

Deutsches Zentrum für  
Schienenverkehrsforschung beim



Eisenbahn-Bundesamt

# Jahresbericht 2021



Liebe Leserin, lieber Leser,

das Jahr 2021 war für das DZSF spannend und herausfordernd zugleich. Unsere personellen Ressourcen haben wir auch unter Pandemiebedingungen wie geplant aufbauen können, was sowohl dem leistungsfähigen Personalreferat des Eisenbahn-Bundesamts als auch der Kollegialität der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter untereinander zu danken ist. Inhaltlich konnten wir unsere Forschungsarbeit rund um die drei aktuellen Leuchtturmthemen Kapazitätsoptimierung, Erschließung von Stadt-Umland-Verkehren und Cybersicherheit gemeinsam mit dem BMDV schärfen. Hierzu haben auch unsere Kooperationspartner beigetragen.



Ein besonderes Highlight im Juli dieses Jahres war die feierliche Eröffnung des Offenen Digitalen Testfelds in Cottbus. Der damalige Bundesverkehrsminister Andreas Scheuer hat gemeinsam mit dem Präsidenten des Eisenbahn-Bundesamts Gerald Hörster und dem Vorstandsvorsitzenden der DB Netz AG Frank Sennhenn ein Memorandum of Understanding für die weitere Zusammenarbeit unterzeichnet. Auf rund 350 km Streckennetz ermöglicht das Testfeld dem DZSF, in Absprache mit der DB Netz AG, Innovationen im Schienenverkehr unter realen Bedingungen zu erproben. Neben dem Testfeld, in dem auch das LärmLab 21 angesiedelt sein wird, ist der Aufbau weiterer Forschungsinfrastrukturen angestoßen worden: ein Labor für Cybersicherheit am Standort Dresden sowie für ETCS-Safety in der Außenstelle des Eisenbahn-Bundesamtes in München.

Ein besonderes Highlight im Juli dieses Jahres war die feierliche Eröffnung des Offenen Digitalen Testfelds in Cottbus. Der damalige Bundesverkehrsminister Andreas Scheuer hat gemeinsam mit dem Präsidenten des Eisenbahn-Bundesamts Gerald Hörster und dem Vorstandsvorsitzenden der DB Netz AG Frank Sennhenn ein Memorandum of Understanding für die weitere Zusammenarbeit unterzeichnet. Auf rund 350 km Streckennetz ermöglicht das Testfeld dem DZSF, in Absprache mit der DB Netz AG, Innovationen im Schienenverkehr unter realen Bedingungen zu erproben. Neben dem Testfeld, in dem auch das LärmLab 21 angesiedelt sein wird, ist der Aufbau weiterer Forschungsinfrastrukturen angestoßen worden: ein Labor für Cybersicherheit am Standort Dresden sowie für ETCS-Safety in der Außenstelle des Eisenbahn-Bundesamtes in München.

Anlässlich der Testfelderöffnung wurde auch das fortgeschriebene Bundesforschungsprogramm Schiene veröffentlicht. Nach zwei Jahren war es an der Zeit, Bilanz zu ziehen, um auf den ersten Ergebnissen aufbauend die Forschungsthemen weiterzuentwickeln. Als strategische Klammer verfolgt das Programm zwei Ziele: den Marktanteil der Schiene zu stärken und die Klimaschutzziele zu erreichen. Dessen inhaltliche Ausrichtung ermöglicht es dem DZSF in seiner Rolle als Ressortforschungseinrichtung, wissenschaftlich fundierte Politikberatung zu leisten.

Nach mehr als zwei Jahren Arbeit im DZSF lässt sich resümieren: Wir sind in der Schienenverkehrsforschung als Partner für das Verkehrsministerium, den Schienenverkehrssektor und die Wissenschaft angekommen und freuen uns auf die künftige Zusammenarbeit.

Eine interessante Lektüre wünscht Ihnen

A handwritten signature in blue ink that reads "C. Salander".

Prof. Dr.-Ing. Corinna Salander, Direktorin des DZSF



# Inhalt

Das DZSF.....	6
Themen 2021.....	9
Das Netzwerk des DZSF.....	22
Organisation.....	30
Ausblick 2022.....	32
Anhang.....	33

# Das DZSF

Das Deutsche Zentrum für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahn-Bundesamt (DZSF) stärkt als Ressortforschungseinrichtung des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV) den Verkehrsträger Schiene und entwickelt ihn kontinuierlich weiter. Es unterstützt dabei die Strategie der Bundesregierung, mehr Verkehr auf die Schiene zu verlagern.

Die Ressortforschung im DZSF ist lösungsorientiert, praxisnah und interdisziplinär ausgerichtet. Sie deckt ein breites Themenspektrum ab und ist eng mit der Wissenschaft und dem Bahnsektor vernetzt. Neben der wissenschaftsbasierten Politikberatung zu dringenden Fragen des Regierungshandelns unterstützt die Ressortforschung auch den Bund bei hoheitlichen Aufgaben wissenschaftlich.

Das DZSF agiert seit seiner Gründung am 23. Mai 2019 unter dem Leitbild einer neutralen, unabhängigen Denkfabrik des BMDV für die Weiterentwicklung des Schienenverkehrs. Am Hauptsitz in Dresden sowie am Standort Bonn arbeiten knapp 60 Personen an den Zielen des DZSF.

Das DZSF ...

- berät das BMDV wissenschaftlich fundiert in allen Fragen des Schienenverkehrs. Es erstellt Entscheidungshilfen zu wichtigen Fragen der Schienenverkehrspolitik.
- koordiniert und fördert aktiv den Austausch und Wissenstransfer in der Schienenverkehrsforschung. Die Ergebnisse der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten werden veröffentlicht und stehen dem gesamten Sektor zur Verfügung.
- greift neben mittel- und langfristigen Forschungsthemen aktuelle dringende Fragestellungen in seiner Ressortforschungsarbeit auf. Das DZSF entwickelt Methoden fort und wirkt in 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 eine eigene wissenschaftlich fundierte Expertise. Die Leitlinien der guten wissenschaftlichen Praxis werden eingehalten.

## Ziele und Instrumente der Ressortforschung

Die Ressortforschung als Instrument für eine wissenschaftsbasierte Politikberatung ist ein eigenständiger Bestandteil des deutschen Wissenschaftssystems. Die Forschungsergebnisse werden der Öffentlichkeit zugänglich gemacht, z. B. durch Publikationen und Veranstaltungen. Die Forschungsergebnisse sind damit für Dritte nutzbar. Das DZSF kann für seine Aufgaben als Ressortforschungseinrichtung drei Instrumente nutzen: eigene Forschungsaktivitäten, die Vergabe von Forschungsaufträgen an Dritte und die Forschungsförderung. Außerdem nimmt das DZSF Aufgaben als Bewilligungsbehörde für einzelne Förderrichtlinien wahr.

### **Eigene Forschungsaktivitäten und Auftragsforschung**

Das DZSF führt die Ressortforschung durch eigene Forschungsaktivitäten, teilweise auch in Kooperation mit anderen Forschungseinrichtungen, durch. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am DZSF decken hierzu ein breites Themenspektrum und unterschiedliche Fachdisziplinen ab, um den Anforderungen des Schienenverkehrssektors gerecht werden zu können.

Die Themen und Aufgaben, die durch eigene Forschung nicht abgedeckt werden können, werden über die Vergabe von konkreten Forschungs- und Entwicklungsaufträgen (FuE) an wissenschaftlich arbeitende Einrichtungen und Personen realisiert. Diese Form der Ressortforschung wird auch als Auftragsforschung oder extramurale Forschung bezeichnet. Eine Übersicht aller Projekte aus dem Jahr 2021 findet sich im Anhang (S. 33).

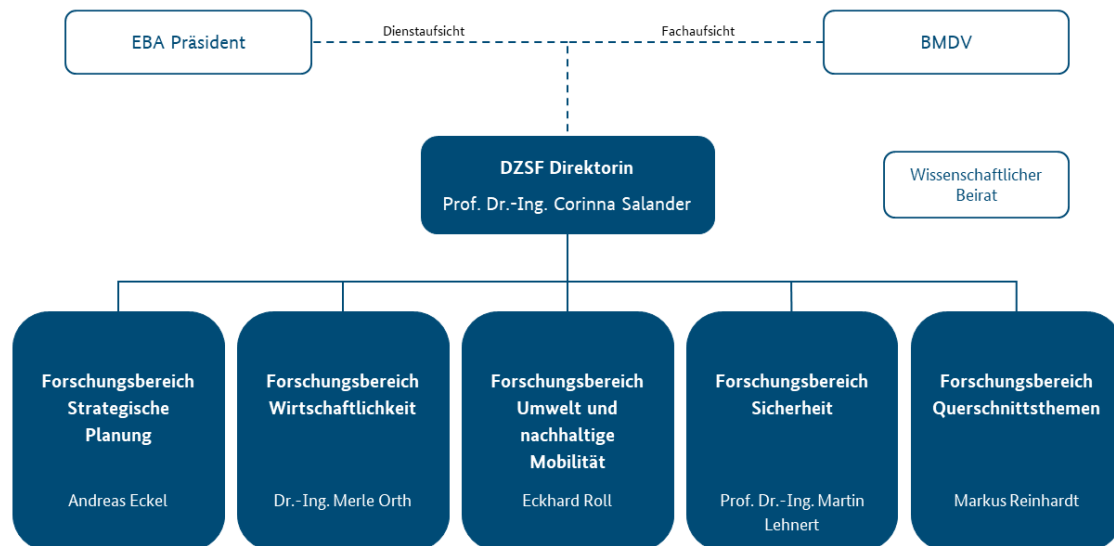
### **Forschungsförderung und Bewilligungsbehörde**

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

Das Eisenbahn-Bundesamt (EBA) wurde mit der Umsetzung der Förderrichtlinie zur Förderung von Innovationen im Schienengüterverkehr (Z-SGV) als Bewilligungsbehörde betraut. Die Bewilligungsbehörde informiert und berät im Namen und im Auftrag des BMDV zu den Fördermöglichkeiten sowie der Beantragung und wickelt die Bereitstellung und zweckgemäße Verwendung der Fördermittel ab.

Das DZSF unterstützt das EBA bei der Bewertung der Förderanträge für die Erprobung und Markteinführung innovativer Technologien des Schienengüterverkehrs in den Bereichen Digitalisierung, Automatisierung und Schienenfahrzeugtechnik. Die Förderperiode bezieht sich auf den Zeitraum vom 20.05.2020 bis 31.12.2024.

## Forschungsbereiche am DZSF



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.

Die drei Themenfelder Wirtschaftlichkeit, Umwelt und nachhaltige Mobilität sowie Sicherheit sind die systematische Grundlage 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. Die Aufgabe der Ressortforschung, kurzfristig Wissen bereitzustellen und gleichzeitig mittel- und langfristiges Wissen für den Sektor zu erarbeiten erfordert außerdem eine wissenschaftsbasierte strategische Planung, die auch grenzüberschreitende Bezüge und die europäische Integration im Schienenverkehr berücksichtigt.

Aus diesen Anforderungen heraus gliedert sich das DZSF in fünf Forschungsbereiche:

- Strategische Planung
- Wirtschaftlichkeit
- Umwelt und nachhaltige Mobilität
- Sicherheit
- Querschnittsthemen: Digitalisierung, Automatisierung, Migration und Recht

Die Struktur des DZSF ist auf die Themenfelder des Bundesforschungsprogramms Schiene abgestimmt. Die Forschungsbereiche sind interdisziplinär aufgestellt, um Projekte und Themen umfassend und unter Beteiligung der unterschiedlichen Fachdisziplinen zu bearbeiten. Aufgabe des DZSF ist es, das Gesamtsystem Bahn einschließlich aller Schnittstellen zu berücksichtigen.



# Themen 2021

Den übergeordneten thematischen Rahmen für die Arbeit des DZSF bildet das Bundesforschungsprogramm Schiene. Das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) hat sich im Jahr 2020 mit dem Schienenverkehrssektor im Masterplan Schienenverkehr das gemeinsame Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2030 die Zahl der Fahrgäste auf 20 Prozent zu verdoppeln und den Marktanteil des Schienengüterverkehrs auf mindestens 25 Prozent zu steigern. Das 2019 zum ersten Mal aufgelegte Bundesforschungsprogramm Schiene ist ein wichtiger Baustein, um dieses Ziel zu erreichen. In 2021 wurde das Programm aufbauend auf der bisherigen Arbeit des DZSF fortgeschrieben.

## Bundesforschungsprogramm Schiene

Das Bundesforschungsprogramm Schiene ist ein eigenständiges Forschungsprogramm des Bundes für den Schienenverkehr. Der Forschungs- und Entwicklungsbedarf des gesamten Verkehrsträgers Schiene, Personen- und Güterverkehr, Infrastruktur und Fahrzeuge, wird berücksichtigt. Die Weiterentwicklung des komplexen Systems Eisenbahn erfordert die Berücksichtigung aller Schnittstellen; zwischen Infrastruktur, Fahrzeugen, Betrieb sowie zwischen Mensch und Technik. Das Bundesforschungsprogramm Schiene spiegelt die erforderliche interdisziplinäre Herangehensweise wider und ordnet die Forschungsaufgaben drei zentralen Zielen zu: Wirtschaftlichkeit, umweltverträgliche und nachhaltige Mobilität sowie Sicherheit.

Die drei Themenfelder Wirtschaftlichkeit, Umwelt und nachhaltige Mobilität und Sicherheit bilden die systematische Grundlage für das Bundesforschungsprogramm Schiene. Forschungsfragen aus den Querschnittsthemen Digitalisierung, Automatisierung, Migration sowie rechtliche Fragestellungen ergänzen die Arbeit in den Themenfeldern.

### Wirtschaftlichkeit

Transport soll möglichst wirtschaftlich sein, auch auf der Schiene. Die grundsätzliche Fragestellung der Ressortforschung ist, wie der Schienenverkehr mit Hilfe technologischer Entwicklungen und durch staatliches Handeln effizienter werden kann, um Transport zuverlässig und preiswert anzubieten. Im Bundesforschungsprogramm Schiene steht die bedarfsgerechte Weiterentwicklung des Angebots, das sich an den Bedürfnissen der Kundinnen und Kunden orientiert, im Fokus. Ziel ist es, Schienenverkehr für Fahrgäste und in der Logistik attraktiv zu machen und damit den Anteil des Schienenverkehrs am Modal Split dauerhaft und kontinuierlich zu erhöhen.

Zentrale Forschungsthemen umfassen die optimierte Nutzung der vorhandenen Schieneninfrastruktur durch digitale Innovationen, eine verbesserte intermodale Verkehrssteuerung und die Digitalisierung von Lieferketten. Ferner soll der flächendeckende Einsatz von „Predictive Maintenance“ (PM) die bedarfsorientierte und planbare Instandhaltung der Infrastruktur gleichzeitig effizient, zuverlässig und sicher machen.

## **Umwelt und nachhaltige Mobilität**

Der Schienenverkehr kann wesentlich zur Reduzierung von Treibhausgas-, Lärm- und Luftschadstoffemissionen im Verkehrssektor beitragen. Dafür soll der Vorteil der Schiene als umweltfreundlichstes Verkehrsmittel dauerhaft ausgebaut werden. Das Bundesforschungsprogramm Schiene beinhaltet ein breites Themenspektrum, um das Verkehrssystem Schiene an sich wandelnde demographische, soziale und technologische Rahmenbedingungen anzupassen.

Nachhaltige Mobilität im Schienenverkehr bedeutet, Veränderungen im Mobilitätsverhalten frühzeitig zu erkennen und Strategien zur Anpassung zu entwickeln. Der Zugang zum Eisenbahnsystem soll verbessert werden und damit die Grundlage für die Verlagerung von Personen- und Güterverkehr insbesondere von der Straße auf die Schiene geschaffen werden. Das Bundesforschungsprogramm Schiene formuliert unter anderem Fragestellungen in Bezug auf die Erschließung von Umlandregionen, beispielsweise durch Reaktivierungsprojekte.

Das Schienennetz greift in die Natur ein, bildet aber gleichzeitig Lebensraum für seltene und geschützte Arten. Die Ansätze im Bundesforschungsprogramm Schiene zielen darauf ab, das Potenzial von Bahnanlagen für die Biodiversität zu nutzen und durch Ausgleichsmechanismen Planungsprozesse rechtlich abzusichern und zu beschleunigen.

## **Sicherheit**

Die Eisenbahn ist das sicherste Landverkehrsmittel. Das Ziel der Forschungsaufgaben ist die Erhaltung und Weiterentwicklung des Sicherheitsniveaus. Hierbei geht es darum, im Spannungsfeld zwischen den Anforderungen an die Sicherheit, die Wirtschaftlichkeit und die Stabilität des Systems ein Optimum zu finden. Die Nutzung digitaler Technologien, der Klimawandel, veränderte Nutzungsgewohnheiten oder gesundheitliche Gefährdungen stellen große Herausforderungen für das System Schiene dar. Vorrangige Themen sind die Forschungsfelder, die das gegenwärtige Sicherheitsniveau erhalten und weiterentwickeln, die Sicherheit gegenüber Angriffen erhöhen sowie die Anpassung an Klimawandel und Extremwetterereignisse unterstützen.

Der Mensch ist das zentrale Element im System Schiene. Digitalisierung, Automatisierung und der demographische Wandel fordern den Bahnbetrieb und die Arbeitssituationen im Schienenverkehrssektor heraus. Das Bundesforschungsprogramm Schiene stellt Forschungsansätze in den Mittelpunkt, bei denen Technik die Fachkräfte in ihren spezifischen Arbeitssituationen unterstützt und die Arbeit erleichtert.

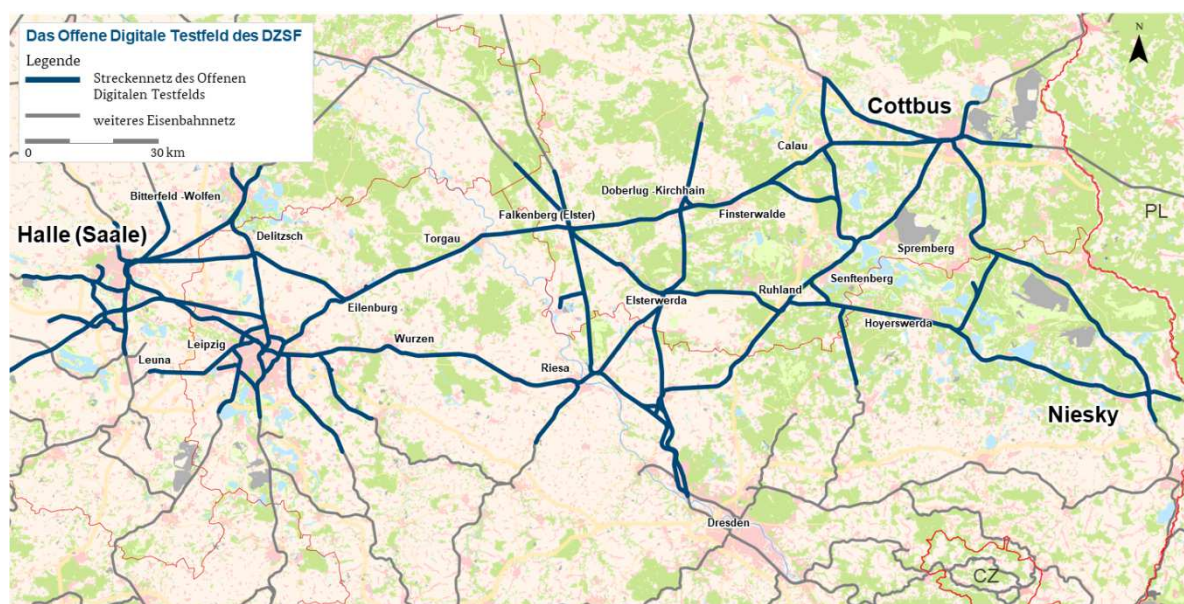
Das Bahnsystem ist als Teil der kritischen Infrastruktur besonders schutzbedürftig. Aktuelle Entwicklungen in der Cybersecurity und die Erfahrungen anderer europäischer Mitgliedstaaten zeigen, dass die Teilsysteme vernetzter Anwendungen einer systematischen Analyse unterzogen werden müssen. Diese bildet die Grundlage für die Identifizierung von potenziellen Gefahren und der Verletzbarkeit kritischer Infrastrukturen, um Risiken minimieren und adäquate Schutzmaßnahmen entwickeln zu können.

## 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 in Cottbus eröffnet. Das BMDV, die Deutsche Bahn AG und das EBA haben in einem gemeinsamen Memorandum of Understanding die Grundzüge der Zusammenarbeit skizziert. Damit steht der Wissenschaft und dem Sektor eine flexible Testinfrastruktur zur Verfügung, um Innovationen unter Realbedingungen zu erproben.

Als Grundlage für die Konzeption diente eine Vorstudie zu den Anforderungen an ein Testfeld für den Schienenverkehr.<sup>1</sup> Die Analyse bestehender Testfelder, -strecken und -ringe hat ergeben, dass viele etablierte Infrastrukturen durch kommerzielle Nutzung der Industrie für Zulassungsverfahren ausgelastet sind. In der durchgeführten Befragung des Sektors wurde deutlich, dass die Neutralität des Betreibers besonders relevant für eine solche Testinfrastruktur ist.

Das DZSF errichtet das Offene Digitale Testfeld 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 der DB Netz AG, das im Schienenpersonennahverkehr, -fernverkehr und im Schienengüterverkehr bedient wird. Das Testfeld deckt auf rund 350 km Streckennetz nahezu die komplette Bandbreite an eisenbahnbetrieblichen und infrastrukturellen Rahmenbedingungen ab und schließt damit eine Lücke in der Forschungslandschaft.



<sup>1</sup> VIA Consulting & Development GmbH et al. (2021), Untersuchung der Möglichkeiten und Anforderungen an ein offenes digitales Testfeld für den Schienenverkehr, Berichte des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung, Nr. 13.

Die zentrale Lage in Deutschland und Mitteleuropa erlaubt eine gute Erreichbarkeit und fördert eine enge Verzahnung von Wissenschaft und Industrie. Die Region ist traditionell ein Standort vieler Unternehmen der Bahnindustrie und von Forschungseinrichtungen, die den Schienenverkehr im Fokus haben. Nicht zuletzt ist die Infrastruktur ein Baustein zur Unterstützung des Strukturwandels der Braunkohlereviere in der Lausitz und in Mitteldeutschland.

Die Forschungsschwerpunkte für das Offene Digitale Testfeld ergeben sich aus dem Bundesforschungsprogramm Schiene: Innovationen für Fahrzeuge und Infrastruktur, Autonomes Fahren, Zugsicherung und Digitalisierung, Verbesserung des Umwelt- und Klimaschutzes, Innovationen zum Lärmschutz und gesellschaftliche Aspekte des Schienenverkehrs.

Ziel des Testfelds ist es, kurzfristig und flexibel Kapazitäten bereitzustellen. Zunächst wird das DZSF das Testfeld als Untersuchungsraum für die Ressortforschung und für die Durchführung von Auftragsforschungsprojekten nutzen. Im Rahmen der Forschungsförderung könnten perspektivisch Ideen und neue Technologien entwickelt werden. Sie wird sich an Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Universitäten richten. Das DZSF wird die Durchführung von Untersuchungen im Testfeld organisatorisch und fachlich unterstützen. Hier findet die Koordinierung der Testaktivitäten statt.

Die weitere Entwicklung des Testfeldes wird auch im Jahr 2022 im besonderen Fokus der Tätigkeiten des DZSF stehen. Für die Ausgestaltung des LärmLab 21 wird eine Teststrecke zur Erprobung von Schall- und Erschütterungsschutzmaßnahmen im Offenen Digitalen Testfeld eingerichtet. Die Anforderungen an eine solche Teststrecke werden aktuell ausgearbeitet. Diese Forschungs- und Testinfrastruktur wird in den kommenden Jahren sukzessive weiter ausgebaut, um den Umfang der Untersuchungsmöglichkeiten zu erweitern.

### **Demonstrator-Projekt: Energiebedarf von Kühlcontainern auf der Schiene**

Die ersten Versuche im Offenen Digitalen Testfeld fanden im Rahmen des DZSF-Auftragsforschungsprojekts „Analyse des Energiebedarfs von Kühlcontainern auf der Schiene“ statt. In dem Demonstrator-Projekt ermittelt ein Konsortium um die Havelländische Eisenbahn AG (HVLE) die Anforderungen an eine Energieversorgung von Kühlcontainern auf dem Zug. Der Fokus liegt hierbei auf der Höhe und der zeitlichen Verteilung des Energiebedarfs sowie auf verschiedenen Einflüssen der Transportbedingungen. Die Klimatisierung von Kühlcontainern auf Güterzügen erfolgt gegenwärtig noch mit Hilfe eines Dieselgenerators. Mithilfe der Projekterkenntnisse soll langfristig eine elektrische Energieversorgung von Kühlcontainern auf der Schiene entwickelt werden, um eine klimafreundliche Transportkette für Kühlcontainer zu ermöglichen.

Neben den fachlichen Erkenntnissen dient das Projekt dazu, Erfahrung mit der Organisation und Durchführung von Versuchen im Offenen Digitalen Testfeld zu sammeln. Die organisatorischen und betrieblichen Erkenntnisse aus dem Projekt fließen unmittelbar in den zukünftigen Aufbau der Organisationsstruktur und in die infrastrukturelle Grundausstattung des Offenen Digitalen Testfelds ein.

## Wirtschaftlichkeit

Das Ziel der Forschung des DZSF im Bereich Wirtschaftlichkeit ist es, die Wettbewerbsfähigkeit des Verkehrsträgers Schiene zu stärken. Güter- und Personenverkehr auf die Schiene zu verlagern, setzt voraus, dass der Transport bedarfsgerecht, zuverlässig und ökonomisch ist. Der Forschungsbereich Wirtschaftlichkeit untersucht, wie der Schienenverkehr mit Hilfe technologischer Entwicklungen und durch staatliches Handeln effizienter werden und seinen Anteil am Modal Split steigern kann. Ein besonderer Fokus lag im Jahr 2021 auf den Leuchtturmprojekten zur Kapazität des Schienennetzes. Hierzu zählen verschiedene Projekte zur optimalen Nutzung der vorhandenen Infrastruktur. Zusätzlich wurden Projekte zur klima- und kapazitätsoptimierten Logistik initiiert, die auf Kapazitätsverbesserungen im Schienengüterverkehr zielen.

### Kapazitätsoptimierung

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. Andere Ansätze zur Optimierung der Kapazität sind daher notwendig. Diese verschiedenen Ansätze zur Kapazitätsoptimierung spiegeln sich in den Forschungsprojekten wider.

Im laufenden Projekt **Identifikation von Kapazitätsengpässen** werden deutschlandweit Kapazitätsengpässe lokalisiert, um diese systematisch auf betriebliche Schwachstellen zu untersuchen und Maßnahmen zur Auflösung zu entwickeln. In einem weiteren, geplanten Projekt wird eine **Methodik zur verbesserten Kapazitätsbewertung und Knotenberechnung** entworfen, um die Leistungsfähigkeit des Bahnbetriebs unter Berücksichtigung ihrer Einflussgrößen und Abhängigkeiten einschätzen zu können.

Eine weitere Einflussgröße für die Kapazität ist die Verfügbarkeit der Schieneninfrastruktur und des Rollmaterials. Spontane Ausfälle der Infrastruktur und liegengebliebene Züge verursachen nicht planbare Störungen und beeinträchtigen die Kapazität. Eine prädiktive Instandhaltung kann diese Kapazitätseinbußen reduzieren. Der erste Schritt dafür ist, durch eine bessere Informations- und Datenhaltung (Monitoring) früher zu erkennen, wann ein Objekt Schaden nimmt und in einen kritischen Zustand kommt. Allerdings sind Ansätze wie Prognostics and Health Management (PHM), mit denen aus der historischen Zustandsentwicklung abgeleitet werden kann, wie die Degradation von Komponenten wahrscheinlich weiter verläuft, nur anwendbar, wenn genügend belastbare Informationen zur Verfügung stehen. Die darauf aufbauende prädiktive Instandhaltung soll in der Praxis zu einer Optimierung der durchzuführenden Maßnahmen führen und Ausfallrisiken minimieren. Im Projekt **Mindestausrüstung von Güterwagen** werden häufig vorkommende Schäden von Güterwagen analysiert. Hieraus wird für die Praxis abgeleitet, welche Informationen und damit Sensorik zur prädiktiven Instandhaltung benötigt werden. Im Projekt **Systematisierung der Infrastruktur-Instandhaltungsplanung** werden aktuelle Standards der Instandhaltung aufgearbeitet und Ansatzpunkte für die prädiktive Instandhaltung identifiziert.

Daneben lässt sich mehr Effizienz im Schienenverkehr und eine optimale Auslastung der vorhandenen Streckenkapazitäten erreichen, wenn zeit- und energieoptimierte Fahrprofile bei einem automatisierten Fahrbetrieb mit höheren Automatisierungsgraden zum Einsatz kommen. Die Herausforderung für die Praxis besteht darin, Erfahrungen aus abgeschotteten Inselbetrieben mit selektiven Fahrzeugausrüstungen auf offene Netzstrukturen mit vielfältiger Fahrzeugnutzung im Mischbetrieb zu übertragen. Voraussetzung dafür ist eine an die erhöhten Anforderungen und veränderten Randbedingungen zur Fahrweg-, Hindernis- und Positionserkennung angepasste Sensorik sowie die Klärung von regulativen Fragestellungen zur Festlegung von Sicherheitskennwerten für die Regel- und Rückfallfunktionen beim hochautomatisierten Fahrbetrieb. Für die Nutzung im Regelbetrieb muss die Sicherheit der benötigten technischen Systeme und der damit realisierbaren Betriebsverfahren nachgewiesen werden. Die beiden ATO-Projekte **Funktionale Anforderungen an Sensorik und Logik einer ATO-Einheit** und **Risikoakzeptanzkriterien für den automatisierten Fahrbetrieb** dienen dazu, die Grundlage für derartige Sicherheitsnachweise zu schaffen. Dabei dient die ermittelte Leistungsfähigkeit heutiger Systeme mit menschlicher Steuerungshoheit als Orientierung für die Erarbeitung der benötigten Sicherheitsakzeptanzkriterien beim hochautomatisierten Fahrbetrieb.

### **Beschäftigungswirkung des Schienenverkehrssektors**

Die Rolle des Schienenverkehrssektors als Arbeitgeber in der Bundesrepublik Deutschland wurde bislang nicht strukturiert untersucht. Im Projekt **Untersuchung der volkswirtschaftlichen Bedeutung des deutschen Bahnsektors auf Grundlage seiner Beschäftigungswirkung** wurde im vergangenen Jahr ein umfassender Überblick über die Beschäftigungswirkung des Bahnsektors inklusive seiner nachgelagerten Bereiche gewonnen.<sup>2</sup> Die Beschäftigungsverflechtungen in der Bahnbranche wurden mit einem Methodenmix aus Sekundär- und Primärforschung untersucht. Direkt im Bahnsektor beschäftigt sind Personen im Umfang von rund 400.000 Vollzeitäquivalenten (VZÄ). Die beschäftigungsstärksten Bereiche sind die Cluster Bahnbetrieb (31 %) und Eisenbahninfrastruktur (27 %). Durch den Bezug von Vorleistungen entfaltet der Bahnsektor außerdem eine Beschäftigungswirkung in vorgelagerten Bereichen. Diese indirekte Beschäftigungswirkung beläuft sich auf ca. 150.000 VZÄ. Damit entfaltet der Bahnsektor insgesamt eine Beschäftigungswirkung von gut einer halben Million Beschäftigten (in VZÄ). Die Studie zeigt, dass der Sektor nicht nur für die Mobilität eine entscheidende Rolle spielt, sondern mit seinen Arbeitsplätzen Wohlstand und Kaufkraft von hoher volkswirtschaftlicher Bedeutung generiert.

### **BIM in der Betriebsphase für das Lebenszyklusmanagement**

Das BMDV beabsichtigt die Einführung von Building Information Modeling (BIM) mit dem Stufenplan „Digitales Planen und Bauen“. BIM ermöglicht ein digitales Lebenszyklusmanagement, um Planung, Bau, Betrieb und Instandhaltung von Bauwerken durch eine zentrale Datenhaltung und verbesserte Informationsbereitstellung zu unterstützen. Diese Prinzipien sollen auch auf die Infrastruk-

---

<sup>2</sup> Böttger, C., Maenning, W. et. al (2021), Volkswirtschaftliche Bedeutung des deutschen Bahnsektors auf Grundlage der Beschäftigungswirkung, Berichte des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung, Nr. 14.

tur der Eisenbahn übertragen werden. Im Gegensatz zu den umfassenden Erfahrungen im Hochbaubereich mit BIM bestehen für die Anwendung im Eisenbahnbereich noch Forschungsbedarfe und Regelungslücken. Das DZSF unterstützt die Einführung von BIM durch mehrere Forschungsprojekte. In laufenden Projekten werden die Unterstützung der Betriebs- und Instandhaltungsphase von Eisenbahninfrastruktur durch ein digitales BIM-System, die damit verbundene Beschaffung digitaler Daten sowie deren Austausch, Pflege, Speicherung, Integration und Aufbereitung untersucht. Die Vorteile von BIM sollen auch für die Antrags- und Genehmigungsverfahren des EBA genutzt werden. Das DZSF konnte im Rahmen des Projekts **Analyse der Nutzungsvoraussetzungen zur Anwendung der BIM-Methode im EBA** für das EBA ein praxisgerechtes Konzept für die organisatorische und technische Umsetzung von BIM entwickeln.

### Fernerkundung

Fernerkundung und moderne Methoden der Datenerhebung und -verwaltung unterstützen die Bundesbahnverwaltung und den Eisenbahnsektor. Damit ist das langfristige, automatisierte Monitoring von Beständen, durchgeführten Maßnahmen und des Zustands von Strecken und der Streckenumgebung möglich. Dies umfasst zum Beispiel Bodenbewegungen, Bauwerke oder die Vegetation. Darüber hinaus können kurzfristige Änderungen und aktuelle Ereignisse, beispielsweise Schäden durch Wetterereignisse, erfasst werden. Die Fernerkundung erlaubt eine großflächige Erfassung von Informationen, der Zugang zu den Daten ist häufig frei verfügbar. Vor der Umsetzung des flächendeckenden Monitorings in die Praxis müssen jedoch geeignete Anwendungswerkzeuge entwickelt und erprobt werden. Diese müssen die praktischen Anforderungen der geplanten Nutzer berücksichtigen, um für den täglichen Betrieb tauglich zu sein. In den Projekten **Ableitung des Baumbestandes entlang des deutschen Schienennetzes** und **Nahe-Echtzeit-Identifizierung von Baumstürzen auf Schieneninfrastruktur mithilfe von hochaufgelösten Radarsatelliten** wurde die Erfassung des Baumbestands bzw. von Baumstürzen beispielhaft mittels fernerkundlicher Methoden untersucht, um eine solche Zustandserfassung für die Praxisanwendung wirtschaftlich zu gestalten. Das im Projekt entwickelte neue Softwaretool für Geoinformationssysteme (GIS) bietet die Möglichkeit, einzelne Bäume entlang von Bahnstrecken zu erkennen und die Gefahr eines Baumsturzes abzuschätzen. Damit unterstützt es das Naturgefahrenmanagement in der Prävention und das Vegetationsmanagement entlang der Schienenwege. In Nordrhein-Westfalen und Thüringen wurde die Anwendung erfolgreich getestet und angewendet. Die Anwendung des Tools kann mit geringem Aufwand auf größere Gebiete ausgedehnt werden, d. h. auf das deutschlandweite Schienennetz oder auf andere Länder. Die Anwendung ist auch für andere Verkehrsträger geeignet.

## Umwelt und nachhaltige Mobilität

Im Rahmen des Forschungsbereiches Umwelt und nachhaltige Mobilität soll der Vorteil der Schiene als umweltfreundlichster Verkehrsträger gefestigt und gegenüber anderen Verkehrsträgern ausgebaut werden. 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.

Hierzu werden die Auswirkungen des Klimawandels und die Zunahme von Extremwetterereignissen auf die Infrastruktur analysiert und verschiedene Anpassungsoptionen evaluiert. Im Projekt **Sensitivitätsanalyse Vegetation entlang der Bundesverkehrswege bezüglich Extremwetter & Klimawandel** werden Handlungsempfehlungen erarbeitet, die ein angepasstes Vegetationsmanagement an Verkehrswegen ermöglichen. Die Arbeit erfolgt in enger Zusammenarbeit mit dem BMDV-Expertenetzwerk.

Auch die Ergebnisse neu initiiertes Projekte aus dem Bereich alternative Antriebe oder zur Nutzung regenerativer Energien sollen aktiv zum Klimaschutz beitragen. Bezogen auf den Bereich Emissionen und Immissionen erfolgten 2021 die Inbetriebnahme von fünf Dauermessstellen im Rahmen des Boden- und Gewässermonitorings, der Start des Luftmonitoringprogramms sowie die Weiterentwicklung des LärmLab 21. Weitere Forschungsbestrebungen umfassen die Entwicklung von ökologischen Methodenstandards für eine nachhaltige Unterhaltung von Bahnanlagen sowie die Erforschung gesellschaftlicher Einflussfaktoren auf individuelle Mobilitätsentscheidungen. Hierzu wurde das Leuchtturmprojekt **Bahnhof der Zukunft als multimodale Mobilitätsplattform in Kommunen – Entwicklung eines Maßnahmenkatalogs** konzipiert und ausgeschrieben.

### **Erschließung von Stadt-Umland-Verkehren und Reaktivierung von Bahnstrecken**

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.

Die Streckenkategorie Nebenbahn weist in ihrer baulichen und betrieblichen Gestaltung prinzipiell Kostenvorteile gegenüber den sogenannten Hauptbahnen auf, unter anderem aufgrund niedrigerer zulässiger Geschwindigkeiten und Radsatzfahrmasse. Hierdurch werden leichtere und kleinere Fahrzeuge sowie eine einfachere Infrastruktur und vereinfachte Betriebsverfahren ermöglicht. Über die letzten Jahrzehnte haben sich Nebenbahnen in den Bau-, Betriebs- und Instandhaltungskosten jedoch immer mehr den Hauptbahnen angenähert, so dass heute weniger Kostenvorteile erkennbar sind. Zahlreiche Nebenbahnen wurden in den vergangenen 50 Jahren aus wirtschaftlichen Gründen stillgelegt.

Im Zuge der angestrebten Verkehrswende spielen Nebenbahnen wieder eine wachsende Rolle hinsichtlich einer Verkehrsverlagerung von der Straße auf die Schiene und vor allem, um die Verbindung der Städte mit dem Umland mit schnellen, umweltfreundlichen und zuverlässigen Verkehrsangeboten sicherzustellen. Dafür gilt es, bestehende Nebenbahninfrastruktur zu erhalten und stillgelegte Strecken mit Potential zu reaktivieren. Hierzu sind systematische Wirtschaftlichkeits- und Machbarkeitsanalysen notwendig, welche die Möglichkeiten und neuen Potentiale des System Nebenbahnen untersuchen.

Bei der Reaktivierung von Regional- und Nebenbahnen stehen Fragestellungen zur Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen oft im Vordergrund. Das Projektpaket **Kostenoptimierung Bau und Betrieb für Nebenbahnen, ETCS und DSTW auf Regional- und Nebenbahnen, Begleitende Maßnahmen für die Reaktivierung von Schienenstrecken** greift die speziellen Anforderungen dieser Strecken auf. Neben der Bearbeitung eisenbahntechnischer Fragen zur Kostenoptimierung und der Frage der



leit- und sicherungstechnischen Ausrüstung dieser Strecken mit ETCS, werden begleitende Maßnahmen zur Reaktivierung entwickelt. Oftmals sind es nicht-technische Maßnahmen, die die entscheidenden Faktoren für die erfolgreiche Wiederinbetriebnahme bilden.

Im Projekt **Kostenoptimierung Bau und Betrieb für Nebenbahnen** sollen Kostentreiber für die Erstellung von Bahninfrastruktur analysiert und Möglichkeiten zur Optimierung erarbeitet werden. Derzeit wird untersucht, inwiefern die Regelwerke entsprechend der typischen Charakteristika von Regional- und Nebenstrecken sowie bei einfachen betrieblichen Verhältnissen angepasst werden können. Die Investitionskosten für die Erneuerung der Leit- und Sicherungstechnik auf der Strecke, insbesondere bei der charakteristischen Vielzahl von Bahnübergängen und auf den Fahrzeugen stellt einen wesentlichen Kostenanteil für Nebenbahnen dar. Diesen Aspekt greift das Projekt ETCS und DSTW auf Regional- und Nebenbahnen auf.

Für eine flächendeckende Netzerneuerung ist als technisches Zielbild der Einsatz von DSTW und ETCS im Level 2, später Level 3, vorgesehen. In Zusammenhang mit der Reaktivierung stillgelegter Strecken stellt sich auch die Frage zur leit- und sicherungstechnischen Ausrüstung dieser Regional- und Nebenstrecken entsprechend dem technischen Zielbild. Im Projekt **ETCS und DSTW auf Regional- und Nebenbahnen** werden auf Grundlage aktuell vorhandener sowie mittelfristig als stabil angenommenen Sicherungsvarianten aus dem DSTW- und ETCS-Baukasten kostengünstige und systemkonforme Lösungen für Regional- und Nebenbahnen sowie bei einfachen betrieblichen Verhältnissen entwickelt. Als erster Schritt wurde eine umfassende Analyse der Leit- und Sicherungstechnik (LST)-Ausrüstung auf entsprechenden Strecken der nichtbundeseigenen (NE)-Bahnen durchgeführt. Darauf aufbauend werden Sicherungsvarianten in DSTW- und ETCS-Technik für die heute mehrheitlich angewendeten Systemlösungen entwickelt und generische Ansätze für eine zeit- und aufwands-optimale Migration dieser Strecken in die künftige Architektur und Ausrüstung des Netzes der Eisenbahnen des Bundes konzipiert.

Die Einbindung der reaktivierten Verbindungen in ein verkehrliches Gesamtkonzept ist für den Erfolg von großer Bedeutung. Hierbei spielen **Begleitende Maßnahmen zur Reaktivierung von Schienenstrecken** eine wichtige Rolle, wie z. B. abgestimmte Busverkehre, intermodale Verkehrsangebote am Bahnhof oder die Einbindung von Anwohnerinnen und Anwohnern. Ziel ist, einen Katalog effektiver begleitender Maßnahmen mit grundlegenden Konzepten zur Umlanderschließung bereitzustellen. Dabei soll der Varianz innerhalb lokaler Verkehrskonzepte Rechnung getragen werden. Wichtig ist die Analyse der unterschiedlichen Rollen, Aufgaben und Verantwortlichkeiten sowie Hürden, die jeweils Schlüsselfaktoren für die Planung, Konzeption und Umsetzung der jeweiligen Reaktivierungen darstellen. Im Rahmen der Forschung werden nationale und internationale Best-Practice Beispiele für reaktivierte Strecken mit den jeweiligen begleitenden Maßnahmen analysiert und bewertet. Ergänzend hierzu wird auch der Schwerpunkt Güterverkehr und Logistik unter Kapazitätsgesichtspunkten thematisiert.

### **Erneuerbare Energien in neuartiger Tank- und Ladeinfrastruktur**

Der Verkehrsträger Schiene kann im Sinne der Klimaschutzziele einen substantiellen Beitrag zur Treibhausgasreduktion leisten, wozu u. a. der Einsatz alternativer Antriebsformen auf nicht-elektri-

fizierten Streckenabschnitten, den sogenannten Dieselstrecken, gehört. Durch den verstärkten Einsatz solcher alternativen Antriebstechnologien, d. h. Substitution konventioneller Dieselantriebstechnik, verändern sich auch die Anforderungen an die Energiebereitstellung und erfordern den Aufbau und Betrieb einer neuartigen Lade- und Tankinfrastruktur. Im Projekt **Versorgungskonzept und Integration erneuerbarer Energien in neuartige Tank- und Ladeinfrastruktur** werden Konzepte hinsichtlich des Umfangs der benötigten Infrastruktur und der Abschätzungen zum zukünftigen Energiebedarf erarbeitet, in denen auch die Einbindung von Energieerzeugungsanlagen aus dem Umland in das Energiemanagement der Tank- und Ladeinfrastruktur sowie die Nutzung dieser Serviceeinrichtungen durch weitere Verkehrsträger Berücksichtigung finden.

### **Extremwetterereignisse**

Leider belegen aktuelle Ereignisse, wie die Hochwasser-Katastrophe im Juli 2021, wie bedeutend und dringend die Betrachtung der Auswirkungen von Extremwetterereignissen auf die Schieneninfrastruktur sind, zumal im Zuge des Klimawandels mit einer Zunahme von Extremwetterereignissen zu rechnen ist. Im Forschungsprojekt **Analysen zu schnellen wasserhaltigen Massenbewegungen** werden GIS-basierte Gefahrenhinweiskarten für schnelle, wasserhaltige Massenbewegungen erstellt und in ausgewählten Fokusgebieten das Auftreten von Hangrutschungen als Folge von Starkregenereignissen simuliert und in Detailkarten dargestellt. Die generierten Karten ergänzen die in einem bereits abgeschlossenen Projekt erstellte ingenieurgeologische Gefahrenhinweiskarte zu Hang- und Böschungsrutschen entlang des deutschen Schienennetzes<sup>3</sup> um wasserhaltige Fließ- und Rutschprozesse. Die Karten ermöglichen detaillierte Gefahrenabschätzungen zum Auftreten von Massenbewegungen entlang der Schiene und bilden die Grundlage für die Überprüfung von Maßnahmen zum Schutz vor Massenbewegungen.

## **Sicherheit**

Im Forschungsbereich Sicherheit ist der Erhalt und die Weiterentwicklung des bestehenden Sicherheitsniveaus im Bahnsystem das übergreifende Ziel der Forschungsaktivitäten. Eng vernetzt ist dieses Ziel mit den anderen Forschungsbereichen des DZSF wie Wirtschaftlichkeit, Umwelt und nachhaltige Mobilität oder Digitalisierung, Automatisierung und Migration. Beispielsweise sind Digitalisierung und Automatisierung 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. Erste Forschungsprojekte zur Interaktion zwischen Mensch, Technik und Organisation wurden 2021 gestartet. Darüber hinaus ist es erforderlich, vor dem Hintergrund mangelnder Fachkräfte den Fort- und Weiterbildungsbereich im

---

<sup>3</sup> Kallmeier, E., Knobloch, A. et al. (2017) Erstellung einer ingenieurgeologischen Gefahrenhinweiskarte zu Hang- und Böschungsrutschungen entlang des deutschen Schienennetzes, EBA-Forschungsbericht 2018-13.

System Bahn zu beleuchten und Impulse für eine Stärkung der Schiene auch durch eine Stärkung von Weiterbildung und Studium für den Schienenverkehr zu setzen. Im Jahr 2021 stand weiterhin das Thema Cybersecurity im Fokus der Projekte. Nicht zuletzt hat auch die Corona-Pandemie zu Fragestellungen im Bereich Sicherheit geführt. In einer vom DZSF in Auftrag gegebenen Studie zu COVID-19 sollen Handlungsempfehlungen zur technischen und betrieblichen Umsetzung von bestehenden Hygienekonzepten für den ÖPNV und den SPNV erstellt sowie Vorschläge für neue Konzepte erarbeitet werden.

## Cybersecurity

Das Thema Cybersecurity macht auch vor dem Schienenverkehrssektor nicht halt. 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 für den Sektor. Am DZSF laufen derzeit mehrere Forschungsprojekte zu diesem Thema. Diese beschäftigen sich mit gegenwärtigen und zukünftigen Angriffspotenzialen und des daraus resultierenden Securitybedarfs, der Securityawareness im Schienenverkehrssektor und den Plänen zum Einsatz neuer Technologien. Außerdem steht der Aufbau eigener Forschungsinfrastruktur im Bereich Cybersecurity im Fokus.

Im Projekt **Identifikation bestehender Angriffspotentiale** wird analysiert, welche Angriffe im bestehenden System Eisenbahn möglich und wie wahrscheinlich sie sind. Daraufhin werden die Ursachen für die Angriffe grundhaft analysiert und Vorschläge zur Verhinderung der Angriffe aufgezeigt.

Das Projekt **Prognose Securitybedarf und Bewertung möglicher Sicherheitskonzepte für das System Bahn** ist auf die zukünftigen Entwicklungen der Security im technischen Kontext des Bahnsystems fokussiert. Dabei wurden zahlreiche Zukunftstechnologien hinsichtlich ihrer Einsatzwahrscheinlichkeit in den Prozessabläufen bei der Bahn analysiert und im Kontext der umgebenden Innovationen, Entwicklungen und Optimierungen bewertet. Beispielsweise wird der Einsatz von Quantencomputern direkt in Bahnprozessen als unwahrscheinlich eingeschätzt, während ein Einsatz im Umfeld der Bahnprozesse als möglich erachtet wird. Die Einführung von Augmented und Virtual Reality gilt hingegen auch im Bahnbereich als sicher. Im nächsten Schritt werden zu diesen Zukunftstechnologien und Einsatzwahrscheinlichkeiten nun Prognosen für den eigentlichen Securitybedarf bei ihrem Einsatz ermittelt.

In einer branchenweiten Befragung wird im Projekt **Security und geplanter Technologieeinsatz** das Securitybewusstsein und der Reifegrad der eingesetzten Cybersecuritylösungen erfasst. Weiterhin wird beleuchtet, welche Technologien von den Unternehmen der Bahnbranche als vielversprechend angesehen werden, welchen Einfluss sie auf den Geschäftsbetrieb haben und wie groß der erwartete Cybersecuritybedarf für den sicheren Einsatz dieser Technologien ist.

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.

### **Der Mensch im System Schiene**

Der Mensch ist das zentrale Element im System Schiene. Um die Sicherheit im Schienenverkehr zu gewährleisten und weiter auszubauen, müssen neben regulatorischen und technischen Maßnahmen zunehmend auch menschliche und organisatorische Faktoren adressiert werden. Insbesondere im Hinblick auf gesellschaftliche und technische Veränderungen, beispielsweise den demografischen Wandel, Digitalisierung, oder Automatisierung, bedarf es Anpassungen im Bahnbetrieb.

Für das sichere und effiziente Arbeiten im Bahnbetrieb sind zwei Voraussetzungen wichtig: Zunächst müssen die Beschäftigten das notwendige theoretische und praktische Wissen und Können haben. Hierzu bedarf es einer adäquaten Wissensvermittlung. Lerninhalte und Wissensvermittlung müssen an die Bedürfnisse der Lernenden und an die technologischen Herausforderungen im Bahnbetrieb angepasst werden. Nur so können qualifizierte Fachkräfte für den Einsatz im Schienenverkehr gewonnen, qualifiziert und dauerhaft gehalten werden. Das DZSF entwickelt im Rahmen von zwei Forschungsprojekten einen Überblick zum **Fort- und Weiterbildungsangebot** und zur **Hochschulausbildung** im Schienenverkehrssektor in Deutschland. Umfangreichen Analysen zur Struktur, Quantität und Qualität der akademischen Ausbildungslandschaft und der nichtakademischen Fort- und Weiterbildung werden Angebote und Bedarfe im Sektor gegenübergestellt. Darauf aufbauend werden Handlungsempfehlungen für die jeweiligen Bildungsbereiche des Sektors entwickelt.

Entscheidend für sicheres und effektives Handeln der Beschäftigten ist als zweite Voraussetzung auch das wahrgenommene Arbeitsklima. Es soll auf die Reduktion und Vermeidung gefährlichen und unsicheren Verhaltens abzielen. Im Rahmen des gestarteten Eigenforschungsprojektes **Sicherheitskultur im Schienenverkehrssektor** sollen das Wissen und Bewusstsein der Relevanz sowie die Methodenkompetenz einer Sicherheitskultur im Sektor gestärkt und Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheitskultur entwickelt und evaluiert werden. Dabei wird der enge Austausch mit der Eisenbahnagentur der Europäischen Union (ERA) sowie mit Unternehmen aus dem Sektor angestrebt.

### **Ansteckungsgefahr mit COVID-19 in öffentlichen Verkehrsmitteln**

Für die Aufrechterhaltung der Mobilität der Bevölkerung ist der öffentliche Nah- und Fernverkehr, sowohl auf der Straße als auch auf der Schiene, von wesentlicher Bedeutung. Laut Statistischem Bundesamt fanden vor der aktuellen Pandemiesituation täglich mehr als 30 Millionen Fahrten im öffentlichen Nah- und Fernverkehr in Deutschland statt. Durch die COVID-19-Pandemie sind die Fahrgastzahlen zu Beginn der Pandemie stark gesunken. Die Ursache lag unter anderem darin, dass die Fahrgäste aufgrund des gesteigerten Individualschutzes einen subjektiven Vertrauensverlust in die gesundheitliche Sicherheit der öffentlichen Verkehrsmittel zeigten. Um das Vertrauen der

Fahrgäste zurückzugewinnen und auch eine wissenschaftlich objektive Einschätzung über ein relatives Ansteckungsrisiko mit COVID-19 im öffentlichen Verkehr zu ermitteln, hat das DZSF das Projekt **Risikoeinschätzung zur Ansteckungsgefahr mit COVID-19 im Schienenpersonen- sowie im Straßenpersonennah- und -fernverkehr** im Auftrag des BMDV vergeben und begleitet. Die Auftragnehmer zeigten mit ihrer Untersuchung unter anderem, dass die getroffenen Schutzmaßnahmen, wie das korrekte Tragen einer FFP2-Maske, eine deutliche Wirksamkeit entfalteten.

### **Evaluierung und Weiterentwicklung der Sicherheitskonzepte für Eisenbahntunnel**

Das DZSF hat die Leitung des Konsortiums im Antragsforschungsprojekt **Evaluierung und Weiterentwicklung der Sicherheitskonzepte für Eisenbahntunnel - SIKET** übernommen. SIKET setzte sich mit dem Brand- und Katastrophenschutz bezogen auf die Tunnelsicherheit auseinander. Die hohen Sicherheitsanforderungen von Eisenbahntunneln beruhen bisher auf Expertenwissen und -erfahrungen. Diese wurden erstmalig durch das Projekt SIKET wissenschaftlich untersucht. Zudem wurden neben der Szenarienentwicklung und einer EU-weiten Unfallanalyse eine Untersuchung der Rauchausbreitung eines Brandes im Tunnel vorgenommen sowie die Räumung und Evakuierung eines Tunnels analysiert. Berücksichtigung fand auch das Verhalten der Fahrgäste in Notfallsituationen. Das Konsortium hat für die verschiedenen Rettungsdienste einen Demonstrator zu Schulungszwecken entwickelt. Nun können Rettungsdienste ihr Personal in einer virtuellen Realität (Eisenbahntunnelumgebung) unter nahezu realen Bedingungen schulen, ohne den Bahnbetrieb dadurch zu stören. Das Projekt wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert und lief über einen Zeitraum von drei Jahren bis zum Juli 2021.

# 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 Wissenschaftlichen Beirat, die Arbeit im Expertennetzwerk des BMDV und die Kooperation mit der Agentur der Europäischen Union für Eisenbahnen (ERA). Darüber hinaus wird die Vernetzung im Schienenverkehrssektor durch Fachtagungen und 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. Seit Januar 2020 erscheinen die Forschungsberichte des DZSF 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 kann 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](http://www.dzsf.bund.de).

## Wissenschaftlicher Beirat

Ein wichtiger Schritt zum Aufbau des DZSF war in diesem Jahr die Einrichtung des wissenschaftlichen Beirats. Im Mai 2021 fand die konstituierende Sitzung dieses Gremiums als erstes Treffen virtuell statt. Die acht Mitglieder sind Vertreterinnen und Vertreter aus Wissenschaft und Forschung. Sie decken mit ihrer fachlichen Expertise alle Forschungsfelder des DZSF ab. Das Gremium wird künftig zweimal jährlich tagen. Die Beiratsmitglieder wählten Frau Prof. Dr. Martina Schraudner zur Vorsitzenden. Stellvertretender Vorsitzender ist Herr Prof. Dr.-Ing. Martin Cichon.

Der Wissenschaftlichen Beirat sichert das hohe wissenschaftliche Niveau in der Arbeit des DZSF. Der 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.



v.l.n.r.: Jens Klocksın (BMDV), Christian Schindler (RWTH Aachen), Martina Schraudner (TU Berlin; FhG IAO), Thomas Siefert (TU Braunschweig), Corinna Salander (DZSF), Martin Cichon (TH Nürnberg), Christine Ahrend (TU Berlin), Wolfgang Schulz (Zeppelin Universität), Michael Schmitz (EBA)

### **Mitglieder des wissenschaftlichen Beirates des DZSF**

#### **Prof. Dr.-Ing. Christine Ahrend**

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

Als ständige Gäste sind der Präsident des Eisenbahn-Bundesamtes, Gerald Hörster, sowie Dr. Jens Klocksinn als Vertreter des BMDV Teil des Wissenschaftlichen Beirats.



## 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 die Expertise seiner Mitglieder zur sicheren und nachhaltigen Entwicklung der Verkehrssysteme in Deutschland. Dabei liegt ein wesentlicher Fokus auf 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 Güterverkehr (BAG), das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) sowie die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt).

Das übergeordnete Ziel der Zusammenarbeit ist es, ein resilientes und umweltgerechtes Verkehrssystem sicher zu stellen. 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, zweiten Förderphase des Expertennetzwerks (2020–2025) werden die Forschungsergebnisse und initiierten Innovationsprozesse weiterentwickelt. Ziele sind die System- und Verfahrensintegration, die Integration und Vereinheitlichung von wissenschaftlichen Daten und Modellen sowie eine nachhaltige Vernetzung. Dazu werden Synergien zwischen Forschung, Entwicklung und Anwendung durch ganzheitliche Lösungsansätze gefördert. Das setzt etablierte kooperative Strukturen für praxisorientierte Forschungsnetzwerke und einen effektiven Wissenstransfer voraus, der im Expertennetzwerk geschaffen wird.

Das Expertennetzwerk 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, gravitative Massenbewegungen) auf Verkehr und Infrastruktur verkehrsträgerübergreifend zu analysieren, um Anpassungsoptionen zu entwickeln. Über Forschungsbeiträge des Themenfeldes wird zudem die Umsetzung der Ziele der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) unterstützt. Derzeit werden unter anderem Starkregen- verursachte Ereignisse untersucht wie Sturzfluten oder schnelle gravitative Massenbewegungen. Hierbei werden exemplarische Simulationen und Modellierungen von Hangrutschungen in Fokusgebieten mit häufigem Vorkommen von Ereignissen durchgeführt und eine bundesweite Gefahrenhinweiskarte schneller, wasserhaltiger Massenbewegungen erstellt.

### Themenfeld 2: Umwelt und Verkehr

Das Themenfeld leistet einen großen Beitrag, um Verkehr und Infrastruktur in Deutschland nachhaltig und umweltgerecht zu gestalten. Dazu werden innovative Konzepte und Managementsysteme in

den Bereichen Emission und Immission, Management gebietsfremder Tier- und Pflanzenarten (Neobiota) und ökologische Vernetzung entwickelt und praxisorientierte Lösungen erprobt. Im Bereich der stofflichen Emissionen und Immissionen spielt zum Beispiel der Eintrag von Abrieben in die verschiedenen Umweltkompartimente eine wichtige Rolle, deren freigesetzte Menge bilanziert und mögliche Transportwege verkehrsträgerübergreifend charakterisiert werden. 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** steht die Erschließung der Potentiale von BIM in der Betriebsphase von Bauwerken im Zentrum der Forschung des DZSF.

### **Themenfeld 4: Digitale Technologien**

Unter der Leitung des DZSF liegt der Fokus dieses Themenfeldes auf der konsequenten Nutzung der Möglichkeiten, die die Informations- und Kommunikationstechnologien für das Verkehrssystem und die Infrastruktur bieten. 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 diskreten Einzelfälle möglich. Daher werden durch neuronale Netze Entscheidungsstrukturen aufgebaut, die aber nicht mathematisch bewertbar sind, was die Fehlerhäufigkeiten betrifft. Das DZSF arbeitet gemeinsam mit dem BSH an Anforderungen zur Zertifizierung von KI-trainierter Software für das automatisierte Fahren, mit der die benötigten Sicherheitsnachweise zur Zulassung automatisierter Fahrzeuge erfüllt werden können.

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 und welche Potentiale damit genutzt werden können. Dabei sind insbesondere rechtliche Aspekte zu berücksichtigen, die in digitalen Systemen umgesetzt werden müssen. Als Klammer um BIM und GIS soll untersucht werden, wie die Methoden der Datenhaltung durch die beiden Methoden besser verzahnt werden können und ein automatischer Datenaustausch erfolgen kann.

### **Themenfeld 5: Erneuerbare Energien**

Für den Schutz des Klimas und die Eindämmung des Klimawandels ist die Reduktion der Treibhausgasemissionen unumgänglich. Dies geht einher mit dem Anspruch, verstärkt erneuerbare Energien für die Bereitstellung von Strom und Wärme zu nutzen. Auch der Verkehrssektor kann einen Beitrag leisten, z. B. indem die Energiegewinnung mit erneuerbaren Energien auf eigenen Verkehrsflächen ausgebaut wird. Aktuelle Forschungsbeiträge in diesem Themenfeld untersuchen den verkehrsträgerübergreifenden Ansatz vom 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**

In der ersten Innovationsphase des Expertennetzwerks konnte ein deutlicher Bedarf für eine schnelle und präzise Quantifizierung von verkehrlichen Wirkungen identifiziert werden. Im Zuge der fortschreitenden Digitalisierung entstehen zunehmend neue Datensätze mit hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung, für deren Nutzung geeignete Methoden und Analysen bereitgestellt werden müssen. Anhand konkreter Anwendungsfälle werden die Möglichkeiten neuer verkehrswirtschaftlicher Instrumentarien exemplarisch demonstriert. 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 ein umfassenderes Bild des Ausmaßes der inter- und intramodalen Verkehrsverlagerung zu erhalten. Dabei spielen verkehrsunabhängige Einflussfaktoren (z. B. klimatische und sozioökonomische Variablen), die den Verkehr beeinflussen können ebenfalls eine Rolle.

## **Internationales**

Schieneverkehr ist grenzüberschreitend. Über die technische und regulative Harmonisierung und Standardisierung soll der gemeinsame europäische Eisenbahnraum geschaffen werden, in dem grenzüberschreitender Schienenverkehr ohne technische und bürokratische Hürden möglich ist.

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. Im laufenden Projekt **Brückendynamik; dynamisches Lastmodell** wird ein Lastmodell für Brücken entwickelt, das alle relevanten, dynamischen Einwirkungen durch Zugüberfahrten auf eine Brücke erfassen kann. Die Ergebnisse sollen in die Europäische Normung einfließen.

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.

Die Europäische Kommission verfolgt mit dem Gemeinsamen Unternehmen Shift2Rail im Bereich Schiene den Ansatz der Forschungsförderung. Das DZSF unterstützt die Arbeiten des BMDV in diesem Kontext und engagiert sich im Gremium der Mitgliedstaaten sowie des Nachfolgeprogramms Europe's Rail (ERJU). Ebenso ist das DZSF Mitglied der Shift2Rail-Mitgliedstaatengruppe zur Einführung der Digitalen Automatischen Kupplung. Prof. Dr.-Ing. Corinna Salander ist Mitglied im Scientific Committee von Shift2Rail.

### **Eisenbahnagentur der Europäischen Union (ERA)**

Die Entwicklung des gemeinsamen europäischen Eisenbahnraumes ist ein wichtiges Ziel der Ressortforschungsarbeit. 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 dem die Ziele und Möglichkeiten der gemeinsamen Kooperation im Rahmen von Forschungs- und Entwicklungsprojekten festgehalten sind. Die Kooperation steht auch den Sicherheitsbehörden anderer Mitgliedstaaten offen. Ziel ist der regelmäßige Austausch von Informationen zu Forschungsprojekten und die Identifizierung von gemeinsamen Forschungsbedarfen.

Neben dem regelmäßigen Informationsaustausch werden gemeinsam Projekte im Aufgabenbereich der ERA bearbeitet. Dazu nehmen ERA-Experten an forschungsbegleitenden Arbeitskreisen des DZSF teil. In 2021 konnte das DZSF-Projekt zur **Akustischen Anerkennung neuer Bremssohlen** erfolgreich beendet werden. Die Ergebnisse werden in die Technische Spezifikation Interoperabilität (TSI) Fahrzeuge - Lärm einfließen und die bestehende Regelungslücke schließen.

## Workshops und Fachtagungen

Das DZSF unterstützt das BMDV bei der Ausrichtung des jährlichen **Workshops Zukunft Schienenverkehrs-forschung**. Die eintägige Veranstaltung zum Stand der Herausforderungen auf nationaler und europäischer Ebene richtet sich an den gesamten Sektor. Es werden laufende Forschungsaktivitäten vorgestellt, sowie neue Forschungsbedarfe identifiziert und diskutiert.

Das DZSF veranstaltet regelmäßig Fachtagungen zu unterschiedlichen Themen des Sektors. 2021 haben diese Veranstaltungen aufgrund der Pandemiesituation vorwiegend digital stattgefunden. Dennoch ist es gelungen, Expertinnen und Experten aus dem gesamten europäischen Sektor in fünf Fachtagungen zu diesen Themen zusammen zu bringen:

- Gestaltung von Fahrzeuginnenräumen
- Prädiktive Instandhaltung
- Automatisierte Betriebsfunktionen von Straßenbahnfahrzeugen
- Acoustic Certification of New Composite Brake Blocks
- Dynamic Load Model for High-Speed Railway Bridges

Auf der Basis von Vorträgen aus der Wissenschaft, von Herstellern und Betreibern konnten zentrale Themen der jeweiligen Felder diskutiert und ein intensiver Austausch zu aktuellen Entwicklungen initiiert werden.

# Organisation

Das Jahr 2021 war das dritte Jahr des Aufbaus des DZSF. In diesem Jahr konnte die Personalgewinnung weitgehend abgeschlossen werden. 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 sowie zusätzlichen Mitteln über das Expertennetzwerk und weitere Drittmittelprojekte. Am 23. Mai 2019 wurde das DZSF als Ressortforschungseinrichtung des Bundes in Dresden gegründet. Seitdem ist es gelungen, in Dresden und Bonn ein nunmehr rund 60-köpfiges, interdisziplinäres Forscherteam zusammenzustellen.

### Personal 2021

		Forschungsbereich						Gesamt
		Stab	Strategische Planung	Wirtschaftlichkeit	Umwelt und nachhaltige Mobilität	Sicherheit	Querschnittsthemen	
<b>Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler</b>								
Insgesamt	VZÄ	1	6,49	9,48	12,28	7,75	11,18	48,18
	Personen	1	7	10	14	8	12	52
<i>darunter befristet</i>	VZÄ			1,71	5,3		2	9,01
	Personen			2	6		2	10
davon Drittmittelfinanziert								
Insgesamt	VZÄ				0,8			0,8
	Personen				1			1
<i>darunter befristet</i>	VZÄ				0,8			0,8
	Personen				1			1
<b>Technik und Verwaltung</b>								
Insgesamt	VZÄ	4,15	5,07					9,22
	Personen	5	6					11
<i>darunter befristet</i>	VZÄ	1	5,07					5,07
	Personen	1	6					7

Tabelle 1: Personal des DZSF 2021, Stand: 31.12.2021.

## Haushaltsmittel

Der Wirtschaftsplan des DZSF für das aktuelle Jahr ist im Haushaltsgesetz 2021 vom 21.12.2020 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 2021

	<i>Kapitel</i>	<i>Titel</i>	<i>HH 2021**</i>
<b>Personalausgaben</b>			
Grundfinanziertes DZSF-Personal	1217	422 31	925
BMDV-Expertennetzwerk*	1210	427 39 1	503
<b>Verwaltungsausgaben</b>			
Aus- und Fortbildung	1217	525 31 4	33
Dienstreisen	1217	527 31 4	40
Allgemeine Verwaltungsausgaben	1217	539 39 4	57
BMDV-Expertennetzwerk*	1210	547 31 7	75
<b>Forschung- und Entwicklung *</b>			
Forschung, Untersuchung und Ähnliches / Ressortforschung BMDV	1202	544 01	17.385
Maßnahmen zur Lärmsanierung	1202	891 05	300
Forschung, Untersuchung und Ähnliches / Ressortforschung EBA	1217	544 01 0	725
BMDV-Expertennetzwerk	1210	544 31 4	515
Forschungsprogramm Stadtverkehr, Straßenbahnverkehr	1206	544 01	185
<b>Sonderprogramme</b>			
Bundesprogramm Zukunft Schienengüterverkehr	1210	683 51	29.625

\* Anteil des DZSF, \*\*in 1.000 EUR

Tabelle 2: Übersicht Haushaltsmittel des DZSF 2021 laut Bundeshaushaltsgesetz 2021 vom 21.12.2020.

# Ausblick 2022

Das DZSF unterstützt mit seiner Forschungsarbeit die im Koalitionsvertrag festgelegten Schwerpunkte der Bundesregierung. Dabei sind die vielfältigen Fragen, die mit der Digitalisierung des Bahnsektors einhergehen, von großer Bedeutung. Zur Beschleunigung von Planungs- und Genehmigungsprozessen und möglichen Verwaltungsvereinfachungen kann die Digitalisierung beitragen. Eng verbunden sind damit jedoch auch Fragen zur Cybersicherheit. Hierzu wird das DZSF seine Arbeit fortsetzen und zur Unterstützung die eigene Forschungsinfrastruktur, das Labor für Cybersicherheit, weiter ausbauen. Weitere Schwerpunktthemen des Koalitionsvertrages, beispielsweise der Klima- und Umweltschutz, soziale Teilhabe und Barrierefreiheit oder auch Fragen zur Aus- und Weiterbildung von Fachkräften, spiegeln sich in den Forschungsaktivitäten 2022 des DZSF wider. Damit trägt das DZSF in seiner Rolle als Ressortforschungseinrichtung zur wissenschaftsbasierten Politikberatung bei.

Neben den Aktivitäten im nationalen Bereich wird das DZSF auch die internationale Vernetzung verstärken, um das Ziel des gemeinsamen europäischen Eisenbahnraums zu erreichen. Der etablierte Austausch mit den Verkehrsministerien in Österreich und der Schweiz und die Zusammenarbeit mit der ERA sollen durch den fachlichen Austausch mit anderen europäischen und internationalen Forschungseinrichtungen erweitert werden. Das DZSF wird in verschiedenen Arbeitsgruppen des Internationalen Transport Forums (ITF) seine Expertise einbringen.

Das DZSF freut sich, das im Sommer 2021 eröffnete Offene Digitale Testfeld im Jahr 2022 weiter auszubauen, auch mit eigener Forschungsinfrastruktur. Viele der für das Jahr 2022 geplanten Forschungsprojekte werden das Testfeld zwischen Halle (Saale), Cottbus und Niesky für die Erprobung nutzen.

Den wichtigen Austausch von Wissen und Expertise im Bahnsektor wird das DZSF auch im kommenden Jahr weiter fördern und Forschungsergebnisse öffentlich nutzbar machen. Das DZSF wird auf der internationalen Leitmesse InnoTrans in Berlin aus der Ressortforschungsarbeit berichten und freut sich auf den persönlichen Dialog mit dem Sektor.

Die praxisorientierten Forschungsaufgaben des DZSF bleiben spannend und herausfordernd und sind ein wichtiger Baustein für die Stärkung des Verkehrsträgers Schiene.



# Anhang

Forschungsprojekte 2021.....34

Forschungsberichte 2021.....37

# Forschungsprojekte 2021

## Projekte 2021 (28 Projekte)

	Volumen*	Dauer	Laufzeit
<b>BMDV-Expertennetzwerk</b>	<b>634.418 €</b>		
Projekt TF1: Sensitivitätsanalyse Vegetation entlang der Bundesverkehrswege bezüglich Extremwetter & Klimawandel	237.619 €	12	01/21-01/22
Projekt TF2: Größenspezifische und räumliche Verteilung von Abrieben und partikulären Emissionen	396.798 €	36	06/21-06/24
<b>Erschließung des Umlandes</b>	<b>179.999 €</b>		
Projekt Modernisierung der Antriebskonzepte für Nebenfahrzeuge	179.999 €	16	08/21-11/22
<b>Kapazitätserhöhung</b>	<b>1.779.756 €</b>		
Projekt Kapazitätsoptimierte Vegetationsplanung	147.771 €	24	05/21-05/23
Projekt Methodik Kapazitätsbewertung des Gesamtsystems	949.382 €	36	07/21-07/24
Projekt Sensorik als Voraussetzung für ATO-Funktionen	210.979 €	6	07/21-12/21
Projekt Methoden für das Monitoring der LST-Infrastruktur	345.100 €	36	05/21-05/24
Projekt Technische und digitale Kuppelbarkeit von Nahverkehrsfahrzeugen verschiedener Flotten und Hersteller	126.524 €	6	08/21-02/22
<b>Cybersecurity</b>	<b>732.192 €</b>		
Projekt Entwicklung ETCS Labor (Soft- und Hardware)	613.787 €	24	07/21-07/23
Projekt Studie Security und geplanter Technologieeinsatz	118.405 €	6	05/21-11/21
<b>Lärmforschung mit LärmLab21</b>	<b>273.105 €</b>		
Projekt Normierbares Verfahren zur Bestimmung der Restlebensdauer von Lärmschutzwänden	273.105 €	12	07/21-07/22
<b>CO2-/ Emissionsfreie Bahn</b>	<b>1.307.721 €</b>		
Projekt Modernisierung von Schienenfahrzeugen	144.407 €	7	05/21-12/21
Projekt Emissionen und Immissionen aus dem Schienenverkehr – Luftschadstoff-Monitoring und Ausbreitungsbe- rechnung	999.095 €	36	03/21-03/24
Projekt Alternative Antriebe 4: Transeuropäische H2-Verfügbarkeit für den Schienenverkehr	164.220 €	7	07/21-01/22
<b>Grundlagenthemen Bahn (Unterstützung hoheitliche Aufgaben, Weiterentwicklung Regelwerk)</b>	<b>2.596.694 €</b>		
Projekt Gewässermonitoring	538.358 €	48	10/21-10/25
Projekt Mindestausrüstungsstrategien zum effektiven und wirtschaftlichen Condition Monitoring von Güterwagen	339.864 €	7	07/21-02/22
Projekt Analyse der Rahmenbedingungen für eine nutzerfreundlichen intermodalen Schienenpersonenverkehr	227.284 €	6	06/21-12/21
Projekt Use Case Einwendungsmanagement (KI)	153.005 €	7	05/21-12/21

Projekt Systematisierung der Infrastruktur-Instandhaltungsplanung und Beschreibung der Anwendung von Predictive Maintenance	235.977 €	7	06/21-01/22
Projekt Methodische Unterstützung Ressortforschung DZSF: Trend Scouting	342.720 €	12	08/21-08/22
Projekt Sicherheitsuntersuchung zur Anpassung der LNT-Richtlinie	120.321 €	6	08/21-02/22
Projekt Möglichkeit zum Vogelschutz in Tunnel und Unterführungen (§ 41 Vogelschutz an Oberleitungsanlagen)	354.164 €	12	04/21-04/22
Projekt Automatisierte Betriebsfunktion von Straßenbahnfahrzeugen: Bewertung der Potentiale von Technologien zum vernetzen Fahren	285.000 €	15	02/21-05/22
<b>Klimaanpassung</b>	<b>384.337 €</b>		
Projekt Potenzialstudie Photovoltaik-Anwendungen an der Schieneninfrastruktur	284.608 €	14	08/21-10/22
Projekt Nahe-Echtzeit-Identifizierung von Baumstürzen auf die Schieneninfrastruktur	99.729 €	7	08/21-02/22
<b>Offenes Digitales Testfeld</b>	<b>486.425 €</b>		
Projekt Nachhaltige Kühlcontainer auf der Schiene	486.425 €	7	05/21-12/21
<b>Kurzfristige Politikberatung</b>	<b>194.446 €</b>		
Projekt Analyse der Fort- und Weiterbildungsmöglichkeiten im Schienenverkehrssektor	98.354 €	6	06/21-12/21
Projekt Analyse der Hochschulausbildung im Schienenverkehrssektor	96.093 €	6	06/21-12/21
<b>Gesamt 2021</b>	<b>8.569.092 €</b>		

#### In 2021 abgeschlossene Projekte aus Vorjahren (14 Projekte)

<b>BMVI-Expertennetzwerk</b>			
Projekt TF 3: ZfPBau-Verfahren für Ingenieurbauwerke aus Stahl und Umsetzung einer Logik	117.647 €	12	01/19-01/21
Projekt TF2: Erstellung eines Lastenhefts für die Programmierung eines webbasierten Informationssystems für Baustoffe	109.956 €	6	12/20-06/21
Projekt TF3: Erweiterung des ZfP-Katalogs: Zerstörende Prüfverfahren	174.097 €	16	08/20-12/21
<b>Schwerpunkt: Cybersicherheit</b>			
Projekt Analyse möglicher Angriffsszenarien für verschiedene Teilsysteme: DSTW, BBIP (Schwachstellenanalyse LST)	246.979 €	26	06/19-08/21
<b>Schwerpunkt: Erschließung des Umlandes</b>			
Projekt ETCS und DSTW auf Regional- und Nebenbahnen	168.168 €	10	11/20-09/21
<b>Schwerpunkt: Lärmforschung</b>			
Projekt Akustische Anerkennung neuer Bremssohlen	239.441 €	24	12/19-12/21
<b>Schwerpunkt: Grundlagenthemen Bahn</b>			
Projekt Nachweis von Kopfbolzendübeln zur Übertragung von Horizontalkräften aus Brückenlagern in Lagersockel	142.800 €	30	06/19-12/21

Projekt Erfordernis, Wirksamkeit und Gestaltung von Führungen und Fangvorrichtungen vor anprallgefährdeten Stützkonstruktionen	840.000 €	24	11/19-11/21
<b>Schwerpunkt: CO2-/ Emissionsfreie Bahn</b>			
Projekt Entwicklung eines bahnspezifischen Standards für Wasserstoffanwendungen in Schienenfahrzeugen	178.112 €	12	10/20-10/21
Projekt Analyse der Nutzungsvoraussetzungen zur Anwendung der BIM-Methodik im EBA	242.668 €	12	04/20-04/21
Projekt Unterstützungsmaßnahmen bei der Durchführung von betrieblichen Hilfshandlungen	192.431 €	12	10/20-10/21
Projekt SAKRA Anforderungsprofil für Sicherungsposten und Sicherungsaufsicht	149.256 €	12	07/20-07/21
<b>Schwerpunkt: kurzfristige Politikberatung</b>			
Projekt Risikoeinschätzung zur Ansteckungsgefahr mit COVID-19 im Schienenpersonenverkehr	643.573 €	8	09/20-05/21
Projekt Untersuchung der volkswirtschaftlichen Bedeutung des deutschen Bahnsektors auf Grundlage ihrer Beschäftigungswirkung	143.990 €	12	08/20-08/21

\* Gesamtbewilligungssumme zum Bewilligungszeitpunkt, Rundungsfehler bei Summenbildung möglich

Tabelle 3: Übersicht laufende und abgeschlossenen Projekte in 2021.

# Forschungsberichte 2021

Taffe, A., Krämer, M., Schiemann, M., Wiese, J. (2021), ZfPBau-Verfahren für Ingenieurbauwerke aus Stahl und Umsetzung einer Logik für die Nutzung und den Abruf der Daten, ZfP-Bau Verfahrenskatalog Stahl (Los 1), Berichte des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung, Nr. 6.

Taffe, A., Wiese, J. (2021), Erfassung, Beschreibung, Bewertung und Verknüpfung der ZfPBau-Verfahren und Techniken für Ingenieurbauwerke bei Straße und Schienen, ZfPBau Verfahrenskatalog Beton (Los 2) und Mauerwerk (Los 3), Berichte des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung, Nr. 7.

Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung (Hg.) (2021), Prüfverfahren Zustandserfassung Bau, Modul „Zerstörungsfreie Prüfverfahren“, Berichte des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung, Nr. 8.

Görlich, J., Kornhuber, S., Pampel, H.P., Rüdiger, H., Lücker, H. (2021), Ermittlung der Vogelschutzwirksamkeit von Kleintierabweisern. Bestimmung von Strömen und Einschätzung der elektrischen Wirkung bei unterschiedlichen Isolatorzuständen, Berichte des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung, Nr. 9.

Frick, A., Stöckigt, B., Wagner, K. (2021), Ableitung des Baumbestandes entlang des deutschen Schienennetzes, Berichte des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung, Nr. 10.

Pluskota, B., Augsten, X., Jöst, A., Becker, N. (2021), Bewertung des Einschleppungs- und Vermehrungspotentials der Asiatischen Tigermücke (*Aedes albopictus*) auf Bahnanlagen in Deutschland, Berichte des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung, Nr. 11.

Will, H., Stratbücker, S., Norrefeldt, V., Reith, A., Scherer, C. (2021), Risikoeinschätzung zur Ansteckungsgefahr mit COVID-19 im Schienenpersonen- sowie im Straßenpersonennah- und -fernverkehr, Berichte des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung, Nr. 12.

Büker, K., Büker, T., Stoll, F., Nießen, N., De Donker, R., Sauer, D.U., Havemann, M., Borkenhagen, J., Kramer, U., Naumann, K., Öller, T. (2021), Untersuchung der Möglichkeiten und Anforderungen an ein offenes digitales Testfeld für den Schienenverkehr, Berichte des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung, Nr. 13.

Böttger, C., Maanning, W., Hartmann, E., Barsch, K., Waldmann, L., Specht, G., Brockmann, L. (2021), Volkswirtschaftliche Bedeutung des deutschen Bahnsektors auf Grundlage der Beschäftigungswirkung, Berichte des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung, Nr. 14, [doi: 10.48755/dzsf.210001.01](https://doi.org/10.48755/dzsf.210001.01).

Junck, J., Meyer, S., Leschig, H., Analyse der Nutzungsvoraussetzungen zur Anwendung der BIM-Methodik im EBA, Berichte des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung, Nr. 15, [doi: 10.48755/dzsf.210002.01](https://doi.org/10.48755/dzsf.210002.01).

# Impressum

## HERAUSGEBER

Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahn-Bundesamt

August-Bebel-Straße 10  
01219 Dresden

[www.dzsf.bund.de](http://www.dzsf.bund.de)

## BILDNACHWEIS

Günther Fotodesign Leipzig/ S. 3  
DZSF/S. 8, 23

DZSF; Hintergrundkarte: © European Union, Copernicus Land Monitoring Service 2018, European Environment Agency (EEA); Corine Land Cover (CLC); <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018>; Stand 06/2021; Streckennetz DE: DB AG: Geo-Streckennetz; <https://data.deutschebahn.com/dataset/geo-strecke.html>; Stand 10/2019 (CC BY 4.0); Streckennetz PL & CZ: HOTOSM: HOTOSM Poland (Czech Republic) Railways (OpenStreetMap Export); [https://data.humdata.org/dataset/hotosm\\_pol\\_west\\_railways](https://data.humdata.org/dataset/hotosm_pol_west_railways); [https://data.humdata.org/dataset/hotosm\\_cze\\_railways](https://data.humdata.org/dataset/hotosm_cze_railways); Stand 06/2021 (ODbL)/S. 11

## PUBLIKATION ALS PDF

[https://www.dzsf.bund.de/DZSF/DE/Infothek/Jahresberichte\\_Flyer\\_Broschueren/jahresberichte\\_flyer\\_node.html](https://www.dzsf.bund.de/DZSF/DE/Infothek/Jahresberichte_Flyer_Broschueren/jahresberichte_flyer_node.html)

Dresden, März 2022