschungsansätze und die Entwicklung von alternativen Strategien zum Vegetationsmanagement gewinnen damit immer mehr an Bedeutung.

Forschung am DZSF

Die Forschung des DZSF im Bereich Vegetationsmanagement fokussiert auf vier Schwerpunkte:

- die Entwicklung chemiefreier Alternativverfahren sowie einer kapazitätsoptimierten Vegetationsplanung,
- die Herbizidbelastung und Schadstoffausbreitung im Gleisbereich,
- die Erweiterung von Prognosemodellen zur Einfuhr und Ausbreitung invasiver Arten, sowie

- Untersuchungen zu den Einsatzmöglichkeiten hochauflösender Radarsatelliten- oder Laserscanner-Aufnahmen für Instandhaltungsmaßnahmen und Zustandsüberwachung.

Vegetationskontrolle und –monitoring

Die Entwicklung von chemiefreien Verfahren gewinnt immer mehr an Bedeutung, da eine Vernachlässigung der Unterhaltungsmaßnahmen bzw. die Einstellung von flächigen Vegetationskontrollmaßnahmen zu massiven Funktions- und Sicherheitseinschränkungen des Gleiskörpers und damit zu deutlichen Behinderungen im Schienenverkehr führen würde. Im Rahmen des Projekts [Entwicklung eines Alternativverfahrens zur chemischen Vegetationskontrolle auf Gleisanlagen](#) werden mittels empirischer Daten die Grundlagen geschaffen, um chemiefreie Verfahren zur Vegetationskontrolle im Gleisbereich zu entwickeln oder anzupassen, beispielsweise durch Frosten oder Heißwasser (Abbildung 7). Diese Verfahren werden in Feldversuchen auf ihre Effizienz und Umsetzbarkeit überprüft. Anhand der gewonnen Erkenntnisse werden Handlungsempfehlungen für den Sektor abgeleitet.



Abbildung 7: Versuchsdarstellung zur Temperaturmessung in verschiedenen Schottertiefen (links), Gleisversuch zu den Verfahren Frosten (Mitte) sowie Heißwasser (rechts); Quelle: RWTH Aachen University.

Es kommt im Verkehrssystem Schiene regelmäßig zu Störungen und Betriebsausfällen, die mit Vegetation zusammenhängen. Ziel des Forschungsvorhabens [Kapazitätsoptimierte Vegetationsplanung an der Schiene](#) ist es, sämtliche mögliche Problembereiche und Ereignisse im Schienensystem zu identifizieren, die durch Vegetation verursacht oder verstärkt werden. Auf dieser Grundlage werden Handlungsempfehlungen für eine optimierte Vegetationsplanung und ein angepasstes Pflegemanagement entlang der Schiene entwickelt, um die durch Vegetation hervorgerufenen Kapazitätseinschränkungen zu verringern. Dabei werden neben den Faktoren Wirtschaftlichkeit und Sicherheit des Bahnverkehrs auch neue Anforderungen, wie die Verpflichtung zur Einhaltung von Klimaschutzziele oder der Erhalt der Artenvielfalt, berücksichtigt.

Gewässermonitoring an Schienenwegen

Der Schienenverkehr verfügt im direkten Vergleich zu den anderen Verkehrsträgern über deutliche Vorteile: geringere Schadstofffreisetzung, bessere Energiebilanz und geringerer Flächenverbrauch. Dennoch haben mehr als 180 Jahre Eisenbahnbetrieb und über 33.000 Kilometer (Eisenbahnen des Bundes) Betriebslänge in Deutschland auch Auswirkungen auf die Umwelt. Hierbei sind vor allem anorganische und organische Substanzeinträge aus dem Bahnbetrieb sowie dem Bau und der Erhaltung der Schieneninfrastruktur von Bedeutung.

In einem langfristig angelegten Monitoringprogramm beprobt das DZSF die Umweltkompartimente Luft, Boden, Wasser, mit dem Ziel, eine belastbare Datengrundlage zu schaffen und potenzielle Schadstoffausträge und deren möglicher Umweltwirkungen zu identifizieren. An fünf Dauermessstellen untersucht und überwacht das DZSF das Schadstoffspektrum sowie den Belastungsgrad von Niederschlagswasser aus Gleisanlagen, Grund- und Oberflächengewässern sowie Böden mit direktem Bahnbezug.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens [Charakterisierung und Einordnung der Schadstoffbelastung von verschiedenen Umweltproben durch Substanzausträge aus speziellen Betriebsanlagen des Schienenverkehrs](#) soll ein Untersuchungs- und Bewertungskonzept für den Schadstoffeintrag von speziellen Betriebsanlagen, wie z. B. Zugbildungs-, Abstell- und Umschlagsanlagen sowie Rangierbahnhöfen, auf die Umweltkompartimente Boden und Gewässer entwickelt und durchgeführt werden. Ein besonderer Fokus liegt hierbei auf den betrieblichen organischen und anorganischen Substanzeinträgen, aber auch auf den mit der Vegetationskontrolle verbundenen Maßnahmen, wie z. B. Tropfverluste aus abgestellten Spritzzügen.

Prognose der Einfuhr und Ausbreitung invasiver Arten durch Verkehrsträger

Das Vorkommen und die Ausbreitung von invasiven Arten haben enorme Auswirkungen auf die Verkehrsträger, die sich in einem erhöhten Pflegeaufwand, Schäden an Bauwerken, erhöhten Kosten und mitunter gesundheitlichen Risiken für das Betriebspersonal widerspiegeln. Eine Reduzierung dieser Auswirkungen setzt Kenntnisse zur aktuellen Verbreitung von invasiven Arten, deren Ausbreitungsentwicklung und Möglichkeiten der Vorhersage der zukünftigen Entwicklungen voraus. Mit dem [Modell CASPIAN](#) wird im Rahmen des BMDV-Expertenetzwerks eine Plattform entwickelt, welche die Visualisierung, Analyse und Vorhersage von tatsächlichen und zukünftigen Vorkommen von invasiven Arten ermöglicht. Im Rahmen des Projektes wurde bisher eine Übersicht zu gebietsfremden Arten, deren Vorkommen in Deutschland und deren Ausbreitungswege erstellt. Die erstellte Liste umfasst 3.544 Arten, wobei nur etwa 20 % der Arten mit einer hohen Stetigkeit in Deutschland vorkommen und von denen sich wiederum nur ein Teil an Verkehrswegen (Schiene, Straße, Wasserstraße) ausbreitet, bzw. hier Probleme verursacht.

Vegetationserkennung durch Fernerkundung

Umstürzende Bäume auf Bahngleise oder Oberleitungen gehören zu den häufigsten Störungen natürlichen Ursprungs im Schienenverkehr, die zu Zugausfällen und Verspätungen führen oder Züge und Menschen schädigen können. Im Projekt [Ableitung des Baumbestandes entlang des deutschen Schienennetzes](#) wurde ein GIS-Tool (GIS = Geoinformationssystem) entwickelt, mit dem Einzelbäume anhand von Luftbildern und Höhenmodellen identifiziert und das Baumsturfrisiko auf Einzelbaumbasis abgeschätzt werden können (Abbildung 8). Bisher sind mit dem GIS-Tool Expositions-karten für das Schienennetz in NRW und Thüringen erstellt worden. Eine Erweiterung auf das gesamte Bundesgebiet auf Basis freier verfügbarer Daten soll im Jahr 2023 folgen.

Darüber hinaus steht das DZSF im engen Austausch mit dem Bundeseisenbahnvermögen (BEV), um zu testen, ob das GIS-Tool zum Aufbau und zur Pflege des Baumkatasters des BEV genutzt werden kann. Eine Weiterentwicklung des GIS-Tools erfolgte im Projekt [Sensitivitätsanalyse Vegetation ent-](#)

lang der Bundesverkehrswege bezüglich Sturmwurfgefahren und Böschungsbränden, das eine Gefährdungsabschätzung für Sturmwurf und Böschungsbrand entlang des bundesweiten Streckennetzes durchführte. Darauf aufbauend wurden Handlungsempfehlungen hinsichtlich der Vegetationskontrolle erarbeitet.

Um das Potential von Luftbildaufnahmen und Satellitenaufnahmen für vegetationsbedingte Fragestellungen im Schienenverkehr zu testen, hat das DZSF im Jahr 2022 zwei weitere Projekte initiiert. Im Projekt **Potenzialermittlung von Laserscanner-Aufnahmen für die Zustandsüberwachung der Schieneninfrastruktur und Umgebung** werden aktuell verfügbare Laserscan-Systeme auf ihre Anwendungspotenzi-

ale im Schienenumfeld in den drei Themenfeldern Monitoring gravitativer Massenbewegungen, Vegetationszustandsüberwachung und Monitoring von Bauwerken und Infrastrukturelementen überprüft, um langfristig eigene Laserscan-Systeme am DZSF zu etablieren. Für diese Zwecke hat das DZSF im Rahmen des Projektes ein eigenes stationäres Laserscansystem sowie eine Drohne inklusive Laserscansystem beschafft.

Im Projekt **Nahe-Echtzeit-Identifizierung von Baumstürzen auf die Schieneninfrastruktur mithilfe von hochauflösten Radarsatelliten** wurde zudem evaluiert, inwiefern hochauflösende Radarsatellitenaufnahmen innerhalb weniger Tage nach Stürmen bei der Detektion von Sturmwurfereignissen unterstützen können. Denn auch wenn die anderen Projekte auf die Prävention und Verhütung von Schadensereignissen fokussieren, muss festgehalten werden, dass keine vollständige Vermeidung von Sturmwurfereignissen erreicht werden kann. Radaraufnahmen bieten den Vorteil, dass sie unabhängig von der Beleuchtung (Tag oder Nacht) und der Witterung (auch bei Wolkenbedeckung) Daten erzeugen. Limitationen für den Praxiseinsatz dieser Methode sind jedoch noch die fehlende flächendeckende Datenverfügbarkeit, die räumliche Auflösung der Daten und die Kosten der Datenaufnahmen.

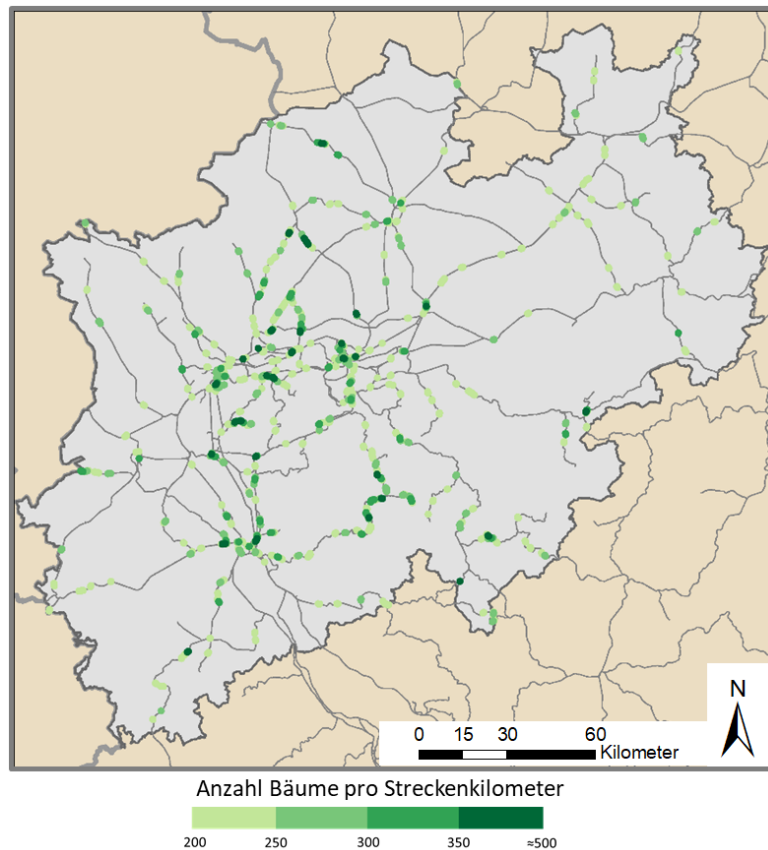


Abbildung 8: Räumliche Verteilung potentiell durch Sturmwurf betroffener Streckenabschnitte in Nordrhein-Westfalen. Als Indikator dient die Anzahl Bäume pro Streckenkilometer, die aufgrund ihrer Höhe und räumlichen Nähe zum Gleis im Falle eines Sturms in den Gleisbereich fallen können. Quelle: DZSF, Streckennetz © DB Netz AG; Länderumrisse © GeoBasis-DE/ BKG 2021.

Cybersecurity

Der Schutz technischer Einrichtungen vor Angriffen gewinnt zunehmend an Bedeutung. Auch wenn die Sabotage der Telekommunikationsleitungen der DB im Oktober 2022 nicht im Cyberraum stattfand, ist sie doch symptomatisch: Allein mit der Beschädigung zweier Kabel wurde der Bahnfunk für Norddeutschland außer Gefecht gesetzt. Solche Angriffe nehmen zu, sowohl physisch, als auch aus dem Cyberraum oder als Kombination beider Arten.

Der Begriff Sicherheit umfasst sowohl die Sicherheit eines Systems vor Angriffen von außen (englisch Security) als auch die funktionale Sicherheit (englisch Safety). Bei Eisenbahnen sind oft safety-kritische Systeme im Einsatz, die Gefahr von Leib und Leben abhalten sollen. Diese Systeme müssen besonders gegen Manipulation geschützt werden. Bisher stand dabei vor allem das Schutzziel „Integrität“ im Vordergrund. Als Worst-Case-Szenario wurde dabei angenommen, dass es Angreifern gelinge, ein Signal zu manipulieren, damit es Fahrt zeigt, obwohl es Halt zeigen sollte und in der Folge Züge kollidieren. Aus den Erfahrungen der jüngsten Zeit rückt nun zusätzlich das Schutzziel der „Verfügbarkeit“ in den Fokus.

Forschung am DZSF

Das DZSF erforscht, welche spezifischen Risiken für das Eisenbahnsystem bestehen und wie mit diesen umgegangen werden kann. Der Sektor steht dabei vor einer großen Transformation. An vielen Stellen im System wurde Cybersecurity nicht von Anfang an mitgedacht und muss aufwändig nachintegriert werden. Auch die Herangehensweise an Cybersecurity steht im Fokus. Bislang wurde teils davon ausgegangen, dass Intransparenz über die verwendeten Verfahren einen gewissen Schutz schafft. Dieses als „Security by Obscurity“ bezeichnete Prinzip gilt in der IT-Welt als überholt. Zukünftige Securityansätze müssen dagegen auf der Annahme basieren, dass das beste Schloss nicht das sei, dessen Mechanik man nicht kennt, sondern das, dessen Mechanik man perfekt nachvollziehen kann und zu dem trotzdem ohne den richtigen Schlüssel kein Zugang möglich ist. Aus diesem Grund wird auch die Software, die im Rahmen von DZSF-Projekten zur Cybersecurity entwickelt wird, quelloffen zur Verfügung gestellt.

Im DZSF wurde im Jahr 2022 das Projekt [Security und Technologieeinsatz](#) abgeschlossen. Die Untersuchung erfasste den Status Quo der Cybersecurity im Bahnsektor und hat geprüft, welche neuen Technologien bereits im Einsatz sind. Mithilfe einer quantitativen Onlinebefragung wurde der gesamte Sektor zu diesen Themen befragt. Die Ergebnisse attestieren dem Sektor bislang einen ungenügenden Cybersecurity-Reifegrad. Nach der international anerkannten Kategorisierung des amerikanischen National Institute of Standards and Technology (NIST) entspricht ein Reifegrad von 3 einem ausreichenden Basisschutz, der aber noch nicht in ein kontinuierliches Verbesserungsverfahren überführt wurde. Der untersuchte Sektor erreicht allerdings im Mittel lediglich ein Niveau um 2 (Umsetzung von Maßnahmen begonnen). Noch schlechter schneidet der Bereich der Eisenbahninfrastrukturunternehmen ab. Dieser erreicht im Mittel nur einen Wert von 1 (Planung begonnen). Das

Ergebnis zeigt einerseits, dass der Sektor noch Aufholbedarf hat und bestätigt andererseits die Schwerpunktsetzung des DZSF zu diesem Thema (Abbildung 9).

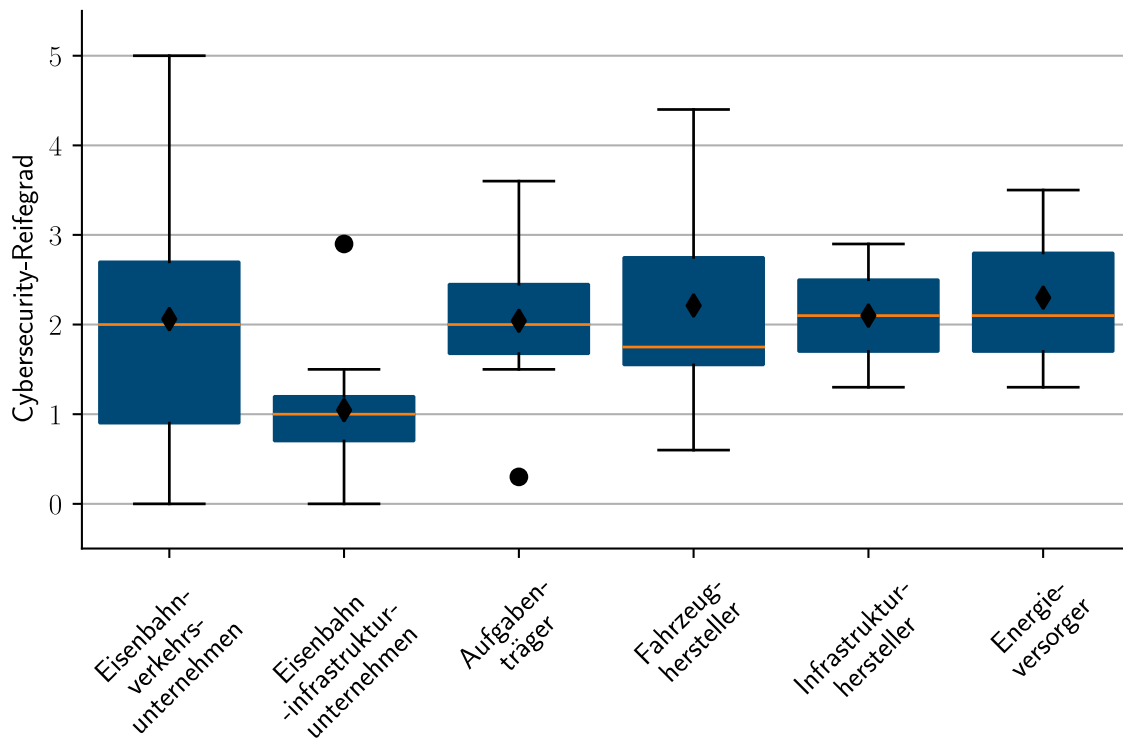


Abbildung 9: Cybersecurity-Reifegrad nach Untersektoren. Quelle: DZSF.

Bei der Fragestellung zur Anwendung neuer Technologien zeichnet sich ab, dass unter anderem Cloudtechnologien und Virtualisierung bereits zu weiten Teilen Einzug gehalten haben. Allerdings existiert insbesondere bei Cloud-Diensten eine Anwendung-Wissens-Lücke. Viele Unternehmen setzen auf diese Angebote, geben aber an, lediglich ein mittleres oder schlechteres Verständnis dieser Technologie zu haben (Abbildung 10).

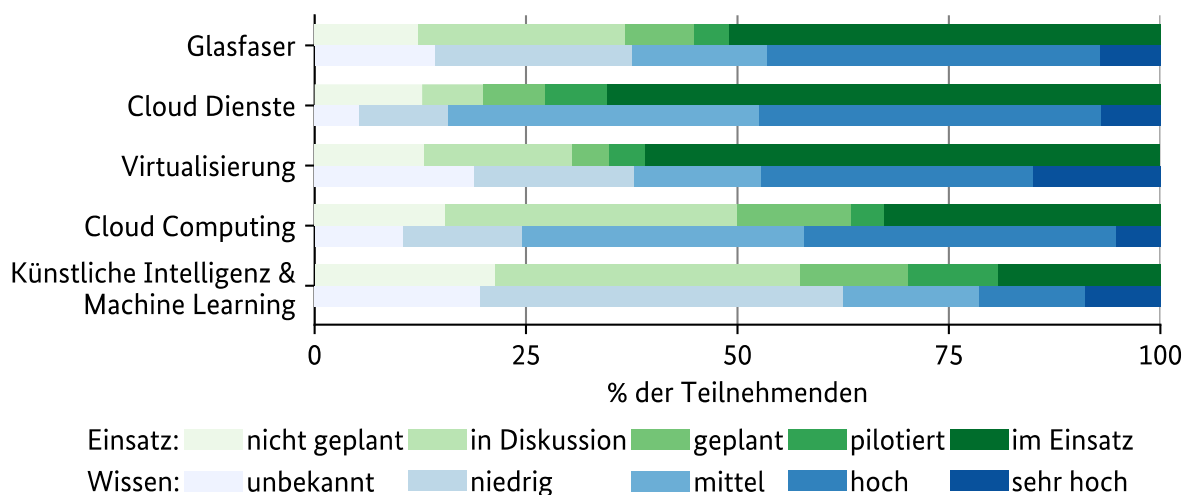


Abbildung 10: Einsatzgrad und Wissensstand für ausgewählte Technologien. Quelle: DZSF.

Das laufende Projekt **Identifikation bestehender Angriffspotenziale** beschäftigt sich mit den existierenden Angriffspotenzialen auf das System Eisenbahn. Dabei beschränkt es sich nicht nur auf Cyberbedrohungen, sondern nimmt auch physische Angriffe in den Fokus. Erstes Ergebnis ist eine ausführliche Datenbank weltweit registrierter Cyber- und Terrorangriffe. Ausgehend von dieser Datenbank wurden Angriffsvignetten entwickelt, die den Angriff für eine weitere Analyse beschreiben. Aktuell werden mögliche Angriffe modelliert und deren Eintrittsrisiko bewertet. Perspektivisch werden Gegenmaßnahmen abgeleitet und priorisiert.

Das Projekt **Prognose Securitybedarf und Bewertung möglicher Sicherheitskonzepte für das System Bahn** hat Technologien und Konzepte identifiziert, die voraussichtlich bis zum Jahr 2050 zum Einsatz kommen, und daraus Angriffsmöglichkeiten abgeleitet. Im Rahmen dieses Projekts wurde ein Open-Source-Werkzeug entwickelt, um Angriffsgraphen zu modellieren, Grundeigenschaften von Angriffsschritten zu einer Gesamtbewertung der Bedrohung zu aggregieren, diese anhand einer Risikomatrix einzuordnen und Gegenmaßnahmen zu definieren. Aktuell werden Gegenmaßnahmen erarbeitet, modelliert und priorisiert.

Die Projekte ergeben gemeinsam einen Gesamteindruck von Angriffspotenzialen und Gegenmaßnahmen im heutigen und zukünftigen Eisenbahnsystem.

Klimaschutz durch CO₂-basierte Materialien

Der Klimawandel ist vornehmlich auf die seit Beginn der Industrialisierung zunehmende Emission von Treibhausgasen zurückzuführen. Diese Treibhausgase, allen voran Kohlenstoffdioxid (CO₂), werden hauptsächlich durch die Verbrennung fossiler Energieträger in die Atmosphäre freigesetzt. Das CO₂ in der Atmosphäre wird sehr langsam abgebaut. Rund 1.000 Jahre nach seiner Freisetzung sind zwischen 15 % und 40 % der ursprünglichen Menge in der Luft noch vorhanden. Folglich würde eine beträchtliche Reduktion sämtlicher CO₂-Emissionen den bereits laufenden globalen Temperaturanstieg nicht verhindern, geschweige denn rückgängig machen. Zusätzlich zu einer deutlichen Reduktion dieser Emissionen sind deshalb weitere Maßnahmen dringend erforderlich, um die vorhandene CO₂-Konzentration in der Luft aktiv zu senken.

Es gibt bereits technische Lösungen, mit denen das CO₂ aus der Atmosphäre herausgefiltert, gespeichert, gespalten oder gebunden werden kann. Eine vielversprechende Möglichkeit besteht darin, den im CO₂ enthaltenen Kohlenstoff als „Rohstoff“ für die Baustoffproduktion zu verwenden. Die weltweit große Menge hergestellter Baustoffe weist die notwendige Kapazität auf, um die erforderliche Masse an CO₂ zu binden und damit eine wirksame CO₂-Absenkung zu bewirken. Allein die Baustoffproduktion war im Jahr 2020 für 10 % aller globalen CO₂-Emissionen verantwortlich. Die Herstellung von Zement, Stahl und Aluminium für Bauzwecke im Jahr 2022 verursachte 6 % der weltweiten CO₂-Emissionen, das sind ca. 2,3 Mio. Gigatonnen CO₂. Das DZSF erforscht in diesem Bereich, welchen Beitrag der Schienenverkehrssektor zu einer aktiven Senkung der CO₂-Senkung beitragen kann, insbesondere angesichts der Bedarfe an Baustoffen für die Infrastruktur des Verkehrsträgers.

Forschung am DZSF

Das Projekt [Einsatz von kohlenstoffbasierten Materialien im Schienenverkehr als Mittel zum Klimaschutz](#) untersucht konkrete Möglichkeiten, Werkstoffe aus atmosphärischem Kohlenstoff (C) in der Schieneninfrastruktur einzusetzen. Neben einer Analyse und Beschreibung möglicher Anwendungsgebiete wird die Nutzung dieser kohlenstoffbasierten Materialien auch technisch und monetär bewertet.

Eine Bilanzierung der bei der Produktion emittierten oder gesenkten CO₂-Menge bildet die Grundlage für die Quantifizierung der ökologischen Wirksamkeit der Maßnahme. Die entsprechende physikalische Einheit ist der Global Warming Potential (GWP), ausgedrückt über einen CO₂-Massenäquivalent (kgCO₂e oder tCO₂e). Ein positiver Wert deutet auf eine gesamtheitliche Emission von Treibhausgasen hin, d. h. die Baustoffproduktion trägt zum globalen Temperaturanstieg bei. Ein negativer Wert hingegen bedeutet eine Senkung der Treibhausgaskonzentration, während ein Wert GWP = 0,0 tCO₂e definitionsgemäß Klimaneutralität heißt.

Das Projekt beschreibt mögliche kohlenstoffbasierte Materialien für die Eisenbahninfrastruktur, die CO₂ aus der Atmosphäre binden. Je nach Art der CO₂-Nutzung oder dem Grad der chemischen Zersetzung bzw. Synthese lassen sich vier Grundklassen erkennen (Tabelle 1).

| Natürlich wachsende Rohstoffe/ Materialien | Verarbeitete, natürlich wachsende Materialien | Synthetisch hergestellte Materialien | Verbundmaterialien |
|--|--|---|---|
| Direkt aus der Atmosphäre durch Pflanzenwachstum (Photosynthese) gewonnen <i>Bsp.: Holz</i> | Verarbeitete Pflanzenbestandteile, auch stark prozessiert bis zu Monomeren, ohne chemische Umwandlung in elementaren Kohlenstoff <i>Bsp.: Pflanzenkohle</i> | Aus elementarem Kohlenstoff (Biomasse) und/oder CO ₂ -Quellen (Atmosphäre, Abgase, Speicher) synthetisierten Materialien <i>Bsp.: Carbonfaser</i> | Alle Formen von Verbundmaterialien aus CO ₂ -bindenden Materialien, auch mit konventionellen nicht-bindenden CO ₂ -Materialien <i>Bsp.: Beton mit organischen Zuschlägen</i> |

Tabelle 1: Grundklassifizierung der CO₂-bindenden Materialien, Erläuterung und Beispiele. Quelle: DZSF.

Zwei technische Lösungen kohlenstoffbasierter Materialien leisten den größten Beitrag zur Senkung, da sie die Massenprodukte Beton und Betonstahl bzw. Spannstahl zu einem negativen GWP-Wert führen können:

- *Carbonfaser* bestehen größtenteils aus Kohlenstoff und können in vielen Anwendungen die bei der Herstellung energieintensive Stahlbewehrung ersetzen. Zudem ist es heute technisch möglich, Carbonfaser aus der Algenbiomasse unter Einsatz von Solarenergie herzustellen (GWP-Wert negativ).
- *Technischer Kohlenstoff*, bekannt als Pflanzenkohle, wird mithilfe von Pyrolyseprozessen aus der Biomasse gewonnen und enthält einen Anteil von etwa 80 % reinem Kohlenstoff. Verschiedene wissenschaftliche Arbeiten belegen, dass Pflanzenkohle, dem Beton beigemischt, einen Teil des Zements und einen Teil der Zuschlagstoffe ersetzen kann. Konservative Abschätzungen rechnen vor, dass dadurch Beton sogar zu einer CO₂-Senke werden kann, indem er Kohlenstoff aus dem gebundenen CO₂ in stofflicher Form dauerhaft speichern kann.

Bauteile aus der Eisenbahninfrastruktur, die einen bedeutenden Anteil der gesamten verbauten Masse umfassen, sind Betonschwellen, feste Fahrbahnen, Oberleitungsmasten und Kabelkanäle. Sie alle sind aus Beton und teilweise aus einer Betonstahlbewehrung. Die Projektergebnisse lassen erkennen, dass sie kurz-, mittel- und letztendlich langfristig durch CO₂-senkende Materialien auf Basis von Carbonfasern und Beton mit organischen Zuschlägen prinzipiell ersetzt werden können.

Die gewonnenen Erkenntnisse geben Auskunft über das Potential von kohlenstoffbasierten Materialien für den Einsatz in der Eisenbahninfrastruktur und zeigen zugleich, wo weiterer Forschungsbedarf dringend wäre. Die im Projekt erarbeiteten technischen Lösungen sind auch auf andere Anwendungsgebiete übertragbar (Hochbau, Straßenbau, Ingenieurbau). Forschungsbedarf besteht insbesondere bei vielen Eigenschaften dieser Materialien. Sie versprechen eine Revolution im Bauwesen, einen gewaltigen Beitrag für eine wirksame CO₂-Senke und den Beginn eines Kohlenstoffzeitalters in der Bauindustrie.

Das Offene Digitale Testfeld

Im Masterplan Schienenverkehr hat die Bundesregierung den Aufbau einer Testinfrastruktur zur Innovationsförderung beschlossen und im aktuellen Bundesforschungsprogramm Schiene verankert. Am 13. Juli 2021 wurde das Offene Digitale Testfeld (ODT) in Cottbus feierlich eröffnet. Damit steht der Wissenschaft und dem Sektor in absehbarer Zeit eine flexible Testinfrastruktur zur Verfügung, um Innovationen unter Realbedingungen zu erproben.

Das DZSF errichtet das ODT als unabhängige Plattform für die Wissenschaft und Wirtschaft. Geographisch ist das Testfeld zwischen den Städten Halle an der Saale, Cottbus und Niesky in den Bundesländern Sachsen-Anhalt, Brandenburg und Sachsen angesiedelt. Es umfasst ein vielseitiges Streckennetz u. a. der DB Netz AG, das im Schienenpersonennahverkehr, -fernverkehr und im Schienengüterverkehr bedient wird. Das Testfeld deckt nahezu die komplette Bandbreite an eisenbahnbetrieblichen und infrastrukturellen Rahmenbedingungen für die Forschung ab und schließt damit eine Lücke in der Forschungslandschaft.

2022 wurden der strukturelle Aufbau des ODT weiter vorangetrieben, nötige Forschungsinfrastruktur geplant und zukünftige Forschungsarbeiten vorbereitet. Das erste Projekt zur Ermittlung des Energiebedarfs von Kühlcontainern im Realbetrieb konnte erfolgreich abgeschlossen werden.



Abbildung 11: Abschluss des Kooperationsvertrags zwischen Eisenbahn-Bundesamt und Deutscher Bahn AG: Dr.-Ing. Kristian Weiland, DB Netz AG, Prof. Dr.-Ing. Corinna Salander, Direktorin des DZSF und Gerald Hörster, Präsident des Eisenbahn-Bundesamts (v.l.). Foto: DZSF.

Aufbauarbeiten

Auf Basis des im Jahr 2021 unterzeichneten Memorandum of Understanding (MoU) wurde eine Kooperationsvereinbarung zwischen dem Eisenbahn-Bundesamt und der Deutschen Bahn AG abgeschlossen. Diese legt den Rahmen der Zusammenarbeit fest und bildet eine wichtige Grundlage für bevorstehende Vereinbarungen im Rahmen von konkreten Forschungsprojekten. Sie wurde am 20. September 2022 im Rahmen der Fachmesse InnoTrans unterzeichnet. Für die Durchführung von Forschungsprojekten im ODT ist ein enger Austausch zwischen Projektpartnern, Infrastrukturbetreibern und Aufsichtsbehörden erforderlich.

Das **LärmLab 21** ist ein wichtiger Bestandteil des ODT. Das LärmLab21 hat die Aufgabe, neue Maßnahmen zur Lärm- und Erschütterungsminderung im Schienenverkehr zu fördern. Der Schwerpunkt liegt auf akustischen Untersuchungen im Realbetrieb. Zur Vorbereitung auf die Untersuchungen wurden die Anforderungen und die Messverfahren zur experimentellen Bestimmung der Wirkung von Schall- und Erschütterungsmaßnahmen untersucht. Die Basis bilden dabei die grundlegenden Messverfahren, die in vorhergehenden Bundesinitiativen, z. B. Konjunkturpaket II und I-LENA, erarbeitet und erprobt wurden. Um reproduzierbare und repräsentative Ergebnisse zu erhalten, sind die Anforderungen an den Messabschnitt hoch. Anhand der Auswertung von Geodaten, Streckenbefahrungen und Begehungen vor Ort wurden mehrere mögliche Testabschnitte im ODT identifiziert. Neben den geographischen Bedingungen und Anforderungen an die Streckenführung und Streckengeschwindigkeit ist auch die Verkehrsauslastung auf den Streckenabschnitten ein Auswahlkriterium. Im Idealfall liegt eine gleichmäßige Verteilung der verschiedenen Zugarten des Personen- und Güterverkehrs im Testabschnitt vor. Die bisher identifizierten möglichen Testabschnitte werden in Zusammenarbeit mit den Infrastrukturbetreibern weiter für die Erprobung qualifiziert, indem relevante Eigenschaften wie Schienenrauheit und Abklingrate ermittelt werden.

Um die Beschaffung eines Schienenfahrzeugs zur Unterstützung der Forschungsaktivitäten auf dem ODT vorzubereiten, wurde eine **Markterkundung Messwagen** durchgeführt. Das Fahrzeug soll in Abhängigkeit der konkreten Projektgestaltung einsetzbar sein zur Unterstützung von

- Versuchsfahrten
- Infrastrukturversuchen
- Versuchen im Gleisumfeld
- Untersuchungen auch mit Einbeziehung von Fahrgästen und Anwohnern
- Öffentlichkeitsarbeit/Wissenstransfer

Aufgrund der weiträumigen Struktur des ODT und der Vielseitigkeit der hierauf stattfindenden Forschungsaktivitäten sind besondere Werkzeuge zur Vorbereitung und Durchführung von Forschungsarbeiten notwendig: Für die Vorbereitung von Untersuchungen im Testfeld ist ein Datensatz erforderlich, mit dem Forschende einfach die Eignung spezifischer Orte im Testfeld für ihre jeweiligen Forschungsarbeiten überprüfen können. Im Projekt [Erfassung von Infrastruktur- und Umgebungsdaten zur Vorbereitung von Forschungsarbeiten im Offenen Digitalen Testfeld](#) sollen die hierzu erforderlichen Bild- und weiterführende Daten des gesamten Testfeldes erhoben und in anwendungsgerechter Form aufbereitet werden. Der Start der Projektdurchführung ist für April 2023 geplant.

Forschung am DZSF

Um die Machbarkeit von Kühltransporten per Eisenbahn zu untersuchen, wurde im Projekt [Analyse des Energiebedarfs von Kühlcontainern auf der Schiene](#) die Energieversorgung von Kühlcontainern im Güterzug untersucht. Hierzu wurden ein Versuchszug mit Kühlcontainern und Messtechnik ausgerüstet und eine Messkampagne unter Berücksichtigung verschiedener Betriebs- und Umgebungsbedingungen im ODT durchgeführt. Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen, dass ein Transport von temperaturempfindlichen Gütern auf der Schiene mit konventionellen Mitteln technisch und betrieblich möglich ist. Das Forschungsprojekt konnte im Frühjahr 2022 abgeschlossen werden. Mit diesem ersten Projekt konnten wertvolle Erkenntnisse für den weiteren Aufbau des ODT gewonnen werden.

Im Projekt [Bahnhof der Zukunft](#) untersucht ein Forschungs- und Praxisteam, wie Bahnhöfe so gestaltet werden können, dass sie zu Knotenpunkten für eine nachhaltige Mobilität werden. Aus umfangreichen Stakeholder- und Bedarfsanalysen an den Bahnhof der Zukunft werden konkrete Maßnahmenempfehlungen für künftige Bahnhofsprojekte abgeleitet und anhand sozialwissenschaftlicher Methoden evaluiert. Nach dem Start des Projekts im März 2022 konnten erste Befragungen im ODT durchgeführt werden. Ergebnisse der umfassenden Bedarfsanalyse an die Bahnhöfe der Zukunft werden im Frühjahr 2023 erwartet.



Das Netzwerk des DZSF

Der Wissensbedarf im Schienenbereich ist hoch und wird mit zunehmender Komplexität, sich wandelnden Technologien und kürzer werdenden Innovationszyklen weiter steigen. Das DZSF fördert deshalb aktiv die Vernetzung zum Austausch von Wissen und Expertise in der Branche. Zum Netzwerk gehört die Zusammenarbeit mit Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern im Expertennetzwerk des BMDV, in internationalen Forschungseinrichtungen und mit der Agentur der Europäischen Union für Eisenbahnen (ERA). Darüber hinaus wird die Vernetzung im Schienenverkehrssektor durch ständigen Informationsaustausch organisiert.

Eine wesentliche Aufgabe der Ressortforschung ist es, Forschungsergebnisse öffentlich nutzbar zu machen. Das DZSF bereitet Methoden und Erkenntnisse praxisgerecht auf, um diese für die Überführung z. B. in das gesetzliche und untergesetzliche Regelwerk vorzubereiten. Die Forschungsergebnisse aus Projekten der Eigenforschung und der Auftragsforschung stellt das DZSF der Öffentlichkeit zur Verfügung. Die Forschungsberichte des DZSF erscheinen in der Schriftenreihe "Berichte des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung" (ISSN 2629-7973).

Erfolgreiche Forschung braucht die Diskussion. Kolloquien und Workshops zu Einzelthemen und zu Themenkomplexen ermöglichen den direkten Austausch zwischen Politik, Wissenschaft, Bahnindustrie und Unternehmen im Schienenverkehr. Damit können Expertenwissen geteilt und die Umsetzung von Forschungsergebnissen in die Praxis maßgeblich unterstützt werden. Das DZSF baut die Vernetzung und Diskussion innerhalb des Sektors mit einer Vielzahl von zielgruppen- und themenorientierten Veranstaltungen weiter aus. Eine Übersicht über alle durchgeführten Veranstaltungen findet sich auf www.dzsf.bund.de.

BMDV-Expertennetzwerk

Das DZSF ist Teil des BMDV-Expertennetzwerks Wissen-Können-Handeln, dem Zusammenschluss der Ressortforschungseinrichtungen und Behörden des BMDV. Seit 2016 bündelt das Netzwerk deren Expertise zur sicheren und nachhaltigen Entwicklung der Verkehrssysteme in Deutschland. Der Fokus liegt auf der Entwicklung von behörden- und verkehrsträgerübergreifenden Lösungsansätzen. Zum Expertennetzwerk gehören neben dem DZSF die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), der Deutsche Wetterdienst (DWD), das Bundesamt für Logistik und Mobilität (BALM), das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) sowie die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt).



Abbildung 12: Mitglieder des BMDV-Netzwerks „Wissen – Können – Handeln“. Quelle: Expertennetzwerk.

Das übergeordnete Ziel der Zusammenarbeit ist es, ein resilientes und umweltgerechtes Verkehrssystem sicherzustellen. Hieraus ergeben sich Forschungsfragen zu Anpassungsstrategien an den Klimawandel und Extremwetterereignisse, zu nachhaltigen und umweltfreundlichen Mobilitätskonzepten und zur Modernisierung der Infrastruktur. Auch die Optimierung von Verkehrsströmen, die Umsetzung und Anwendung von autonomen Systemen sowie Möglichkeiten der Digitalisierung sind Themen innerhalb des Expertennetzwerks.

In der aktuellen Phase des BMDV-Expertennetzwerks (2020–2025) sind die Schwerpunkte der gemeinsamen Forschungsarbeit die System- und Verfahrensintegration, die Integration und Vereinheitlichung von wissenschaftlichen Daten und Modellen sowie die Vernetzung. Das BMDV-Expertennetzwerk fördert dazu das Zusammenwirken von Forschung, Entwicklung und Anwendung. Es forscht in sechs Themenfeldern:

Themenfeld 1: Klimawandelfolgen und Anpassung

Aufgabe des Themenfeldes ist es, die Auswirkungen klimatischer Einflüsse und Wirkungen (z. B. Hitze, Starkregen, Sturm und Böschungsbrände, Sturmwurf, Hangrutschungen) auf Verkehr und Infrastruktur verkehrsträgerübergreifend zu analysieren, um Anpassungsoptionen zu entwickeln. Derzeit werden unter anderem die durch Starkregen verursachten Ereignisse wie Sturzfluten oder schnelle gravitative Massenbewegungen untersucht. Hierbei werden exemplarische Simulationen und Modellierungen von Hangrutschungen in Fokusgebieten mit häufigem Vorkommen von Ereignissen durchgeführt und eine bundesweite Gefahrenhinweiskarte schneller, wasserhaltiger Massenbewegungen erstellt. Die verkehrsträgerübergreifende Klimawirkungsanalyse dient der Identifikation des Klimaanpassungsbedarfs im Verkehrssystem. Zur Erhöhung der Widerstandsfähigkeit des Verkehrs und der Infrastruktur werden Managementkonzepte an Fallbeispielen erprobt und optimiert. Das Themenfeld unterstützt die Umsetzung der Ziele der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) über Forschungsbeiträge.

Themenfeld 2: Umwelt und Verkehr

Das Themenfeld forscht für die umweltgerechte Gestaltung des Verkehrs und der Infrastruktur in Deutschland. Dazu werden innovative Konzepte und Managementsysteme in den Bereichen Emission und Immission, Management gebietsfremder Tier- und Pflanzenarten und ökologische Vernetzung entwickelt und praxisorientierte Lösungen erprobt. Im Bereich der stofflichen Emissionen und Immissionen spielen zum Beispiel die Ausbreitung und der Transport von Abrieben in Boden, Wasser und Luft eine wichtige Rolle. Um den Bereich nachhaltiges Bauen im Verkehrsbereich zu fördern, wurde zudem ein Prototyp eines webbasierten Informationssystems für Baustoffe erarbeitet, der die Auswahl von umweltfreundlichen Baustoffen erleichtert.

Das DZSF leitet in diesem Themenfeld das Schwerpunktthema **Verkehrsträgerübergreifendes und spezifisches Management von invasiven Arten**. Ziel ist es, die negativen Auswirkungen gebietsfremder Arten an den verschiedenen Verkehrsträgern zu minimieren. Hierzu werden innovative Bekämpfungsmaßnahmen bewertet und erprobt sowie Frühwarnsysteme für die Verbreitung und Einfuhr neuer invasiver Arten entwickelt.

Themenfeld 3: Zuverlässige Verkehrsinfrastruktur

Eine hohe Leistungsfähigkeit und die Zuverlässigkeit der Verkehrsinfrastrukturen in Deutschland bilden eine Grundvoraussetzung für ein resilientes Verkehrssystem. Ziel des Themenfeldes ist es, Methoden zur Gewährleistung, Wiederherstellung bzw. Steigerung der Verlässlichkeit der Infrastrukturelemente zu erarbeiten und zu erproben. Für ein zuverlässigkeitsbasiertes Lebenszyklusmanagement sollen gemeinsam mit externen Partnern belastbare Informationen bereitgestellt werden. Mögliche Potenziale aus einer fortschreitenden Digitalisierung werden hierbei berücksichtigt. Das DZSF leitet dabei das Schwerpunktthema **Zustandserfassung und -bewertung**. Hier werden Projekte bearbeitet, die Grundlagen für einen verstärkten Einsatz weiterführender, zerstörungsfreier und zerstörender Prüfverfahren legen. Im Schwerpunktthema **Lebenszyklusmanagement** werden die Möglichkeiten zur Nutzung von Building Information Modeling (BIM) in der Betriebsphase von Bauwerken untersucht.

Themenfeld 4: Digitale Technologien

Der Arbeitsschwerpunkt des Themenfeldes 4 liegt auf der Nutzung der unterschiedlichen Möglichkeiten, die die Informations- und Kommunikationstechnologien für das Verkehrssystem und die Verkehrsinfrastruktur bieten. Das DZSF leitet dieses Themenfeld. Die Forschungsfragen beschäftigen sich sowohl mit der Nutzung digitaler Technologien durch die Behörden selbst als auch mit Fragen hinsichtlich der Genehmigung und Aufsicht dieser Technologien. Die Trends und Möglichkeiten neuer Entwicklungen sollen antizipiert werden, um dann in der Umsetzung der Systeme entscheidende Impulse zu setzen. Ein Anwendungsfall ist hier das automatisierte Fahren: Da die Anzahl der Eingangsgrößen bei optischen Sensoren (Kameras) nahezu unbegrenzt ist, ist ein Nachweis der Ergebnisse einer Bildbewertung nicht für alle Einzelfälle möglich. Das DZSF arbeitet gemeinsam mit dem BSH an Anforderungen zur Zertifizierung von KI-trainierter Software für das automatisierte Fahren.

Im DZSF liegt ein weiterer Schwerpunkt auf der Datenverfügbarkeit und der Datenbereitstellung. Zum einen wird untersucht, wie Geodatenplattformen aufgebaut sein müssen und welche Funktionalitäten geboten werden müssen, um die Arbeit von Behörden unterstützen zu können. Zusätzlich wird untersucht, wie die BIM-Methodik für hoheitliche Aufgaben angewendet werden kann, welche rechtlichen Aspekte zu berücksichtigen sind und welche Unterstützungspotentiale damit erreicht werden können. Am Beispiel der Aufgaben des EBA konnten mehrere Prozesse identifiziert werden, die für die Anwendung von BIM geeignet sind. Die Methoden der Datenhaltung sollen durch die Verzahnung von BIM und GIS optimiert werden, damit ein automatischer Datenaustausch erfolgen kann.



Abbildung 13: Blick auf die Verkehrsträger Straße, Wasser und Schiene. Das BMDV-Expertennetzwerk arbeitet an verkehrsträgerübergreifenden Lösungen zur nachhaltigen Verkehrsentwicklung. Foto: Enno Nilson.

Themenfeld 5: Erneuerbare Energien

Für den Schutz des Klimas und die Eindämmung des Klimawandels ist die Verringerung der Treibhausgasemissionen unumgänglich. Dafür sollen verstärkt erneuerbare Energien für die Bereitstellung von Strom und Wärme genutzt werden. Auch der Verkehrssektor kann einen Beitrag leisten, z. B. indem der Energiebedarf verringert und die Energiegewinnung mit erneuerbaren Energien auf eigenen Verkehrsflächen ausgebaut werden. Weitere verkehrsträgerübergreifende Fragestellungen umfassen die Anforderungen zur Energiebereitstellung und deren Management. Aktuelle Forschungsbeiträge in diesem Themenfeld untersuchen den Ansatz zum Austausch erneuerbarer Energien, Photovoltaik-Anwendungen zur Direkteinspeisung sowie die Integration in neuartige Tank- und Ladeinfrastrukturen mit dem Ziel, die notwendige Energie für alternative Antriebe, beispielsweise Akku- oder Wasserstoff-Triebzüge, emissionsarm bereitzustellen.

Themenfeld 6: Verkehrswirtschaftliche Analysen

Die schnelle und präzise Quantifizierung von verkehrlichen Wirkungen ist für die Forschungsarbeit sowie für die Ableitung von Handlungsempfehlungen wichtig. Im Zuge der fortschreitenden Digitalisierung entstehen neue Datensätze mit hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung, für deren Nutzung jedoch geeignete Methoden und Analysen bereitgestellt werden müssen. Das übergeordnete Ziel des Themenfeldes ist es, bestehende und neue Datensätze im Bereich Verkehr zu nutzen und geeignete Methoden zur Quantifizierung von verkehrlichen Wechselwirkungen zu entwickeln. Darüber hinaus werden bestehende Verkehrsstatistiken und Verkehrsverflechtungsmatrizen sowie Langfristverkehrsprognosen ergänzt, um beispielsweise ein umfassenderes Bild der inter- und intramodalen Verkehrsverlagerung zu erhalten. Dabei spielen auch verkehrsunabhängige Einflussfaktoren (z. B. klimatische und sozioökonomische Variablen) eine Rolle. Anhand konkreter Anwendungsfälle werden die Möglichkeiten neuer verkehrswirtschaftlicher Analysen exemplarisch demonstriert.

Internationale Zusammenarbeit

Schienenverkehr ist grenzüberschreitend. Über die technische und regulative Harmonisierung und Standardisierung soll der gemeinsame europäische Eisenbahnraum geschaffen werden, der den grenzüberschreitenden Schienenverkehr durch Reduzierung von technischen und regulativen Hürden vereinfacht.

Das DZSF bringt hierzu seine Expertise in die europäischen und nationalen Normungsgremien ein, entweder als Mitglied in der Gremienarbeit oder über die Ergebnisse von Forschungsprojekten. Auch europäische Regelungen außerhalb des eigentlichen Regulierungsbereiches, wie z. B. Regelungen des Umwelt- und Naturschutzes oder zur Cybersicherheit, haben einen wesentlichen Einfluss auf die Anforderungen an den Verkehrsträger Schiene. Insofern stehen die Forschungsthemen des DZSF in der Regel in einem europäischen oder internationalen Kontext.

Ein regelmäßiger Austausch über forschungsrelevante Themen besteht mit den Verkehrsministerien bzw. den Eisenbahnbehörden aus Österreich und der Schweiz, die über technische, betriebliche und regulative Rahmenbedingungen für den Schienenverkehr verfügen, die denen in Deutschland sehr ähnlich sind.

Im Jahr 2022 ist es gelungen, mit zwei wichtigen internationalen staatlichen Forschungseinrichtungen Kooperationen einzugehen. Das DZSF hat Kooperationsvereinbarungen mit dem Koreanischen Forschungsinstitut KRRI und dem polnischen Institut Kolejnictwa IK unterzeichnet. Die Vereinbarungen vereinfachen den wissenschaftlichen Austausch auf Arbeitsebene sowie die Kooperation bei Forschungsprojekten.

Die Europäische Kommission verfolgt mit dem Gemeinsamen Unternehmen Europe's Rail (ERJU) im Bereich Schiene den Ansatz der Forschungsförderung. Das DZSF unterstützt die Arbeiten des BMDV in diesem Kontext und engagiert sich im Gremium der Mitgliedstaaten. Ebenso ist das DZSF Mitglied der ERJU-Mitgliedstaatengruppe zur Einführung der Digitalen Automatischen Kupplung. Zusätzlich ist die Direktorin des DZSF, Prof. Dr.-Ing. Corinna Salander, Mitglied im Scientific Committee des ERJU.

Eisenbahnagentur der Europäischen Union (ERA)

Die Entwicklung des gemeinsamen europäischen Eisenbahnraumes ist ein wichtiges Ziel der Ressortforschung. Das DZSF unterstützt die europäischen Bestrebungen dazu. Die Zusammenarbeit mit der Eisenbahnagentur der Europäischen Union (ERA) ist für das DZSF von wesentlicher Bedeutung.

Das EBA hat deshalb mit der ERA eine gemeinsame Absichtserklärung (Memorandum of Understanding) abgeschlossen, in der die Ziele und Möglichkeiten der gemeinsamen Kooperation im Rahmen von Forschungs- und Entwicklungsprojekten festgehalten sind. Die Kooperation steht auch den Sicherheitsbehörden anderer Mitgliedsstaaten offen. Ziele sind der regelmäßige Austausch von Informationen zu Forschungsprojekten und die Identifizierung von gemeinsamen Forschungsbedarfen. Ein Beispiel dafür ist das laufende Projekt [Brückendynamik; dynamisches Lastmodell](#).

Ein gemeinsamer Schwerpunkt von ERA und DZSF ist der Bereich der Sicherheitskultur sowie menschlicher und organisatorischer Faktoren im Schienenverkehr (human and organisational factors – HOF). Auf Initiative der ERA startete eine Publikationsreihe zum Themenkomplex HOF in Zusammenarbeit mit dem DZSF. Ziel ist es, das Wissen zu menschlichen und organisatorischen Faktoren in der Automatisierung zu stärken und Falschannahmen (Mythen) entgegenzutreten. Internationale Forscherinnen und Forscher setzen sich in Fachartikeln anhand von Beispielen aus dem Schienenverkehr jeweils mit einem Automatisierungsmythos auseinander. Seit Dezember 2021 sind in der Reihe drei Publikationen erschienen.



Abbildung 14: Schienenverkehr stößt an Landesgrenzen oft auf technische und organisatorische Hürden. Im Bild: der Grenzbahnhof Venlo zwischen Deutschland und den Niederlanden. Hier enden einige niederländische und deutsche Zuglinien. Foto: G. Stolk/flickr.

Instytut Kolejnictwa

Das Instytut Kolejnictwa (IK) ist ein etabliertes staatliches Forschungsinstitut in Polen mit den Aufgaben einer Zertifizierungsstelle (Notified and Designated Body). Die Kooperation zwischen dem IK und dem DZSF beinhaltet den fachlichen Austausch und die Durchführung gemeinsamer For-

schungsvorhaben. Es bestehen gemeinsame Forschungsthemen insbesondere in den Bereichen Umwelt und nachhaltige Mobilität, Sicherheit und Digitalisierung im Bahnsektor. Die geplante Zusammenarbeit beinhaltet darüber hinaus die Nutzung der Eisenbahnforschungs- und Testinfrastruktur beider Partner und die Veröffentlichung wissenschaftlicher Artikel in Fachzeitschriften beider Länder.

Korean Railroad Research Institute

Das Korean Railroad Research Institute (KRRI) führt staatliche Forschungs- und Entwicklungsleistungen für den Verkehrsträger Schiene durch. Es ist zudem die Zertifizierungsstelle in Korea. Die rund 270 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler erforschen und entwickeln neue Technologien, die in Zusammenarbeit mit der koreanischen Bahnindustrie erprobt werden. Das KRRI besitzt umfassende Forschungsinfrastruktur mit eigenen Testgleisen und Laboren. Hochgeschwindigkeitsverkehre sind ein Forschungsschwerpunkt des KRRI. Insgesamt verfolgt das Institut einen vergleichbar interdisziplinären Ansatz wie das DZSF. Die Bahnsysteme und die damit verbundenen Ziele und Herausforderungen in Korea und Deutschland weisen große Ähnlichkeiten auf und bilden die Grundlage für die Forschungskooperation. Im Bereich Lärm- und Erschütterungsschutz wird für das Jahr 2023 ein erstes gemeinsames Projekt entwickelt.



Abbildung 15: Im Rahmen der Messe InnoTrans haben DZSF und KRRI die zukünftige Zusammenarbeit in einem Memorandum of Understanding vereinbart. Im Bild: Seok-Youn Han, Ph.D., Präsident KRRI und Gerald Hörster, Präsident des Eisenbahn-Bundesamts. Foto: DZSF/Ham.





Veranstaltungen

Das DZSF veranstaltet regelmäßig **Fachtagungen und Workshops** zu unterschiedlichen Themen des Sektors, um den intensiven Austausch zwischen Wissenschaft, dem Sektor und der Politik zu aktuellen Themen und Entwicklungen zu fördern. Darüber hinaus unterstützt das DZSF das BMDV bei der Ausrichtung des jährlichen **Workshops Zukunft Schienenverkehrsforschung**. Hier gibt es einen Einblick in ausgewählte Veranstaltungen aus dem Jahr 2022. Eine vollständige Liste der DZSF-Veranstaltungen findet sich auf der DZSF-Webseite.

DZSF-Camp

09.-10. Mai 2022

Erstmals seit seinem Bestehen veranstaltete das DZSF mit dem DZSF-Camp eine Klausurtagung in der Tagungsstätte Schloss Buchenau bei Bad Hersfeld. Pandemiebedingt konnten sich alle Beschäftigten erstmals gemeinsam treffen und austauschen – drei Jahre nach der Gründung des Forschungszentrums.

An zwei Tagen diskutierten die Teilnehmenden wichtige Fragestellungen für die Erfüllung des Auftrags des DZSF. Das Leitbild stand zunächst im Mittelpunkt. Die Fortschreibung des Leitbildes erfolgt in Abstimmung zwischen Leitung und den Beschäftigten. Ein zweiter Themenblock diente dem Erfahrungsaustausch und der Ideensammlung für erfolgreiches Netzwerken innerhalb des DZSF, im Bahnsektor sowie in Wissenschaft und Forschung. Die Durchführung externer Forschungsprojekte wurde diskutiert: hinsichtlich der Erfolgsfaktoren, der Zusammenarbeit mit Auftragnehmern und der projektbegleitenden Öffentlichkeitsarbeit. Die Ergebnisse der Workshops sind Grundlage für die weitere Organisationsentwicklung des Forschungszentrums.

Das DZSF-Camp bot neben intensiver fachlicher Arbeit Raum für das persönliche Kennenlernen der Kolleginnen und Kollegen aus Dresden und Bonn. Es leistete damit einen außerordentlichen Beitrag zum Teambuilding im DZSF.



Abbildung 16: *Erstmals trafen sich alle Kolleginnen und Kollegen beider DZSF-Standorte in einer gemeinsamen Klausurtagung in der Tagungsstätte Schloss Buchenau. Foto: DZSF.*

Workshop Schienengüterverkehr

04. Juli 2022

In diesem Jahr lud das DZSF erstmals zu einem Workshop zum Schienengüterverkehr. Im Fokus standen drei spezielle Themengebiete: die Abfallverbringung per Eisenbahn, die Verkehrsverlagerung Straße-Schiene sowie erfolgreiche Projektumsetzungen aus dem Bundesprogramm Zukunft Schienengüterverkehr (Z-SGV).

Linnéa Kölsch, DZSF, gab einen Überblick zum regulatorischen Rahmen von Abfallverkehren. Daran knüpfte Christopher Prax-Huber, ÖBB Rail Cargo, mit realen Lösungen für Abfalltransporte per Güterzug und aktuellen Umschlagsystemen an. Patrick Balasa, Allianz pro Schiene, präsentierte Beispiele, bei denen Güterkunden sich für die Eisenbahn anstatt des LKWs als Transportmittel entschieden haben. In vielen Fällen bedarf es als Voraussetzung dafür eines leistungsfähigen und maßgeschneiderten Gleisanschlusses. Friedrich Gitterle, AnschlussBahnProfis, stellte Aspekte zur Planung, Bau und Reaktivierung von Gleisanschlüssen vor. Im Anschluss berichteten Vertreter ausgewählter, durch das Bundesprogramm Z-SGV geförderte Projekte: Hendrik Eichentopf, modility GmbH, präsentierte die neue Buchungsplattform modility, die einen niedrigschwelligen, besonders kundenfreundlichen Einstieg in den Kombinierten Verkehr bietet. Dr. Holger Schmidt, DB Cargo AG, berichtete zum innovativen modularen Güterwagen m².



Abbildung 17: Der modulare Güterwagen m², entwickelt durch die DB Cargo AG, gefördert durch das vom DZSF betreute Bundesprogramm Z-SGV. Der neue Wagen wurde auf der Messe InnoTrans vorgestellt. Foto: DZSF/Menzel.

Fachmesse InnoTrans

20.-23. September 2022

Die InnoTrans, die Internationale Fachmesse für Verkehrstechnik, war der Jahreshöhepunkt 2022 der Branche. Das DZSF konnte sich erstmals seit seinem Bestehen auf der Messe präsentieren. Am Gemeinschaftsstand mit EISENBAHN-CERT (EBC) und dem Eisenbahn-Bundesamt konnten sich Interessierte über die aktuellen, interdisziplinären Forschungsvorhaben des DZSF sowie über Forschungsergebnisse informieren. Das Team des DZSF, das die Förderrichtlinie Zukunft Schienengüterverkehr (Z-SGV) umsetzt, stellte am benachbarten Stand des BMDV die Förderrichtlinie und verschiedene Best Practice-Beispiele vor.

Höhepunkte der Messewoche waren insbesondere die Unterzeichnungen von Kooperationsvereinbarungen mit dem Korean Railroad Research Institute (KRRI) und dem Instytut Kolejnictwa (IK) aus Polen. Der wissenschaftliche Austausch mit diesen renommierten Forschungsinstituten, unter anderem in den Bereichen Lärm oder vorausschauende Instandhaltung, bietet dem DZSF die Möglichkeiten, seine Forschungsarbeit auch international zu präsentieren. Außerdem unterzeichneten EBA und DZSF gemeinsam mit der Deutschen Bahn AG eine Kooperationsvereinbarung zum Offenen Digitalen Testfeld des DZSF. Die Vereinbarung steckt den Rahmen der Zusammenarbeit ab und bildet eine wichtige Grundlage für die Durchführung konkreter Forschungsprojekte auf dem Testfeld.



Abbildung 18: Im Rahmen der InnoTrans wurde die zukünftige Zusammenarbeit zwischen DZSF und dem Korean Rail Research Institute (KRRI) beschlossen. Die beiden Institute präsentieren dazu ihre aktuellen Forschungsarbeiten. Foto: DZSF/Ham.

Fachtagung: 9-Euro-Ticket

04. November 2022

Die Einführung des 9-Euro-Tickets für drei Monate im Sommer 2022 war ein außergewöhnlicher Feldversuch, Mobilitätsverhalten durch eine politische Maßnahme flächendeckend zu beeinflussen. Entsprechend viele Akteure haben die Auswirkungen des 9-Euro-Tickets durch Evaluationen oder wissenschaftliche Projekte untersucht. Das DZSF hat verschiedene Forschungsprojekte von Hochschulen, Verbänden und Datenanbietern in einer Fachtagung zusammengebracht. Ziel der Tagung war ein Austausch über die Methoden der Begleitforschung und die Anforderungen an Begleitforschung zukünftiger verkehrspolitischer Maßnahmen. Methodisch stand dabei zunächst die subjektive Sicht der Nutzerinnen und Nutzer im Fokus, basierend auf Ergebnissen von Umfragedaten. Im Anschluss wurden Analysen von Verhaltensdaten vorgestellt. In der darauffolgenden Diskussion stand der Erfahrungsaustausch der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im Mittelpunkt. Zusätzlich wurden themenbezogen weitere Studien vorgestellt. Trotz der teilweise sehr unterschiedlichen Herangehensweisen lassen sich viele Überschneidungen in den Ergebnissen feststellen. Innerhalb der Begleitforschung hat es viele neue und kreative Ansätze gegeben, die für die Zukunft weiter geschärft werden sollten und mit klassischen Ansätzen, etwa der Umfrageforschung, verknüpft werden können. Die Fachtagung hat gezeigt, wie vielfältig die Evaluationen und Begleitforschungsprojekte zum „Verkehrsexperiment 9-Euro-Ticket“ waren und wie wichtig die Vernetzung mit anderen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern ist, um zu breit aufgestellten und verlässlichen Ergebnissen zu kommen.

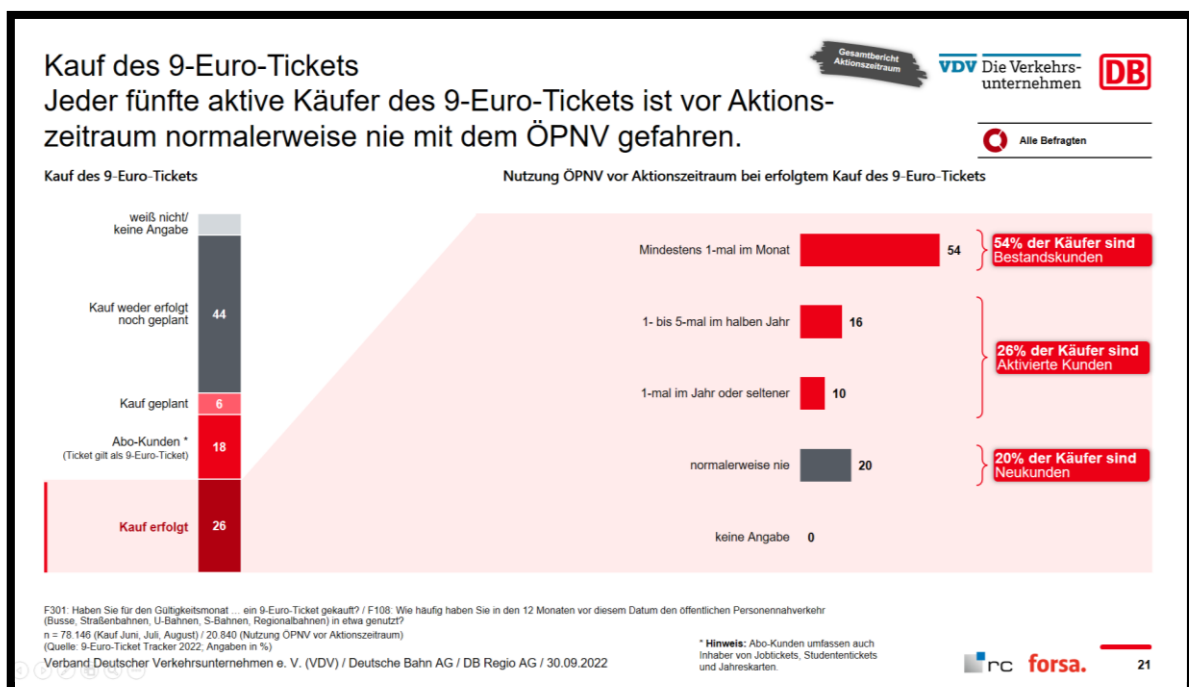


Abbildung 19: Einblick in die Begleitforschung zum 9-Euro-Ticket: Auszug aus dem Vortrag des VDV mit Informationen zu den Käuferinnen und Käufern des Tickets. Quelle: VDV.

Zukunftsforum ATO

22. November 2022

Unter dem Leitsatz „Verifizieren, Validieren, Zulassen“ hatte das DZSF zum Zukunftsforum ATO (Automatic Train Operation; deutsch: Automatisierter Zugbetrieb) eingeladen. Nach 2019 und 2021 war es die dritte ATO-Fachkonferenz des DZSF. In diesem Jahr standen Fragen rund um den Sicherheitsnachweis technischer ATO-Systeme im Mittelpunkt. Für die Nutzung im Regelbetrieb muss die Sicherheit der benötigten technischen Systeme und der damit realisierbaren Betriebsverfahren nachgewiesen werden.

Hier wurden Ergebnisse aus zwei aktuellen Forschungsprojekten des DZSF vorgestellt: Die beiden ATO-Projekte **Funktionale Anforderungen an Sensorik und Logik einer ATO-Einheit** und **Risikoakzeptanzkriterien für den automatisierten Fahrbetrieb (ATO Risk)** dienen dazu, die Grundlage für diese Sicherheitsnachweise zu schaffen. Dabei dient die Leistungsfähigkeit heutiger Systeme mit menschlicher Steuerungshoheit als Orientierung für die Erarbeitung der benötigten Sicherheitsakzeptanzkriterien beim hochautomatisierten Fahrbetrieb. Das Projekt „ATO Cargo Betuweroute“, gefördert durch das Bundesprogramm Zukunft Schienengüterverkehr (Z-SGV), stellte ebenfalls seine Arbeit vor. Hier werden die Möglichkeiten zur Optimierung von Streckenkapazität und Transportqualität durch automatisiert fahrende Güterzüge untersucht. Das DZSF berichtete außerdem aus der eigenen Forschungsarbeit zum Risikomanagement und über weitere Forschungsbedarfe, wie die Validierung der Umfeldüberwachung von Zügen durch Künstliche Intelligenz, und stellte zukünftige Projektideen vor. Auf Zustimmung stieß insbesondere die geplante Entwicklung von Testszenarien. Expertinnen und Experten aus Industrie, Wissenschaft, Genehmigung und Aufsicht diskutierten über offene Fragen auf dem Weg zur Zulassung innovativer ATO-Systeme. Die internationale und nationale Abstimmung und Kooperation sowie ein einheitliches Begriffsverständnis sind aus Sicht der Experten für die weitere Entwicklung besonders wichtig.

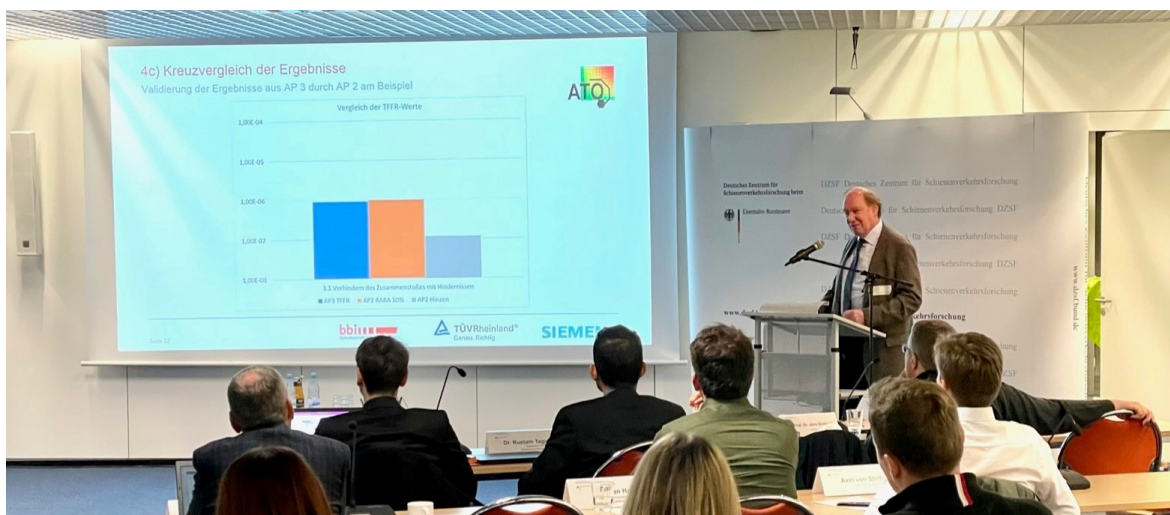


Abbildung 20: Endlich auch wieder in Präsenz: Beim der hybriden Veranstaltung nahmen rund 100 Personen digital und 33 Personen vor Ort in Bonn teil. Foto: DZSF/Sossenheimer.

Workshop: Zukunft der Schienenverkehrsforschung

10. November 2022

Seit 2016 führt das BMDV jährlich einen Workshop zur Zukunft der Schienenverkehrsforschung durch. Seit der DZSF-Gründung 2019 veranstalten DZSF und BMDV den Workshop gemeinsam. 2022 fand er pandemiebedingt zum dritten Mal als virtuelle Veranstaltung statt.

Ziel des Workshops ist es, einen Überblick über aktuell laufende und zukünftige Forschungsaktivitäten des BMDV und im DZSF zu geben. Der Parlamentarische Staatssekretär im BMDV, Michael Theurer, MdB, konnte dazu in diesem Jahr rund 50 Teilnehmende begrüßen. Das im BMDV für die Schienenverkehrsforschung zuständige Referat E 12 (Lärm-, Umwelt- und Klimaschutz, Forschungsangelegenheiten im Eisenbahnbereich) stellte die grundsätzlichen Anforderungen an die Schienenverkehrsforschung aus Sicht des Ministeriums vor. DZSF-Direktorin Prof. Dr.-Ing. Corinna Salander präsentierte in ihrem Vortrag die Rolle des DZSF als Ressortforschungseinrichtung.

Das DZSF berichtete aus seinen aktuellen Forschungsschwerpunkten *Cybersicherheit* und *Reaktivierung von Schienenstrecken*. Im Mittelpunkt standen neben der aktuellen Forschung auch jeweils ein Ausblick auf zukünftige Fragestellungen. Ein weiterer Vortrag des DZSF widmete sich der Forschung im BMDV-Expertenetzwerk, hier stand das Themenfeld 6 *Verkehrswirtschaftliche Analysen* im Fokus des Vortrags. Als eine der großen Herausforderungen wurde die Verfügbarkeit und Qualität der für die Analysen zu nutzenden Daten herausgearbeitet. Die Deutsche Bahn AG stellte den aktuellen Stand des Projekts DAC4EU vor, in dem die digitale automatische Kupplung für den Schienengüterverkehr erprobt wird. Fester Bestandteil des Forschungsworkshops ist außerdem ein Beitrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung zu den europäischen Forschungsaktivitäten. Hier wurden die Rahmenbedingungen des EU-Forschungsprogramms Horizon Europe vorgestellt. Der Blick von außen auf die Schienenverkehrsforschung rundete die Veranstaltung ab: Vertreterinnen des forschenden und entwickelnden Mittelstandes und eines Beratungshauses unterstrichen in ihren Vorträgen, wie wichtig die Erprobung und Implementierung von Forschungsergebnissen im Bahnsektor ist.



U72 Ratingen Mitte
Weststraße
Über Wehrhahn 5
Schlüterstr. / Arbeitsagentur



U72 Ratingen Mitte
Weststraße
Über Wehrhahn 5
Schlüterstr. / Arbeitsagentur

U72 Ratingen Mitte
Weststraße

3315

WAG 10000000

Organisation

Das Jahr 2022 war das vierte Jahr seit der Gründung des DZSF. Die Personalgewinnung ist weitgehend abgeschlossen, im Fokus steht nun die Festigung der internen Organisation. Die Haushaltsmittel für das DZSF werden über den Haushalt des BMDV bereitgestellt.

Personal

Die Personalkapazitäten des DZSF ergeben sich aus den grundfinanzierten Stellen im Haushaltsplan des BMDV, zusätzlichen Mitteln über das BMDV-Expertennetzwerk und Personalmitteln aus weiteren Drittmittelprojekten. Am 23. Mai 2019 wurde das DZSF als Ressortforschungseinrichtung des Bundes in Dresden gegründet. Seitdem ist es gelungen, in Dresden und Bonn ein 65-köpfiges, interdisziplinäres Forscherteam zusammenzustellen.

| | | Forschungsbereich | | | | | | Gesamt |
|---|----------|-------------------|----------------------|--------------------|----------------------------------|------------|--------------------|--------|
| | | Stab | Strategische Planung | Wirtschaftlichkeit | Umwelt und nachhaltige Mobilität | Sicherheit | Querschnittsthemen | |
| Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler | | | | | | | | |
| Insgesamt | VZÄ | 1 | 6,38 | 10,37 | 12,81 | 7,7 | 10,93 | 49,19 |
| | Personen | 1 | 7 | 11 | 14 | 8 | 12 | 53 |
| <i>darunter befristet</i> | VZÄ | | | 2,61 | 5,8 | | 2,5 | 10,91 |
| | Personen | | | 3 | 6 | | 3 | 12 |
| davon Drittmittelfinanziert | | | | | | | | |
| Insgesamt | VZÄ | | | | 0,8 | | 1 | 1,8 |
| | Personen | | | | 1 | | 1 | 2 |
| <i>darunter befristet</i> | VZÄ | | | | 0,8 | | 1 | 0,8 |
| | Personen | | | | 1 | | 1 | 1 |
| Technik und Verwaltung | | | | | | | | |
| Insgesamt | VZÄ | 5,15 | 5,17 | | | | | 10,32 |
| | Personen | 6 | 6 | | | | | 12 |
| <i>darunter befristet</i> | VZÄ | 1 | 5,17 | | | | | 6,17 |
| | Personen | 1 | 6 | | | | | 7 |
| Gesamt | | | | | | | | |
| | VZÄ | | | | | | | 59,51 |
| | Personen | | | | | | | 65 |

Tabelle 2: Personal des DZSF 2022, Stand: 31.12.2022.

Haushalt

Der Wirtschaftsplan des DZSF für das aktuelle Jahr ist im Haushaltsgesetz 2022 vom 19.06.2022 niedergelegt. Grundfinanzierung und Planstellen werden in den Kapiteln 1210 und 1217 festgeschrieben. Die Auftragsforschung des DZSF wird zusätzlich auch aus den Kapiteln 1202, 1217 und 1210 finanziert.

Haushaltsmittel des DZSF 2022

| | <i>Kapitel</i> | <i>Titel</i> | <i>HH 2022**</i> |
|--|----------------|--------------|------------------|
| Personalausgaben | | | |
| Grundfinanziertes DZSF-Personal | 1217 | 422 31 | 925 |
| BMDV-Expertennetzwerk* | 1210 | 427 39 1 | 550 |
| Verwaltungsausgaben | | | |
| Aus- und Fortbildung | 1217 | 525 31 4 | 33 |
| Dienstreisen | 1217 | 527 31 4 | 40 |
| Allgemeine Verwaltungsausgaben | 1217 | 539 39 4 | 47 |
| BMDV-Expertennetzwerk* | 1210 | 547 31 7 | 89 |
| Forschung- und Entwicklung | | | |
| Forschung, Untersuchung und Ähnliches / Ressortforschung BMDV | 1202 | 544 01 | 22.000 |
| Maßnahmen zur Lärmsanierung (Lärmgutachten)* | 1202 | 891 05 | 90 |
| Forschung, Untersuchung und Ähnliches / Ressortforschung EBA | 1217 | 544 01 0 | 725 |
| BMDV-Expertennetzwerk* | 1210 | 544 31 4 | 372 |
| Forschungsprogramm Stadtverkehr, Straßenbahnverkehr* | 1206 | 544 01 3 | 224 |
| Sonderprogramme | | | |
| Bundesprogramm Zukunft Schienengüterverkehr | 1210 | 683 51 7 | 39.475 |

* Anteil des DZSF, **in 1.000 EUR

Tabelle 3: Übersicht Haushaltsmittel des DZSF 2022 laut Bundeshaushaltsgesetz 2022 vom 19.06.2022.



Ausblick 2023

Nach dem ersten Jahr im "Normalbetrieb" steht dem DZSF im Jahr 2023 bereits der erste große Umbruch bevor. Die Direktorin Prof. Dr. -Ing. Corinna Salander verlässt das DZSF Anfang des Jahres, um im BMDV die Leitung der Abteilung Eisenbahnen zu übernehmen. Das DZSF kann auf drei erfolgreiche Jahre der Aufbauarbeit unter ihrer Leitung zurückschauen. Auf dieser guten Basis kann das DZSF seine Aufgaben als Ressortforschungseinrichtung erfüllen und der Aufbau weitergeführt werden.

Für den kontinuierlichen Aufbau unseres Forschungszentrums stehen mit dem aktuellen Bundeshaushalt im Jahr 2023 erstmalig Mittel für den Aufbau der Forschungsinfrastruktur im nennenswerten Umfang zur Verfügung. Die Forschungsinfrastruktur des DZSF wird die Forschungsarbeiten für die beschleunigte Einführung von Innovationen in die Praxis unterstützen. Die Finanzmittel für neue Projekte der Auftragsforschung nutzt das DZSF, um wichtige Forschungsfragen für die Weiterentwicklung des Verkehrsträgers Schiene beantworten zu können und die Forschungsergebnisse öffentlich nutzbar zu machen.

Die neuen Rahmenbedingungen ermöglichen dem DZSF, sich als wichtiger Akteur insbesondere im deutschsprachigen Bahnsektor weiter zu etablieren. Im Jahr 2023 wird das DZSF die Zusammenarbeit mit Forschungseinrichtungen im europäischen und internationalem Umfeld ausbauen. Das DZSF freut sich auf die geplanten gemeinsamen Forschungsaktivitäten.

Für die Vernetzung ist das persönliche Treffen untereinander wichtig. Während die Veranstaltungen des DZSF in den vergangenen Jahren vornehmlich virtuell stattfinden mussten, wird das DZSF diese nun wieder vermehrt als Präsenz- oder Hybrid-Formate durchführen. Damit wird der fachliche Austausch mit dem Sektor weiter intensiviert.

Im fünften Jahr des Bestehens stehen weiterhin Neuerungen und Herausforderungen für die junge Ressortforschungseinrichtung DZSF an. „Normalbetrieb“ bedeutet deshalb, dass die Entwicklung des DZSF kontinuierlich weitergeht. Zusammen mit den Herausforderungen für den Verkehrsträger Schiene macht das die Arbeit des DZSF spannend und vielfältig.



Anhang

Forschungsprojekte

Laufende Projekte

| Titel | Auftragnehmer | Laufzeit in Monaten | Volumen |
|---|--|----------------------|--------------|
| Klima- und kapazitätsoptimierte Logistik (Los 1) | Railistics GmbH | 48 (12/2022-12/2026) | 939.719,20 € |
| Klima- und kapazitätsoptimierte Logistik (Los 2) | SCI Verkehr GmbH | 48 (12/2022-12/2026) | 667.114,00 € |
| Klima- und kapazitätsoptimierte Logistik (Los 3) | Railistics GmbH | 48 (12/2022-12/2026) | 647.252,90 € |
| Klima- und kapazitätsoptimierte Logistik (Los 4) | Railistics GmbH, in Bietergemeinschaft | 48 (12/2022-12/2026) | 596.237,60 € |
| Betriebsregime der oberleitungslosen Traktion im Schienengüterverkehr | IFB Institut für Bahntechnik GmbH | 24 (12/2022-12/2024) | 476.000,00 € |
| Natur auf Zeit - Dynamische Lebensräume an Verkehrsträgern | ANUVA Stadt- und Umweltplanung GmbH | 24 (12/2022-12/2024) | 149.940,00 € |
| Modellentwicklung zur Analyse der Widerstandsfähigkeit intermodaler ÖPNV-Netze unter betrieblichen Störfällen | Technische Universität Dresden | 24 (12/2022-12/2024) | 283.755,16 € |
| Sanfte Maßnahmen zur Begleitung der Reaktivierung von Bahnstrecken | Statista GmbH | 18 (12/2022-08/2024) | 188.615,00 € |
| Reaktivierung von Bahnstrecken in Grenzregionen: Fakto- | nexus Institut GmbH | 12 (12/2022-12/2023) | 169.491,70 € |

| Titel | Auftragnehmer | Laufzeit in Monaten | Volumen |
|---|--|----------------------------|----------------|
| ren zur Stärkung des Schienenpersonenverkehrs in Grenzregionen | | | |
| Forschungsstand zu allgemeinen Vorgaben für die ETCS-Umrüstung | k + v Ingenieurgesellschaft mbH | 12 (12/2022-12/2023) | 95.200,00 € |
| Evaluierung des Einsatzes von Artenspürhunden zur Erfassung von Reptilien | Bioplan Marburg GmbH | 30 (11/2022-5/2025) | 159.888,40 € |
| Interessensgruppenerwartungen und gesellschaftliche Akzeptanzbedingungen im automatisierten Schienenverkehr bei GoA3+ | Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) | 36 (11/2022-11/2025) | 624.136,79 € |
| Fahrzeugbeschaffungsprozesse im städtischen SPNV | TÜV Rheinland Intertraffic GmbH | 24 (11/2022-11/2024) | 370.288,73 € |
| Auswirkungen von Schneefall und Frost auf den deutschen Schienenverkehr: Folgen und Handlungsbedarf - heute und in Zukunft | Institut für Bahntechnik GmbH | 18 (10/2022-06/2024) | 200.331,11 € |
| Prädiktive Instandhaltung – Konzept einer Datenplattform für PM-Anwendungen im Schienenverkehr (PM-Plattform) | DB Systemtechnik GmbH - NL Minden | 18 (10/2022-06/2024) | 232.418,90 € |
| Nachweisführung zur Verwendbarkeit von Scheiben aus Verbundsicherheitsglas (VSG) als Ausfachung von Lärmschutzwandelementen zur An- | MFPA Leipzig | 36 (05/2022-05/2025) | 594.101,55 € |

| Titel | Auftragnehmer | Laufzeit in Monaten | Volumen |
|---|--|----------------------------|----------------|
| wendung in Lärmschutzanlagen in Pfosten-Element-Bauweise | | | |
| Ermittlung der Belastung von Niederschlagsabwasser auf stark genutzten Bahnstandorten (SPEZI) | Beak Consultants GmbH mit GEPRO mbH | 24 (05/2022-05/2024) | 499.800,00 € |
| Erstellung eines Lastansatzes für parallel zum Gleis wirkende Druck- und Sogkräfte im Schienenverkehr | DB Systemtechnik GmbH | 18 (04/2022-08/2023) | 136.731,00 € |
| Bahnhof der Zukunft | ISOE - Institut für sozial-ökologische Forschung | 36 (02/2022-02/2025) | 940.487,20 € |
| Ermittlung des Anpassungsbedarfs der Regelwerke zwecks Anwendung diagnosebasierter Instandhaltung der Schieneninfrastruktur | DB Systemtechnik GmbH | 12 (02/2022-02/2023) | 273.462,00 € |
| Sensorbasierte Technologien im Bahnsystem: Markt- und Technologieanalyse | SSP Consult, Waldkirch, IFB Berlin | 18 (12/2021-12/2023) | 481.375,23 € |
| Identifikation und Bewertung von BIM-Prüfroutinen für die Aufsichtsbehörde | Schuessler-Plan Ingenieurgesellschaft mbH | 12 (12/2021-12/2022) | 245.151,90 € |
| CASPIAN Weiterentwicklung und Erweiterung des in ExpN 1.0 entwickelten Prognose-Modells von Einfuhr und Ausbreitung invasiver Arten | Senckenbergische Naturforschende Gesellschaft | 36 (11/2021-11/2024) | 232.850,92 € |
| Gewässermonitoring an Schienenwegen (Identifizierung und | Beak Consultants GmbH | 48 (10/2021-10/2025) | 538.358,38 € |

| Titel | Auftragnehmer | Laufzeit in Monaten | Volumen |
|---|--|---|----------------|
| Quantifizierung der Schadstoffleistungen von Gleisabwässern) | | | |
| Entwicklung ETCS Labor (Soft und Hardware) | CLEARSY | 24 (10/2021-10/2023) | 613.786,53 € |
| Potenzialstudie Photovoltaik-Anwendungen an der Schieneninfrastruktur | TÜV Rheinland InterTraffic GmbH | 14 (10/2021-12/2022) | 279.672,61 € |
| Infrastrukturdatenhaltung mit BIM und GIS, Beschreibung möglicher Detaillevel (MVD) | Zentrum für angewandte Forschung und Technologie e.V. (ZAFT) | 12 (10/2021-10/2022) | 107.389,87 € |
| Aufbereitung von Datensätzen für Anwendungen des automatisierten Fahrens im Eisenbahnbetrieb (Offene Daten ATO-Forschung) | Fusion Systems GmbH | 8 (10/2021-06/2022) (Verlängerung + Nachtrag) | 240.685,71 € |
| Normierbares Verfahren zur Bestimmung der Restlebensdauer von Lärmschutzwänden | H+P Ingenieure GmbH | 18 (08/2021-02/2023) | 273.105 |
| Modernisierung der Antriebskonzepte für Nebenfahrzeuge | Dornier Consulting International GmbH | 16 (08/2021-12/2022) | 179.999,40 € |
| Methodische Unterstützung Ressortforschung DZSF: Trend Scouting | d-fine GmbH | 12 (08/2021-08/2022) | 409.122,00 € |
| Methodik Kapazitätsbewertung des Gesamtsystems | VIA Consulting & Development GmbH | 36 (07/2021-07/2024) | 949.382,00 € |

| Titel | Auftragnehmer | Laufzeit in Monaten | Volumen |
|---|---------------------------------------|----------------------------|----------------|
| Größenspezifische und räumliche Verteilung von Abrieben und partikulären Emissionen | Technische Universität Graz | 24 (07/2021-07/2023) | 396.798,36 € |
| Methoden für das Monitoring der LST-Infrastruktur | DB Netz AG | 24 (05/2021-05/2024) | 345.100,00 € |
| Kapazitätsoptimierte Vegetationsplanung | Institut für Bahntechnik GmbH | 24 (05/2021-05/2023) | 143.966,20 € |
| Schwingungsverhalten der Oberleitung bei mehreren Stromabnehmern | Institut für Bahntechnik GmbH | 24 (05/2021-05/2023) | 248.840,90 € |
| Möglichkeiten zur Umsetzung konstruktiver Bauteile an Oberleitungsanlagen der Deutschen Bahn zum Vogelschutz | Institut für Bahntechnik GmbH | 18 (04/2021-03/2023) | 349.979,00 € |
| Emissionen und Immissionen aus dem Schienenverkehr – Luftschadstoff-Monitoring und Ausbreitungsberechnung | Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG | 36 (03/2021-03/2024) | 999.094,77 € |
| Automatisierte Betriebsfunktion von Straßenbahnfahrzeugen: Bewertung der Potentiale von Technologien zum vernetzen Fahren | Albtal-Verkehrsgesellschaft mbH (AVG) | 15 (02/2021-05/2022) | 285.000,00 € |
| Sensitivitätsanalyse Vegetation entlang der Bundesverkehrswege bezüglich Extremwetter & Klimawandel | Luftbild Umwelt Planung GmbH | 24 (01/2021-12/2022) | 191.923,20 € |
| Charakterisierung und Identifizierung von Ausbreitungs- | Bietergemeinschaft des Zent- | 36 (12/2020-12/2023) | 777.635,25 € |

| Titel | Auftragnehmer | Laufzeit in Monaten | Volumen |
|--|---|----------------------------|----------------|
| mustern von Niederschlagswasser und Schadstoffen in Gleisanlagen | rums für Angewandte Forschung und Technologie (ZAFT) e.V. | | |
| Risikoakzeptanzkriterien für ATO | Siemens Mobility GmbH | 24 (12/2020-01/2023) | 499.026,50 € |
| Cybersecurity - Identifikation bestehender Angriffspotentiale | IVE – Ingenieurgesellschaft für Verkehrs- und Eisenbahnwesen mbH (IVE mbH), TU Braunschweig, CreaLab GmbH | 24 (12/2020-06/2023) | 439.022,60 € |
| Prognose Securitybedarf und Bewertung möglicher Sicherheitskonzepte für das System Bahn | NEXTRAIL GmbH | 36 (11/2020-11/2023) | 723.067,80 € |
| Geeignete Werkstoffwahl zur Vermeidung von Sprödbrüchen bei Brückenauflagern und Festhaltekonstruktionen | Technische Hochschule Mittelhessen | 36 (11/2020-06/2024) | 791.183,60 € |
| Identifikation von Kapazitätsengpässen | Quattron management consulting GmbH | 34 (11/2020-09/2023) | 405.935,00 € |
| Funktionale Anforderungen an Sensorik und Logik einer ATO-Einheit | TU Berlin, Siemens Mobility GmbH | 36 (10/2020-10/2023) | 1.176.000,00 € |
| Analysen zu schnellen wasserhaltigen Massenbewegungen | geo7 AG, Geomer GmbH | 24 (10/2020-09/2022) | 290.955,00 € |
| Entwicklung eines Alternativverfahrens zur chemischen | Institut für Schienenfahrzeuge und | 36 (08/2020-08/2023) | 2.999.999,89 € |

| Titel | Auftragnehmer | Laufzeit in Monaten | Volumen |
|--|---|----------------------------|-----------------|
| Vegetationskontrolle auf Gleisanlagen | Transportsysteme, RWTH Aachen | | |
| Ermittlung der für die Instandhaltung relevanten Faktoren im BIM-System / BIM für die Instandhaltung | Ramboll Deutschland GmbH | 18 (8/2020-02/2022) | 184.999,99 € |
| DAK Demonstrator | DAC4EU | 48 (06/2020-06/2024) | 23.291.156,24 € |
| Potentialanalyse Einsatz von kohlenstoffbasierten Materialien als Mittel zum Klimaschutz | Fraunhofer IWM, München (Los 1-3) Leichtbau-Zentrum Sachsen GmbH, Dresden (Los 4) | 18 (12/2020-11/2022) | 1.188.111,29 € |
| Brückendynamik; dynamisches Lastmodell | TU Darmstadt, AIT Austrian Institute Of Technology, Universität Leuven und Revotec GmbH | 42 (01/2020-06/2023) | 1.204.269,64 € |

In 2022 abgeschlossene Projekte

| Titel | Auftragnehmer | Laufzeit in Monaten | Volumen |
|---|---|----------------------------|----------------|
| Migration Lärmschutzdatenbank | Materna Information & Communications SE | 4 (06/2022-10/2022) | 42.126,00 € |
| Kostenoptimierung Bau und Betrieb für Nebenbahnen | Institut für Bahntechnik GmbH | 18 (02/2021-08/2022) | 178.500,00 € |

| Titel | Auftragnehmer | Laufzeit in Monaten | Volumen |
|---|--|----------------------------|----------------|
| Potenzialermittlung von Laserscanneraufnahmen für die Zustandsüberwachung | Vermessungsbüro Rink GbR | 9 (09/2021-06/2022) | 498.456,49 € |
| Alternative Antriebe 4: Trans-europäische H2-Verfügbarkeit für den Schienenverkehr | Ramboll Deutschland GmbH | 7 (08/2021-05/2022) | 164.220,00 € |
| Untersuchung und Auswirkung des Verschleißverhaltens neuer Rad-Schienen-Paarungen | DB Systemtechnik GmbH | 18 (12/2020-06/2022) | 209.441,00 € |
| Versorgungskonzept und Integration von Erneuerbaren Energien in neuartige Tank- und Ladeinfrastrukturen | Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) | 18 (11/2020-05/2022) | 284.243,41 € |
| Maßnahmenkatalog Verkehrsplanung (Begleitende Maßnahmen für die Reaktivierung von Schienenstrecken) | TransportTechnologie-Consult Karlsruhe GmbH | 18 (11/2020-05/2022) | 258.289,50 € |
| Nahe-Echtzeit-Identifizierung von Baumstürzen auf die Schieneninfrastruktur | IAV GmbH | 8 (08/2021-04/2022) | 99.728,66 € |
| Technische und digitale Kuppelbarkeit von Nahverkehrsfahrzeugen verschiedener Flotten und Hersteller | Universität Stuttgart, Institut für Maschinenelemente, Professur für Schienenfahrzeugtechnik | 6 (09/2021-02/2022) | 126.524,31 € |
| Sicherheitsuntersuchung zur Anpassung der LNT - Richtlinie | TÜV SÜD Rail GmbH | 6 (08/2021-02/2022) | 120.320,90 € |

| Titel | Auftragnehmer | Laufzeit in Monaten | Volumen |
|---|-----------------------|----------------------------|----------------|
| Mindestausrüstungsstrategien zum effektiven und wirtschaftlichen Condition Monitoring von Güterwagen | iMAR Navigation GmbH | 7 (07/2021-02/2022) | 341.054,00 € |
| Systematisierung der Infrastruktur-Instandhaltungsplanung und Beschreibung der Anwendung von Predictive Maintenance | DB Systemtechnik GmbH | 7 (06/2021-01/2022) | 235.977,00 € |

Forschungsberichte

Veröffentlichungen im Jahr 2022 in der DZSF-Schriftenreihe Berichte des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung, ISSN 2629-7973:

Starnberg, M.; Brick, H.; Dörsch, S. (2022): Akustische Anerkennung neuer Bremssohlen. In: Berichte des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung (17/2022), DZSF, Dresden. (Mitwirkende: Böhm, J.; Boehmer, A.), <https://doi.org/10.48755/dzsf.220001.01.02>

Büker, T.; Nießen, N.; Stoll, F.; Schindler, C.; Jagodzinski, N. (2022): Analyse der Hochschulausbildung im Schienenverkehrssektor. In: Berichte des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung (18/2022), DZSF, Dresden. (Mitwirkende: Weber, R.; Gäbler, S.), <https://doi.org/10.48755/dzsf.220002.02>

Hartmann, E.; Specht, G.; Riotte, T.; Wipperfurth, M.; Meilhammer, E. (2022): Analyse der Fort- und Weiterbildungsmöglichkeiten im Schienenverkehrssektor. In: Berichte des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung (19/2022), DZSF, Dresden. (Mitwirkende: Mühl, K.; Weber, R.; Gäbler, S.), <https://doi.org/10.48755/dzsf.220003.01>

Leining, M. et al. (2022): Technologieprognose – Prognose Securitybedarf und Bewertung möglicher Sicherheitskonzepte. In: Berichte des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung (20/2022), DZSF, Dresden. (Mitwirkende: Iffländer, L.; Buder, T.), <http://doi.org/10.48755/dzsf.210005.06>

Oelsner, J.; Buder, J.; Kunze, M. D. (2022): Anwendung der CSM-Verordnung 402/2013/EU für das Teilsystem "Verkehrsbetrieb und Verkehrssteuerung". In: Berichte des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung (21/2022), DZSF, Dresden. (Mitwirkende: Kebdani, Z.; Buder, T.; Lehner, M.), <https://doi.org/10.48755/dzsf.220005.01>

Harding, J.; Alkhatib, W.; Fadl, B. (2022): Pilotstudie für ein KI-gestütztes Einwendungsmanagement. In: Berichte des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung (22/2022), DZSF, Dresden. (Mitwirkende: Buder, T.), <https://doi.org/10.48755/dzsf.220006.01>

Zamostny, A.; Schaarschmidt, S.; Markus, P.; Freise, C. (2022): Erstellung eines Lastenhefts für die Programmierung eines webbasierten Informationssystems für Baustoffe. In: Berichte des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung (23/2022), DZSF, Dresden. (Mitwirkende: Bode, G.; Michael, S.), <https://doi.org/10.48755/dzsf.220004.01>

Zamostny, A.; Schaarschmidt, S.; Markus, P.; Freise, C. (2022): Evaluierung der Umsetzung des Lärmsanierungsprogramms an Schienenwegen der Eisenbahnen des Bundes. In: Berichte des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung (24/2022), DZSF, Dresden. (Mitwirkende: Böhm, J.; Rollin, P.), <https://doi.org/10.48755/dzsf.220010.01>

Hänisch, F. et al. (2022): Gutachten zu transparenten Schallschutzwänden mit hoher akustischer Wirksamkeit. In: Berichte des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung (23/2022), 2. überarb. Auflage, DZSF, Dresden. (Mitwirkende: Böhm, J.; Bott, F.; Klotz, C.; Brammer, M.), <https://doi.org/10.48755/dzsf.220007.01.2>

Hinüber v., E. et al. (2022): Mindestausrüstung von Güterwagen. In: Berichte des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung (26/2022), DZSF, Dresden. (Mitwirkende: Gaad, W.), <https://doi.org/10.48755/dzsf.220009.01>

Ammoser, H.; Brack, J.; Strobel, T.; Heizler, F. (2022): Untersuchung von Möglichkeiten zur Sicherung und Überwachung von gesperrten Gleisen. In: Berichte des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung (27/2022), DZSF, Dresden. (Mitwirkende: Heizler, F.; Reinhardt, M.), <https://doi.org/10.48755/dzsf.220012.01>

Grames, P. et al. (2022): 3D-Druck als Mittel zur Bauteilbeschaffung. In: Berichte des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung (28/2022), DZSF, Dresden. (Mitwirkende: Streek, P.), <https://doi.org/10.48755/dzsf.220016.01>

Clausen, U. et al. (2022): Analyse der Rahmenbedingungen für einen nutzerfreundlichen intermodal eingebundenen Schienenpersonenverkehr. In: Berichte des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung (29/2022), DZSF, Dresden. (Mitwirkende: Hofmann, K.; Kauder, M.), <https://doi.org/10.48755/dzsf.220014.01>

Gülker, M. et al. (2022): Analyse des Energiebedarfs von Kühlcontainern auf der Schiene. In: Berichte des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung (30/2022), DZSF, Dresden. (Mitwirkende: Günther, J.), <https://doi.org/10.48755/dzsf.220017.01>

Leinhos, D.; Flatt, H.; Witte, S. (2022): Sensorik als technische Voraussetzung für ATO-Funktionen. In: Berichte des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung (31/2022), DZSF, Dresden. (Mitwirkende: Klotz, C.; Tagiew, R.; Klasek, P.), <https://doi.org/10.48755/10.48755/dzsf.220015.01>

Berthold, K.; Fesser, J.; Kämmerling, N.; Mattern, N.; Schwarzmann, R.; Stapleton, T.; Kühn, A. (2022): Begleitende Maßnahmen für die Reaktivierung von Schienenstrecken. In: Berichte des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung (32/2022), DZSF, Dresden. (Mitwirkende: Gäbler, S.; Olbrich, S.), Zusammenfassung.

Zingelmann, M.; Karthe, M.; Pedrosa, L.; Scheytt, T.; Hitzschold, S. (2022): Einstufung von Niederschlagswasser auf Streckengleisen - Quantifizierung und Charakterisierung der Abflussmenge und chemischen Zusammensetzung von Niederschlagswasser. In: Berichte des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung (33/2022), DZSF, Dresden. (Mitwirkende: Michael, S.), <https://doi.org/10.48755/dzsf.220019.01>

Veröffentlichungen

Veröffentlichungen und Konferenzbeiträge von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des DZSF:

Leiblein-Wild, M. (2022): Vogelschutz an Bahnüberleitungen. In: Der Eisenbahningenieur 73 (2), S. 35-37.

Brick, H. (2022): „Eisenbahnlärm und Erschütterungen“ – „Railway Noise and Vibration“ ein wichtiges Thema der Inter-Noise 2022. In: Eisenbahntechnische Rundschau, 71 (12), S. 62-65.

Ermer, G., Simroth, A. (2022). Anwendung prädiktiver Instandhaltung bei der Infrastruktur. In: ZEVrail 10.

Ermer, G., Simroth, A. (2022). Planung der Infrastrukturinstandhaltung mit Predictive Maintenance. In: ETR – Eisenbahntechnische Rundschau 7-8, 71-75.

Heinrich, M. and Iffländer, L. (2022), Softwaregestützte Bedrohungsanalyse durch Angriffsgraphen. In: Signal+ Draht. 114 (Mai 2022), 28–34.

Heinrich, M., Iffländer, L., Scheuermann, D., Katzenbeisser, S. and Unger, S. 2022. Technologie - und Securityprognose System Bahn – Bedrohungen rechtzeitig erkennen. In: Signal+Draht. 114 (Sep. 2022), 96–103.

Heizler, F., Ammoser, H., Brack, J. (2022): Technische Sperrmeldungen zur Sicherung von Gleisbaustellen. In: EI – Der Eisenbahningenieur 07/2022, S. 52-55.

Holtkämper, M. (2022): Bundesprogramm Zukunft Schienengüterverkehr - Bilanz zur Halbzeit. In: EI – Der Eisenbahningenieur 10/2022, S. 6-9.

Iffländer, L., Mühl, K., Nord, M. (2022). Sind Eisenbahn- und ÖPNV-Sektor fit für die heutigen Cybersecurity-Herausforderungen?, In: ETR – Eisenbahntechnische Rundschau, 11, 10-15.

Milius, B., Lichtenberg, A., Heizler, F. (2022): Maßnahmen zur Erhöhung der Sicherheit bei betrieblichen Hilfshandlungen. In: Deine Bahn 05/2022, S. 24-28.

Möller, D., Iffländer, L., Nord, M., Krause, P., Leppla, B., Mühl, K., Lenski, N., Czerkowski, P. (2022). Emerging Technologies in the Era of Digital Transformation: State of the Art in the Railway Sector. Proceedings of the 19th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics - ICINCO, 721–728. DOI: 10.5220/0011141900003271

Möller, D., Iffländer, L., Nord, M., Leppla, B., Krause, P., Czerkowski, P., Lenski, N., Mühl, K. (2022). Cybersecurity in the German Railway Sector. Proceedings of the 17th International Conference on Critical Information Infrastructure Security (CRITIS, Sep. 2022).

Mühl, K., Lehnert, M., Iffländer, L. (2022). Rückblick auf die DZSF-Fachkonferenz Cybersecurity-Forschung. In: EI – Der Eisenbahningeneur, 12, 53-56.

Mühl, K.; Weber, R., Gäbler, S. (2022): Gezielte Qualifikation von Fachkräften für die Zukunft der Bahn. In: Deine Bahn 07/2022, S. 10-12.

Rollin, P.; Mühl, K. (2022): Sozialwissenschaftliche Erklärungen, warum Menschen die Bahn (nicht) nutzen | ZEVrail.de, <https://www.zevrail.de/artikel/sozialwissenschaftliche-erklarungen-warum-menschen-die-bahn-nicht-nutzen> [Zugriff am: 19.12.2022].

Szymczak, S., Bott, F., Babeck, P., Frick, A., Stöckigt, B., Wagner, K. (2022): Estimating the risk of tree fall along railway lines: a new GIS-tool. In: Natural Hazards, <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05263-5>.

Szymczak, S., Backendorf, F., Bott, F., Fricke, K., Junghänel, T., Walawender, E. (2022): Impacts of Heavy and Persistent Precipitation on Railroad Infrastructure in July 2021: A Case Study from the Ahr Valley, Rhineland-Palatinate, Germany. In: Atmosphere, 13, 1118, <https://doi.org/10.3390/atmos13071118>.

Szymczak, S., Backendorf, F., Bott, F., Fricke, K. (2022): Starkregenereignis Juli 2021 – Auswirkungen auf die Schieneninfrastruktur. Forschungsergebnisse kompakt; https://www.bmdv-experten-netzwerk.bund.de/DE/Publikationen/Kurzberichte/TF1/Szymczak_et_al_2022.html [Zugriff am: 08.12.2022].

Strehlow, A. (2022): "Förderprogramm Zukunft Schienengüterverkehr (Z-SGV) weiterhin auf Erfolgskurs". In: ZEV-Rail 06_07, S. 256-257.

Tagiew, R.; Buder, T.; Hofmann, K.; Klotz, C.; Tilly, R. (2021): Towards Nucleation of GoA3+ Approval Process. In: 2021 5th High Performance Computing and Cluster Technologies Conference (HPCCT'21), July 02–04, 2021, Qingdao, China. ACM, New York, NY, USA.

Tagiew, R., Buder, T., Hofmann, K., Klotz, C. (2022), "Risikoanalyse der Schnellbremsung bei frontaler Kollisionsgefahr", eb Ausgabe 6-7 | 2022.

Tagiew, R., Witzler, S., Portier, M. (2022), Towards Assessing Digital Technologies for the Future of Mobility (July 14, 2022). Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4151745> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4151745>.

Tagiew, R. et al. (2022). Onboard Sensor Systems for Automatic Train Operation. In: Marrone, S. et al., Dependable Computing – EDCC 2022 Workshops. EDCC 2022. Communications in Computer and Information Science, vol 1656. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-16245-9_11.

Tavakolinik, H.; Salander, C.; König, J. (2022): Untersuchung der Realisierbarkeit der virtuellen Kupplung unter Berücksichtigung der Bremssysteme der aktuellen Hochgeschwindigkeitszüge. 3rd International Railway Symposium (IRSA) 21. -23. November 2021.

Thomas-Friedrich, B., Cogan, B., Naumann, A., Milius, B., Leinhos, D., Klasek, P. (2022): Wie schnell können Triebfahrzeugführer Informationen wahrnehmen? In: EI – Der Eisenbahningenieur, 12/2022, S. 45-48

Weber, R., Mühl, K. (2022): Fachkräfte bilden: Mehr Studienplätze und Kooperationen fördern. In: EI – Der Eisenbahningenieur 07/2022, S. 8-10.

Weber, R., Gäbler, S., Mühl, K. (2022): Qualifizierte Fachkräfte im Schienenverkehr: Weiterbildung stärken. In: ETR – Eisenbahntechnische Rundschau 04/2022, S. 18-19.

