



ETR

EISENBAHNTECHNISCHE RUNDSCHAU

MIT
JUBILÄUMS-
SPECIAL

IMPULSGEBER FÜR DAS SYSTEM BAHN

EUROPA

AutomatedTrain

Guidance Curves für den Digitalen Knoten Stuttgart

Hyperloop: Netzwerk und Wirtschaftlichkeit

Mehr Fahrwegkapazität: Im Fließbandverfahren bauen

RESILIENZ

Definition für das System Bahn und Entwicklung
einer Methodik zur Quantifizierung

FAHRZEUGE & KOMPONENTEN

Simulationsgestützte Untersuchung
des Schwallverhaltens in Tanks



Zusammenhalt ist der beste Schutz.

Von und für Eisenbahner:innen gegründet. Heute für alle da, die den Verkehr bewegen.



DEVK



Vorsprung beim Stopfen

Expertenwissen trotz Fachkräftemangel:

Der **Plasser TampingAssistant** weiß, wo jedes Aggregat hingehört.

Dank Künstlicher Intelligenz mit Deep Learning, modernster Sensortechnik und digitaler Stopfpläne automatisiert er die Instandhaltung, unterstützt das Bedienpersonal und liefert gleichbleibend hohe Qualität.

Und die Entwicklung geht weiter!



Berlin 2026
22. - 25. Sept.

Halle 26, Stand 270
T2/50 + T3/55



Europas Schiene neu denken – Die Verkehrswende braucht eine Renaissance der Eisenbahn

Liebe Leserinnen und Leser,

die heutige Verkehrswende versucht im Grunde, eine Entwicklung umzukehren, die seit Jahrzehnten den Verkehr in Europa geprägt hat – die Priorisierung von Auto- und Flugverkehr zulasten der Eisenbahn. Der entscheidende Wandel begann in den 1950er- bis 1970er-Jahren. Mit der Massenmotorisierung wurde das Auto zum Symbol für Freiheit und Wohlstand. Straßen und Autobahnen wurden massiv ausgebaut, während zahlreiche Straßenbahn- und Bahnstrecken vernachlässigt oder stillgelegt und Flughäfen erweitert wurden. Ab den 1970er- und 1980er-Jahren gewann zusätzlich der Flugverkehr durch günstigere Tickets und den wachsenden Massentourismus stark an Bedeutung.

Heute haben sich die Rahmenbedingungen grundlegend verändert. Klimapolitik, Energiepreise, Versorgungssicherheit, Verteidigungsbereitschaft und Umweltaspekte verleihen der Eisenbahn neue strategische Bedeutung. Das politische Momentum für eine Verkehrswende ist vorhanden, ebenso die Aussicht auf erhebliche finanzielle Mittel aus den Haushalten der Europäischen Union und der Mitgliedstaaten.

Entscheidend wird jedoch sein, diese Mittel gezielt einzusetzen und sowohl den Schienenpersonenverkehr als auch den Schienengüterverkehr konsequent weiterzuentwickeln. Europa braucht langfristig eine leistungsfähige und moderne Verkehrsalternative: die Eisenbahn. Voraussetzung dafür sind ein tragfähiges Geschäftsmodell,



langfristige Finanzierung und gesellschaftliche Unterstützung. Großprojekte dieser Größenordnung können im 21. Jahrhundert nur erfolgreich sein, wenn sie von Politik, Wirtschaft und Bevölkerung gemeinsam getragen werden.

Europa sollte dabei aus früheren Erfahrungen lernen.

Statt zunächst nationale Lösungen zu entwickeln und diese später zu harmonisieren, muss von Anfang an ein gemeinsamer europäischer Ansatz verfolgt werden – mit einheitlichen technischen Standards und interoperablen Systemen – wie etwa ERTMS. Darüber hinaus braucht der Schienengüterverkehr faire Wettbewerbsbedingungen gegenüber anderen Verkehrsträgern sowie eine umfassende Digitalisierung und Modernisierung (u.a. durch den Einsatz der Digitalen Automatischen Kupplung). Im Kern stehen wir heute vor der Aufgabe, die Eisenbahn nach 200 Jahren fit für das 21. Jahrhundert zu machen. Die grundlegende Technik bleibt zwar dieselbe, doch das System muss effizienter, digitaler und attraktiver werden. Wir müssen als Industrie Produkte schneller auf den Markt bringen und die Einführung von neuen Produkten und Technologien industrialisieren. Unter den heutigen wirtschaftlichen und ökologischen Bedingungen besitzt die Bahn klare Vorteile. Sie kann einen entscheidenden Beitrag leisten, um Menschen und Güter künftig nachhaltig, effizient und sicher durch Europa zu bewegen. Europas Zukunft braucht und verdient ein Verkehrssystem, das wirtschaftliche Stärke mit Nachhaltigkeit und Resilienz verbindet. ●

Enno Wiebe

Director General UNIFE

The European Rail Supply Industry Association



Inhalt

Gastkommentar

3
Europas Schiene neu denken – Die Verkehrswende braucht eine Renaissance der Eisenbahn
 Enno Wiebe

Europa

10
AutomatedTrain: Anpassungen des ETCS-On Board Systems für den vollautomatisierten Betrieb unter ATO GoA4
 Oliver Martens-Knitter | Peter Eimann

15
Modellierung von Guidance Curves für den Digitalen Knoten Stuttgart
 Olaf Gröpler | Michael Kümmling | Kristof Vandoorne | Thomas Vogel

22
Hyperloop in Europa: Netzwerkperspektive und Wirtschaftlichkeit
 Mars Geuze

26
Für mehr Fahrwegkapazität Gleise im Fließbandverfahren bauen
 Simon Misar

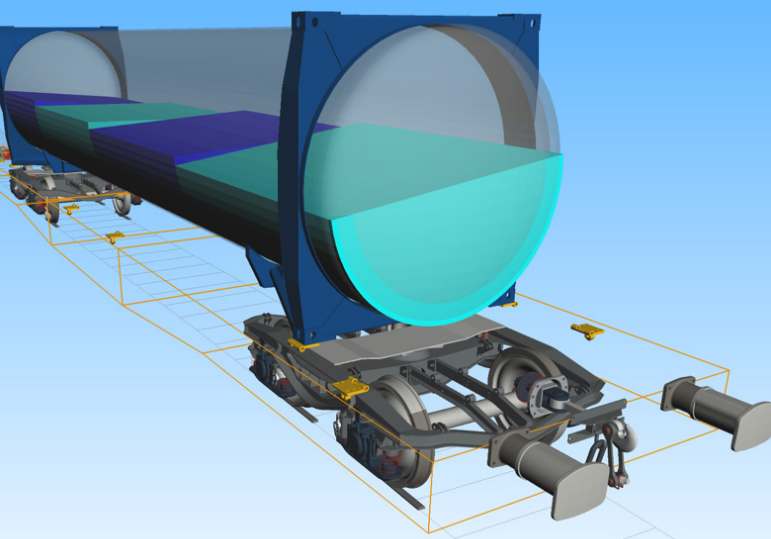
31
NATURE-DEMO: Naturbasierte Lösungen für eine klimaresiliente Schieneninfrastruktur
 Shahriar Mohammadzadeh | Lars Symmank

Verkehr & Betrieb

34
Resilienz – Definition für das System Bahn und Entwicklung einer Methodik zur Quantifizierung
 Phillip Bradt | Fabian Schröter | Philipp Scherer | Thorsten Bükler

38
Analyse extremer Wetterereignisse im Schienenverkehr mittels mikroskopischer Simulation
 Jakob Geischberger | Maximilian Held | Christian Meirich

Materialtransporte im Baugleis ermöglichen den Betrieb am Nebengleis 26



Mehrkörpersimulationsprogramm: Modell eines Containertragwagens mit Tankcontainer 72



Happy Birthday ETR! Seit 75 Jahren Wissensplattform für Bahntechnik 77

43

**Modellierung von Nutzungsrestriktionen
in modernen Stellwerken**Simon Emmert | Lukas Geyer | Werner Iberl | Bilal Üyümez |
Andreas Oetting

48

**Intermodale Citylogistik – Eine Chance für
Verkehrsverlagerung im urbanen Raum**

Fabian Wirth

Infrastruktur & Bau

53

**Die digitale Bahnbaumaschine – Automatische
Bremsprobe als integraler Bestandteil**

Fabian Aulinger | Fabian Steininger | Christoph Lorenzutti

57

Im täglichen Einsatz gegen Lärm

Andreas Busch | Lukas Thomalla

60

**Die Stahlschwelle auf neuen Wegen – eine Betrachtung der
Umwelt-, Kreislauf- und Resilienzanforderungen**

Rolf Wendler | Jörg Frenzel

Fahrzeuge & Komponenten

70

Gleisüberhöhung heruntersetzen?

Eberhard Jänsch

72

**Simulationsgestützte Untersuchung
des Schwallverhaltens in Tanks**

Clemens Hölpe | Denis Ehrhardt | Simon Stüwe | Michael Hieke

Fünf Fragen an

94

**Für ausländische Gäste diene ich oft als Reiseleiter zu
Bahnausbauprojekten in der Slowakei**

Peter Márton

Extra: 75 Jahre ETR

77

Happy Birthday ETR!

Manuel Bosch | Ursula Hahn

80

Innovationen, die die Bahn verändert haben

Eberhard Jänsch

84

Digitale Zukunftsfelder der Bahn

Christoph Müller

Rubriken

6

Monitor

89

Marktplatz

92

Veranstaltungen & Termine

93

Impressum**Zur Titelanzeige**

Vor 140 Jahren von Eisenbahnern für Eisenbahner gegründet, haben die DEVK Versicherungen bis heute eine enge Verbindung mit der Verkehrsbranche. Mit bedarfsgerechtem Schutz und vergünstigten Tarifen für Eisenbahner, ihre Kinder, Eltern sowie Ehe- und Lebenspartner.

Quelle: DEVK Versicherungen

Kontakt**Redaktion:****Ursula Hahn**

T 0172-188 08 29

ursula.hahn@dvvmedia.com

Vertrieb:**Markus Kukuk**

T 040/237 14-291

markus.kukuk@dvvmedia.com

Anzeigen:**Silke Härtel (verantw.)**

T 040/237 14-227

silke.haertel@dvvmedia.com

Tim Feindt

T 040/237 14-220

tim.feindt@dvvmedia.com

Nähere Informationen

siehe **Seite 93**

Haushalt 2027: Mehr Geld für Neu- und Ausbau – weniger für Förderungen

Politik | Im Bundeshaushalt 2027, der am 6. Juli 2026 vom Bundeskabinett beschlossen wurde, sind bei den Haushaltstiteln für die Schiene einige Verschiebungen im Vergleich zum Haushalt 2026 erfolgt. Die investiven Ausgaben für die Schieneninfrastruktur des Bundes liegen dabei in Summe leicht unter denen im Vorjahr: Im Sondervermögen sind im Entwurf 2027 für den Bestandsnetz-Titel mit 11,5 Mrd. EUR knapp 5 Mrd. EUR weniger als 2026 (16,3 Mrd. EUR) vorgesehen. Dafür sollen neu aus dem Verteidigungsetat (Einzelplan 14) 3,5 Mrd. EUR für den „Infrastrukturbeitrag zur Erhaltung der Schienenwege“ fließen. Beim ERTMS-Titel im Sondervermögen sind 2027 rund 2,2 Mrd. EUR vorgesehen, etwas weniger als 2026 (2,5 Mrd. EUR). Die Mittel für den Neu- und Ausbau wachsen dagegen

leicht: Aus im Verkehrs-„Kernhaushalt“ (Einzelplan 12) sollen 2,2 Mrd. EUR fließen (2026: 1,8 Mrd. EUR), auch die Baukostenzuschüsse aus dem Verteidigungsetat in den Neu- und Ausbau sollen 2027 auf 681,5 Mio. EUR steigen (2026: 555,3 Mio. EUR). Relativ konstant bei knapp 350 Mio. EUR bleiben die Mittel für kleine und Mittlere Maßnahmen. Für das Bestandsnetz sieht der Bund gegenläufig zur aktuellen Reduktion in der längerfristigen Finanzplanung wohl vor, dass durch eine Verschiebung der Mittel für eine längere Zeit die Mittelhöhe bis Anfang der 2030er-Jahre bei rund 15 Mrd. EUR stabil bleiben kann.

Reduziert werden im Entwurf 2027 dagegen die Titelansätze für die Förderprogramme: Für die Trassenpreisförderung im SGV sind für 2027 rund 200,3 Mio. EUR statt 2026 noch

insgesamt 345 Mio. EUR (inkl. LuFV-Pönsalen-Zusatzmittel) vorgesehen. Im SPVF schmilzt die Trassenpreisförderung fast ganz ab auf nur noch 5,3 Mio. EUR (2026: 200 Mio. EUR). Mit weniger Geld auskommen müssen auch die KV-Förderung (73,3 Mio. EUR, im Vorjahr: 90,3 Mio. EUR), die Gleisanschlussförderung (20 Mio. EUR, im Vorjahr: 30 Mio. EUR), die Einzelwagenverkehrs-Förderung (274 Mio. EUR, im Vorjahr: 300 Mio. EUR), die SGFFG-Förderung für NE-Infrastrukturen (46 Mio. EUR, im Vorjahr: 66 Mio. EUR) und der Titel „Innovationen im Schienengüterverkehr“ (für Z-SGV und DAK insgesamt 39,2 Mio. EUR, im Vorjahr: 45,9 Mio. EUR). Das Bundesfinanzministerium (BMF) hatte wohl scharfe Konsolidierungsvorgaben gemacht, das BMV wollte Kürzung von Investitionen vermeiden. (jgf) •

Bundeshaushaltsplanung 2027 von CDU/CSU/SPD im Vergleich zum laufenden Haushaltsjahr 2026 [1000 EUR]

Titel	Zweck	Soll 2027	Soll 2026	+/- zu '26	VE ¹
Einzelplan 12 (EP 12) des Bundesministeriums für Verkehr (BMV) im „Kernhaushalt“					
682 01-742	Beitrag an NE-Bahnen zu den Kosten für Unterhaltung und Betrieb höhengleicher Kreuzungen	2.200	2.200	0	-
682 01-742	Machbarkeitsstud. für grenzüberschr. Mobilität zur Ums. des Aachener Vertrages	2.200	2.200	0	4.420
682 04-742	Abgeltung übermäßiger Belastungen der Eisenbahnen des Bundes (EdB) aus Betrieb und Erhaltung höhengleicher Kreuzungen mit Straßen aller Baulasträger	140.009	104.917	35.092	-
682 07-045	Zuschuss an die DB AG für die Wahrnehmung von Aufgaben der zivilen Notfallvorsorge und des Krisenmanagements	4.100	4.100	0	4.100
891 01-742	Baukostenzuschüsse für Investitionen des Bedarfsplans Schiene	2.225.500	1.807.695	417.805	3.808.994
891 05-742	Maßnahmen zur Lärmsanierung an bestehenden Schienenwegen der EdB	156.493	185.000	-28.507	138.133
891 07-045	Investitionszuschüsse an die DB AG für Zwecke der zivilen Notfallvorsorge und des Krisenmanagements	2.791	2.791	0	2.791
891 10-742	Kleine und Mittlere Maßnahmen der Bundesschienenwege	348.784	349.469	-685	99.327
745 21-722	Kostendrittel des Bundes an Kreuzungsmaßnahmen (Baulast Bund)	6.000	6.000	0	3.400
882 21-723	Kostendrittel des Bundes an Kreuzungsmaßnahmen (Baulast Länder)	15.000	15.000	0	8.000
883 21-725	Kostenhälfte des Bundes an Kreuzungsmaßnahmen (Baulast Kommunen)	91.500	92.550	-1.050	76.200
883 23-725	Zuschüsse nach § 17 Eisenbahnkreuzungsgesetz (EKrG)	7.500	7.500	0	6.000
882 02-741	Finanzhilfen an die Länder für Vorhaben der Schieneninfrastruktur des öffentlichen Personennahverkehrs	1.222.862	1.201.240	21.622	-
891 01-741	Investitionszuschüsse für Vorhaben des öff. Personennahverkehrs an die Deutsche Bahn AG und Unternehmen, die sich überwiegend in Bundesland befinden	849.786	834.760	15.026	-
531 41-790	Studien und Untersuchungen für den Kombinierten Verkehr	47	48	-1	-
892 41-790	Zuschüsse an private Unternehmen für Investitionen in den Kombinierten Verkehr	73.304	90.300	-16.996	27.310
892 42-790	Investitionszuschüsse an private Unternehmen zur Förderung Neu- und Ausbau, Reaktivierung und Ersatzes von Gleisanschlüssen/weiterer Anlagen des SGV	20.000	30.000	-10.000	9.059
682 52-742	Reduzierung Trassenpreise im Schienengüterverkehr	200.258	265.000	-64.742	117.167
682 53-742	Reduzierung der Trassenpreise im Personenfernverkehr	5.338	200.000	-194.662	-
682 54-742	Förderung des Einzelwagenverkehrs	274.000	300.000	-26.000	191.461
683 51-742	Innovationen im Schienengüterverkehr ("Zukunft SGV" und DAK-Pionierzüge)	39.237	45.877	-6.640	44.550
891 51-742	Baukostenzuschüsse für Investitionen in die Schienenwege der NE-Eisenbahnen	46.000	66.000	-20.000	55.100
891 09-742	Förderinitiative zur Attraktivitätssteigerung und Barrierefreiheit von Bahnhöfen	entfallen	108.000	-108.000	-
532 14-742	Ausgaben für Prüfungen und Gutachten LuFV/LV InfraGO	entfallen	4.150	-4.150	-
Einzelplan 14 (EP 14) des Bundesministeriums der Verteidigung (BMVg) im „Kernhaushalt“					
891 52-032	Baukostenzuschüsse Schiene	681.500	555.305	126.195	2.446.833
891 54-742	Baukostenzuschüsse für einen Infrastrukturbeitrag zur Erhaltung der Schienenwege der Eisenbahnen	3.530.844	0	3.530.844	-
682 01-032	Zuschüsse an die Deutsche Bahn AG zur Unterhaltung von Strecken und Gleisabschnitten	1.000	1.000	0	-
Sondervermögen Infrastruktur und Klimaneutralität (SVIK)					
891 12-742	Ausrüstung der deutschen Infrastruktur und von rollendem Material mit dem Europäischen Zugsicherungssystem ERTMS	2.220.121	2.450.256	-230.135	1.220.440
891 13-742	Baukostenzuschüsse für einen Infrastrukturbeitrag zur Erhaltung der Schienenwege der Eisenbahnen des Bundes	11.494.026	16.302.605	-4.808.579	-
Sondervermögen Aufbauhilfe 2021					
891 11-742	Aufwendungen für Eisenbahnen des Bundes zur Beseitigung von Schäden am Bundesschienenwegenetz und für das Bundeseisenbahnvermögen	86.755	212.258	-125.503	40.000
SUMME		23.747.155	25.246.221	-1.499.066	8.303.285

¹ Im Haushaltsentwurf 2027 hinterlegte Summe der Verpflichtungsermächtigungen (VE) für die Folgejahre des jeweiligen Haushaltstitels

Aus Stuttgart 21 wird Stuttgart 31

Stuttgart 21 | Wie die Deutsche Bahn am 26. Juni 2026 bekanntgab, soll die Inbetriebnahme des unterirdischen Durchgangsbahnhofs erst zum Fahrplanwechsel 2031 erfolgen – größtenteils. Erst 2032 soll der neue Hauptbahnhof vollumfänglich im Netz integriert sein und der bisherige nicht mehr angefahren werden. Per Presseinformation bestätigte die Deutsche Bahn die dahingehend kursierenden Gerüchte und stellte einen Eröffnungsplan vor. Dieser enthält außerdem Informationen zu mit dem Bau des Tiefbahnhofs verknüpften Infrastrukturmaßnahmen in Stadt und Umland:

- Dezember 2030: Inbetriebnahme des Fernbahnhofs am Flughafen, zunächst voraussichtlich für Regionalzüge aus und in Richtung Reutlingen, Tübingen und Ulm.
- Dezember 2031: Inbetriebnahme des neuen Hauptbahnhofs in Stuttgart für den Fernverkehr und den Regionalverkehr, bis auf Züge aus und in Richtung Bad Cannstatt, die erst ab 2032 in den Durchgangsbahnhof einfahren. Für diese wird bis Jahresmitte 2032 der alte Kopfbahnhof weiter betrieben. Bereits im Frühjahr 2032 endet die Gäubahn in Stuttgart-Vaihingen, um den neuen Teil der S-Bahn-Stammstrecke an die bestehenden Gleise anschließen zu können.
- Juli 2032: Digitalisierte und verlängerte S-Bahn-Stammstrecke und S-Bahn-Haltestelle Mittnachtstraße/Rosenstein nehmen den Betrieb auf.

- Dezember 2033: Inbetriebnahme des Pfaffensteigtunnels. Der Tunnel schließt die Gäubahn über den Flughafen an die Infrastruktur von Stuttgart 21 an.

In der Presseinformation heißt es weiter, das Pilotprojekt Digitaler Knoten Stuttgart soll weiterhin in allen drei Ausbaustufen realisiert werden. Ursachen für die Verzögerung sind laut einer DB-internen Konzernrevision:

- Die Digitalisierung des Bahnknotens habe sich als deutlich anspruchsvoller erwiesen als vor einigen Jahren absehbar war.
- Planungsprozesse hätten nicht den erforderlichen Reifegrad erreicht.
- Das Technikgebäude aus dem Jahr 2013 sei nicht mehr passend für den heutigen Bedarf.
- Die Reaktion auf eine Normänderung bei der Stromversorgung sei zu spät erfolgt, was eine vollständige Neuplanung erfordere.

Die durch die Verschiebung entstandenen zusätzlichen Kosten bezifferte die Konzernrevision mit rund 3 Mrd. EUR, was revidierten Gesamtkosten von 14,5 Mrd. EUR entspricht. Darüber zeigte sich Vorstandsvorsitzende Evelyn Palla „erschüttert“. Als Konsequenz aus den Erkenntnissen der Revision will die DB die Projektorganisation sowohl organisatorisch als auch personell neu aufstellen. (bm/jsh) ●

Infrastruktur-Zukunftsgesetz beschlossen

Politik | Der Deutsche Bundestag hat am 26. Juni 2026 in dritter Lesung das Infrastruktur-Zukunftsgesetz beschlossen. Laut Bundesverkehrsministerium (BMV) sind neben verkehrsträgerübergreifenden Punkten wie Erweiterung des überragenden öffentlichen Interesses, grundsätzlich vollständig digitale Planfeststellungsverfahren und Entfall der Raumverträglichkeitsprüfung, u.a. für Schienenwege des Bundes und Straßenbahnen, auch schienenspezifische Maßnahmen enthalten. Diese sind u.a. die Klarstellung der Zuständigkeiten des Eisenbahn-Bundesamtes im Umweltrecht, die

Aufnahme einer Regelung zur Anerkennung von Prüforganisationen, um dem Mangel an Prüfsachverständigen zu begegnen, Möglichkeiten der planrechtsfreien Erneuerung von Eisenbahnbetriebsanlagen (wie bereits im Fall einer Naturkatastrophe möglich) auch infolge eines Extremwetterereignisses trotz eines wesentlich geänderten Grund- und Aufrisses sowie die Schaffung der rechtlichen Voraussetzungen für den Einsatz vollautomatisierter Fahrfunktionen von Eisenbahnen. Der Bundesrat hat in seiner Sitzung am 10. Juli 2026 dem Infrastruktur-Zukunftsgesetz zugestimmt. (jgf) ●

Köpfe & Karrieren

Obrowski wird neuer DB-Finanzvorstand |

Michael Obrowski soll zum 1. September als



Chief Financial Officer (CFO) der Deutschen Bahn AG (DB) beginnen. Der DB-Aufsichtsrat hat ihn am 25. Juni 2026 in seiner turnusmäßigen Sitzung berufen. Der 57-jährige Diplom-Wirtschaftsingenieur wechselt von einer Vorstandsposition im VW-Konzern zur Bahn. (dr)

Daria Menzel übernimmt DB-Stiftungsprofessur |

Am 1. Juli 2026 hat Prof.

Dr.-Ing. Daria Menzel die Leitung der DB



InfraGO-Stiftungsprofessur für Digitale Bahnsysteme an der TU Dresden, Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“ übernommen. In Ihrer Rolle

verstehen sie sich als Schnittstelle zwischen Industrie und Forschung. Sie wird daher auch weiterhin beim CERSS Kompetenzzentrum für Bahnsicherungstechnik tätig sein. (jsh)

Steffen Bilger wird Bundesverkehrsminister |

Steffen Bilger, 47, (CDU) soll neuer Bundesverkehrsminister werden und damit



anstelle von Patrick Schnieder treten. Von 2009 bis 2018 saß Bilger im Verkehrsausschuss des Bundestages und war anschließend Parlamentarischer

Staatssekretär im Verkehrsministerium. (jb/uh)

Quinet neuer EIM-Präsident |

Alain Quinet, stellvertretender geschäftsführender Direktor für Regulierung und Nachhaltigkeitsstrategie der SNCF Réseau, ist als neuer Präsident des europäischen Infrastrukturbetreiber-Verbandes EIM gewählt worden. Er folgt auf Miguel Cruz von den Infraestruturas de Portugal. (jgf)

Martin Sion neuer Unife-Vorsitzender |

Auf seiner Jahreshauptversammlung hat der Verband der europäischen Bahnindustrie Unife Alstom-CEO Martin Sion als Vorstandsvorsitzenden gewählt. Er folgt auf Siemens-Geschäftsführer Michael Peter. Der Unife-Vorsitz wechselt turnusgemäß alle drei Jahre. (bm)

Michail Stahlhut neuer CEO bei RIG |

Michail Stahlhut ist seit dem 1. Juni neuer CEO der Rail Innovators Group (RIG). Stahlhut tritt die Nachfolge von Julian Remie an. Der Gründer und bisherige CEO bleibt der Gruppe als Executive Chairman erhalten. (mir)

In Kürze

Ausbildung für SPNV gebündelt | Die VDV Academy & Training GmbH koordiniert in NRW künftig gebündelt und unternehmensübergreifend die Ausbildung für Fachkräfte im SPNV. Schon 2026 sollen in der neuen Struktur NRW-weit insgesamt bis zu zwölf Qualifizierungskurse mit rund 150 Teilnehmenden starten. Bis 2028 wird das Land NRW die neue Struktur mit rund 3 Mio. EUR unterstützen, anschließend soll die VDV-Academy & Training als Tochtergesellschaft des Verbandes Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) aus der Branche finanziert werden. (jgf)

Erhöhung der SGV-Förderung | Das Eisenbahn-Bundesamt hat Mitte Juni 2026 eine Erhöhung der Trassenpreisfördersätze für den Schienengüterverkehr von derzeit 26,5 % auf 47,7 % genehmigt. Der neue Fördersatz gilt bis zum 30. November 2026. (bm)

EU-Verordnung in Kraft | Seit dem 12. Juni gilt die neue EU-Schienenkapazitätsmanagement-Verordnung. Sie soll größtenteils ab Fahrplanjahr 2031 greifen und sieht mit der strategischen Planung, der jährlichen Fahrplanerstellung und der unterjährigen Anpassung ein dreistufiges Kapazitätsplanungsregime vor. Zudem werden europaweit Strafzahlungen für Infrastrukturbetreiber oder Eisenbahnverkehrsunternehmen eingeführt werden, die ihre Verpflichtungen hinsichtlich zugewiesener Zugtrassen nicht einhalten. (bm)

Siemens kooperiert mit Technis | Zum Aufbau von Instandhaltungskapazitäten für die Vectron-Plattform im französischen Markt geht Siemens Mobility mit dem Dienstleister Technis eine Partnerschaft ein. Bis zum Ende dieses Jahres sollen die ersten Maschinen für den Einsatz in Frankreich von Alpha Trains eingesetzt werden. (bm)

Funkwerk gründet Tochtergesellschaft | Funkwerk bündelt seinen Geschäftsbereich Fahrgastinformationssysteme seit dem 1. Juni in einer eigenen 100 %-igen Tochtergesellschaft, der Funkwerk Mobility Solutions GmbH. Dafür wurden der Standort Karlsfeld, die Niederlassung Wackersdorf und die Betriebsstätten Berlin, Dresden und Neu-Ulm von der Funkwerk Systems GmbH in die neue Gesellschaft überführt. (jgf)

53 „moderne Stellwerke“ geplant | Die Deutsche Bahn will dieses Jahr 53 „moderne Stellwerke“ bauen (wohl vor allem ESTW) und gleichzeitig 62 Altstellwerke ablösen. (jgf)

Drei Testlabore für FRMCS angekündigt

Deutsche Bahn AG / Michael Wenke



Digitalisierung | Das FRMCS-Entwicklungsprojekt FP2-MORANE-2 hat die Einrichtung dreier „Testlabore“ für das neue Zugfunksystem FRMCS angekündigt. Sie sollen auf dem ersten einheitlichen Katalog von Systemtestfällen von FP2-MORANE-2 beruhen, der auf den FRMCS-v2.2-Spezifikationen basiert und sowohl fahrzeugseitige als auch streckenseitige Systeme sowie FRMCS-Schnittstellen

abdeckt. Erprobt werden soll die herstellerübergreifende Integration der FRMCS-Komponenten, darunter Führerstandsfunkgeräte, Leitstellensysteme, 5G-Netze, „Mission Critical“-Funktionen sowie die Interoperabilität mit GSM-R-Funktionen für Sprachkommunikation, dem Eisenbahn-Notruf, ETCS, ATO und dem TCMS. Betrieben werden sollen die drei Testfelder von Ericsson, Nokia und Kontron. Parallel dazu schreiten laut den Projektbeteiligten die infrastrukturellen Vorbereitungen für Feldversuche in ganz Europa voran. Adif (Spanien), DB InfraGO, Prorail (Niederlande) und Trafikverket (Schweden) bereiten Bahnstrecken vor, indem sie Masten errichten, fahrzeugseitige Systeme installieren und FRMCS-5G-Mission-Critical-Ausrüstung einrichten, um die Betriebsversuche ab 2027 zu unterstützen. (jgf) ●

EU-Kommission stellt 1,1 Mrd. EUR bereit

TEN-V | Die Europäische Kommission hat eine Aufforderung zur Einreichung von Vorschlägen zum Aufbau und zur Modernisierung der Verkehrsinfrastruktur im trans-europäischen Verkehrsnetz (TEN-V) der EU veröffentlicht. Für die Umsetzung sind Mittel in Höhe von 1,1 Mrd. EUR vorgesehen. Es handelt sich um die letzte derartige Aufforderung im Rahmen des derzeitigen langfristigen europäischen Haushalts für den Zeitraum 2021–2027. Dabei wird „besonderes Gewicht auf die Schiene, die Dekarbonisierung des Seeverkehrs und die

militärische Mobilität gelegt.“ So sollen die ausgewählten Projekte laut Kommission „den EU-Plan für den Hochgeschwindigkeitsschienenverkehr und den Industrieaktionsplan für die europäische Automobilindustrie voranbringen und gleichzeitig die maritime Konnektivität (...) stärken.“ Ebenfalls gehe es um die Beseitigung der „Engpässe bei der militärischen Mobilität.“ Im Rahmen der Fazilität Connecting Europe (CEF) sind auch die Ukraine und Moldau in der Aufforderung enthalten. Bewerbungsschluss ist der 6. Oktober 2026. (bm) ●

quattron und Nextrail verschmolzen

Unternehmen | Die Nextrail GmbH, ein 2016 gegründetes Technologieberatungsunternehmen für die Schiene mit Sitz in Berlin, ist im Rahmen einer Verschmelzung auf das Technologieberatungsunternehmen quattron GmbH mit Sitz in Bamberg übertragen worden. Das gaben beide Unternehmen bekannt, ein Eigentümerwechsel ist mit der Transaktion nicht verbunden. Nach vielen Jahren partnerschaftlicher, erfolgreicher Zusammenarbeit wolle man nun „mit der

Integration [die] Kompetenzen unter einem einheitlichen Marktauftritt bündeln, um so für unsere Lieferanten ein noch attraktiveres Leistungsportfolio anbieten zu können.“ Mit der Integration gehen keine Änderungen bei Geschäftsbeziehungen, Verträgen oder Ansprechpartnern einher. Geschäftsführer der quattron GmbH sind nun Andreas Busemann, Thorsten Büker, Robert Schätzle, Johannes Stöcklein (alle vormals quattron) und Michael Leining (vormals Nextrail). (jgf/jsh) ●

Zusätzliche anbieterneutrale Auskunft-App „DB Info“ angekündigt

Fahrgastinformation | Bundesverkehrsminister Patrick Schnieder und DB-Vorstandsvorsitzende Evelyn Palla haben am 8. Juli 2026 das „Sofortprogramm Bessere Kundenkommunikation“ vorgestellt. Die DB will in die Umsetzung 50 Mio. EUR investieren. Zu den Maßnahmen zählt u.a. eine zusätzliche, anbieterübergreifende Fahrt- und Bahnhofsinformations-App unter der Marke „DB Info“. Sie wird bei DB InfraGO angesiedelt und soll eine Fortsetzung der anbieterneutralen Informationsangebote

an Bahnhöfen sein. Es sind Verlinkungen zu den Vertriebsplattformen der jeweiligen Fahrtenanbieter geplant. Die App soll ab Dezember 2026 verfügbar sein. Sie soll als Informationsplattform parallel zu „DB Navigator/bahn.de“ betrieben werden.

Vorgesehen ist zudem die Übertragung der „zentralen Plattform der Reisenendeninformation“, bisher beim DB-Konzern angesiedelt, an DB InfraGO, um „die technische Grundlage für eine verbesserte integrierte Reisenendeninformation über

Betreibergrenzen hinweg“ zu schaffen. Aus dieser Plattform werden alle (Echtzeit-)Informationskanäle gespeist.

Weitere Maßnahmen des Sofortprogramms umfassen u.a. KI-Maßnahmen in der Disposition, im DB-Navigator unmittelbare Gleiswechselanzeigen sowie ab Ende 2026 den Einbezug der DB-Buchungs- und Reisenendeninformations-KI-Anwendung „Kiana“ oder den Bau von 7.000 neuen Dynamischen Schriftanzeigen (DSA) an kleineren Bahnhöfen. (jgf) •

BNetzA hat Beschluss im „Italo-Verfahren“ gefasst

Fernverkehr | Die Beschlusskammer 10 der Bundesnetzagentur (BNetzA) hat am 17. Juli 2026 ihre endgültige Entscheidung zu den Marktzugangsbedingungen für Wettbewerber der DB Fernverkehr im Verfahren Gz. BK10-26-0011_Z getroffen. Demnach soll DB InfraGO ihre Schienennetz-Nutzungsbedingungen so ändern, dass auf „Streckenabschnitten mit einer ausgewiesenen maximalen Anzahl von Kapazitäten je Verkehrsart oder Dienstleistungsart“, an dem mindestens eine Trassenanmeldung im SPFV von DB Fernverkehr und mindestens eine Trassenanmeldung für Taktverkehre nach § 1 Abs. 23 ERegG in der ersten Phase der Netzfahrplanerstellung vorliegen, einem einzelnen Zugangsbe-

rechtigten bzw. DB Fernverkehr maximal ein von der Beschwerdegegnerin festzusetzen. Der Anteil zwischen 60 und 75 % der für den SPFV im jeweiligen Zeitraum vorgesehenen Kapazität zugewiesen werden darf. Mehr Kapazitäten darf dieser bzw. DB Fernverkehr erhalten, wenn nach Bearbeitung der anderen Anträge im SPFV noch Kapazitäten frei sind. DB InfraGO kann „aneinander angrenzende Zeiträume, für die ein Kapazitätslimit ausgewiesen ist, bis zu einem Gesamtzeitraum von zwei Stunden zusammenfassen“. Zu den Strecken, bei denen Kapazitätsobergrenzen ausgewiesen sind, sollen ab 2028 etwa die das geplante Italo-Angebot betreffenden Knoten München und Frankfurt/Main gehören.

Die BNetzA hat auch beschlossen, dass DB InfraGo die Bedingungen regeln soll, unter denen sie „in Personenbahnhöfen Zugang zu geeigneten Örtlichkeiten für den personenbedienten Fahrscheinverkauf und für die Einrichtung von Lounges einschließlich etwaig darin von ihr erbrachter Leistungen gewährt“.

Über die Ausgestaltung der Regelungen muss DB InfraGO bis 9. Oktober 2026 unterrichten. Sollte sie dies unterlassen, sind für die Änderungen bei der Trassenzuweisung und für die bei den Personenbahnhöfen DB InfraGO jeweils 250.000 EUR Zwangsgeld angedroht. Die Regelungen sollen für die Erstellung des Netzfahrplans 2028 wirken. (jgf) •



Automatische Bremsprobe:
Jetzt verfügbar für den operativen Einsatz

www.pjmonitoring.com

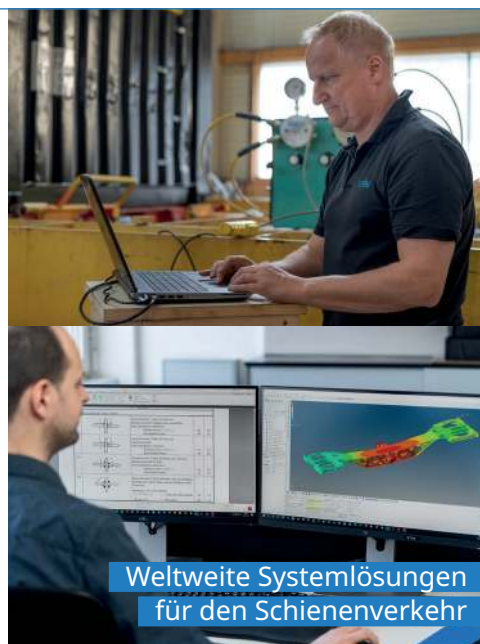


– Digitaler Schienengüterverkehr
– Akkreditierte Prüfstelle ISO/IEC 17025
– Engineering
– Zulassungsmanagement nach 4. Eisenbahnpaket

PJ Messtechnik GmbH
PJ Monitoring GmbH
PJ Motion GmbH
PJM Swiss

InnoTrans 2026
City Cube / Halle A / 220

www.pjm.co.at



Weltweite Systemlösungen für den Schienenverkehr

AutomatedTrain: Anpassungen des ETCS-On Board Systems für den vollautomatisierten Betrieb unter ATO GoA4

Dieser Artikel stellt die im Projekt AutomatedTrain ermittelten notwendigen Anpassungen des ETCS-OB (European Train Control System Onboard) für den vollautomatisierten Betrieb (ATO GoA4) unter der Prämisse eines möglichst geringen Änderungsumfangs des Bestandssystems vor.



Einbindung des ETCS-OB im GoA4-Projekt AutomatedTrain

Projektansatz

Das Projekt AutomatedTrain entwickelt ein zugeseitiges System zur Durchführung voll-automatisierter Bereit- und Abstellfahrten sowie die automatisierte Auf- und Abrüstung von Triebfahrzeugen. Die voll-automatisierte Bereitstellung ermöglicht einen vom Personal unabhängigen Fahrzeugeinsatz und ermöglicht eine deutlich flexiblere Einsatzplanung. Dies führt zu einer höheren Arbeitseffizienz und ist eine geeignete Antwort auf den zunehmenden Fachkräftemangel insbesondere bei Triebfahrzeugführenden (Tf), vgl. [1].

Das Betriebskonzept von AutomatedTrain, vgl. [2], basiert auf der Verwendung von ATO (Automatic Train Operation) over ETCS (European Train Control System) nach System Version 2.2 (siehe [3]). Ein Betrieb ist daher nur mit Vollüberwachung von Zugfahrten durch ETCS Level 2 in den beiden Modi „Full Supervision (FS)“ und „Automatic Driving (AD)“ möglich.

Bisheriger ATO over ETCS-Regelbetrieb findet aktuell nur im Modus ATO GoA2 (Grade of Automation 2) statt, d. h. mit Tf, der die Streckenüberwachung übernimmt und in Notfällen eingreift (s. z. B. Digitale S-Bahn Hamburg [9]). Im fahrerlosen GoA4-Betrieb (Grade of Automation 4) hingegen wird diese Aufgabe automatisiert und von einem System, u. a. einer sensorbasierten



Oliver Martens-Knitter

Systemingenieur vollautomatisches Fahren, DB InfraGO AG, Berlin

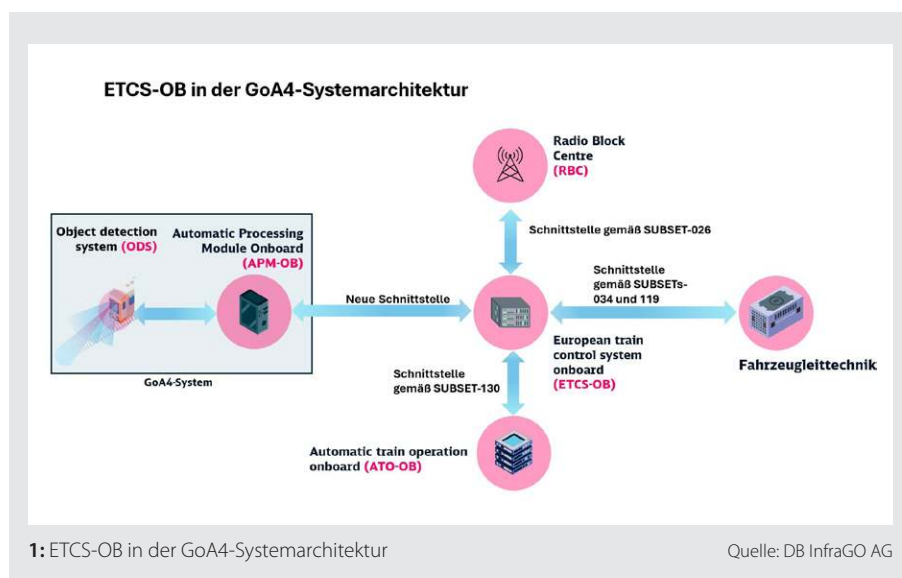
oliver.martens-knitter@deutschebahn.com



Peter Eimann

Systemingenieur, DB Systemtechnik GmbH, Frankfurt (Main)

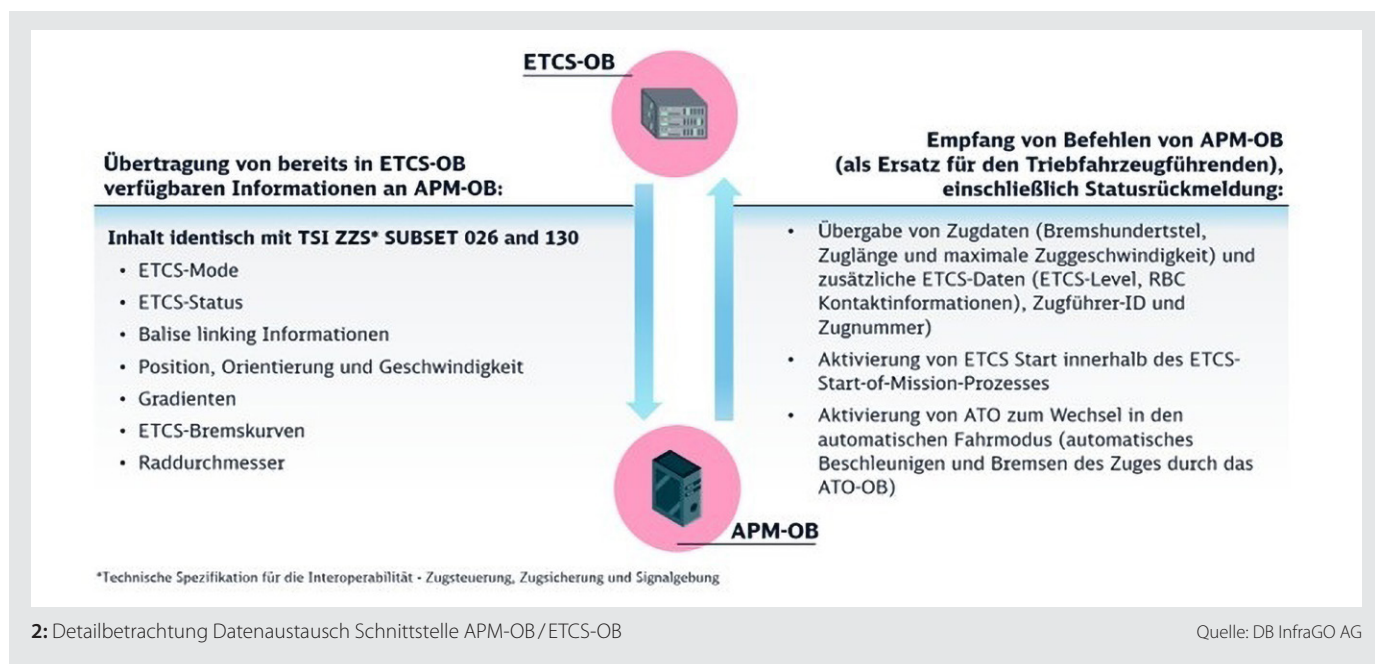
peter.p.eimann@deutschebahn.com



Umfeldbeobachtung, übernommen (im Folgenden GoA4-System). Dafür muss das ETCS-OB im Fahrzeug angepasst werden. Das Projekt folgt dabei der Prämisse, das ETCS-OB so wenig wie möglich zu ändern, da alle ETCS-Systeme einem aufwendigen Änderungs- und Validierungsprozess unterworfen sind und dies mit erheblichen Kosten und großem Zeitaufwand verbunden wäre. Zusätzlich ermöglicht diese Prämisse eine einfachere Integration des GoA4-Systems in Bestandsfahrzeuge.

ETCS-OB Schnittstellenübersicht

Die im Projekt gemeinsam zwischen der DB InfraGO AG, Bosch Engineering GmbH, DB Regio AG und Siemens Mobility GmbH entwickelte Systemarchitektur (vgl. [2]) sieht



eine Einbindung von ETCS-OB nach dem in Abbildung 1 gezeigten Schema vor.

Die Schnittstellen zu den bereits bestehenden Systemen auf dem Fahrzeug, einerseits dem ATO-OB zum automatischen Fahren und andererseits zu der Fahrzeugleittechnik, werden gemäß bestehender europäischer Normung beibehalten. Die Schnittstelle zum ATO-OB folgt dem Subset-130 in der Version 1.0 [4] und die Schnittstelle zur Fahrzeugleittechnik dem Subset-034 [5] und 119 [6] jeweils in der Version 4.0. Als einzige Änderung dieser Spezifikationen wird die Übermittlung von Zugdaten von der Fahrzeugleittechnik an das ETCS-OB gemäß [5] und [6] von einem optionalen Feature zu einem verpflichtenden Feature angehoben. Damit verbunden ist auch, dass die Prozedur „Changing Train Data from sources different from the driver“ (siehe [3] §5.17) verpflichtend im ETCS-OB umgesetzt ist, um Änderungen an den von der Fahrzeugleittechnik übermittelten Zugdaten gemäß dieser Prozedur zu erkennen und zu verarbeiten. Die Schnittstelle zur Landseite, also zum Radio Block Centre (RBC), wird unverändert beibehalten und folgt dem Subset-026 in der Version 4.0 [3].

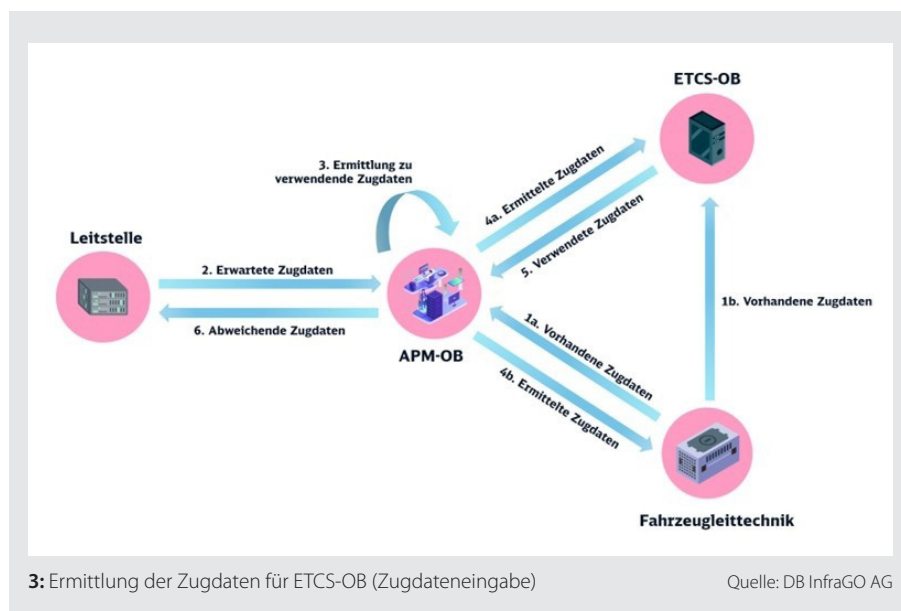
Mit dem GoA4-System ist das ETCS-OB nur über eine neue Schnittstelle zur Schalt- und Reaktionszentrale des GoA4-Systems, dem Automatic Processing Module On-board (APM-OB) verbunden. Zu weiteren Subsystemen des GoA4-Systems, insbesondere dem Object Detection System (ODS), besteht der Prämisse der geringen Änderungen folgend keine direkte Verbindung. Das

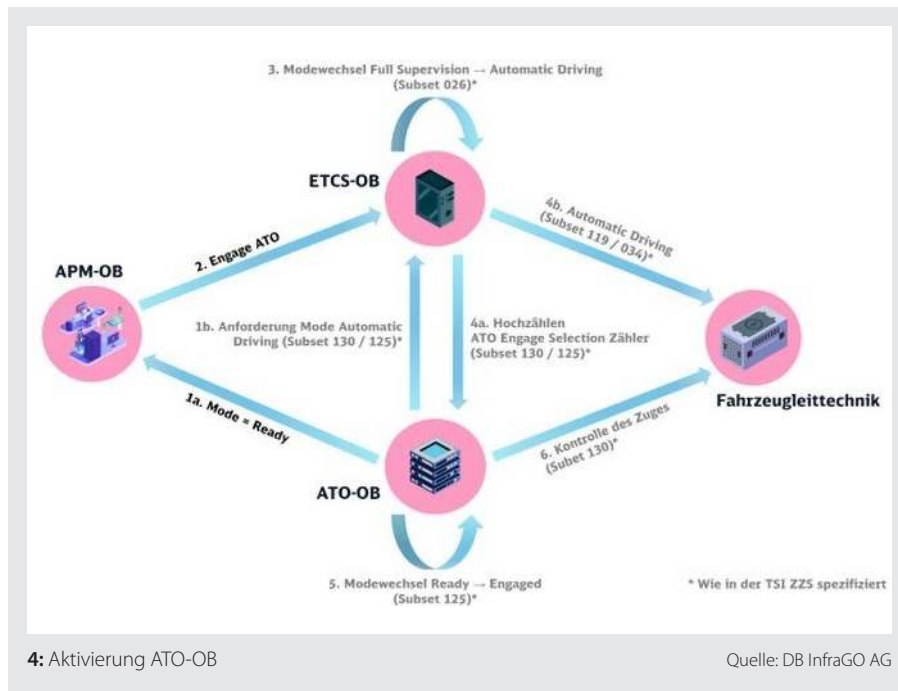
ODS ist das Teilsystem des GoA4-Systems, welches die Hinderniserkennung inklusive der Positionsbestimmung der Objekte in Gleis und Gleisumfeld zur Aufgabe hat.

Schnittstelle zum GoA4-System

Zur Durchführung vollautomatisierter Fahrten benötigt das GoA4-System einige Informationen des ETCS-OB. Zudem muss es Aufgaben des Tf übernehmen. Eingaben, die bisher durch den Tf erfolgten, werden nun durch das APM-OB geregelt und laufen entsprechend über die neu geschaffene Schnittstelle. Abbildung 2 zeigt

alle auszutauschenden Informationen, gefolgt von einer näheren Erläuterung. Diese sind, wie auch die oben beschriebene Architektur, das Resultat intensiver Abstimmung der genannten Projektpartner aus Betrieb und Industrie. Bei der Auswahl der vom ETCS-OB bereitzustellenden Daten wurde darauf geachtet, dass alle Informationen bereits in gleicher Form im ETCS-OB vorhanden sind und ggf. bereits auf einer von den in Abbildung 1 gezeigten Schnittstellen vom ETCS-OB an ein System übermittelt werden, sodass der Änderungsbedarf im ETCS-OB minimal bleibt und lediglich die neue Schnittstelle zum





APM-OB mit bereits vorhandenen Informationen versorgt wird.

Eingaben des APM-OB im ETCS-OB

Kommandoschnittstelle

Die mit dem GoA4-System ausgerüsteten Züge sollen auch weiterhin konventionell durch einen Tf gefahren werden können. Daher muss sichergestellt werden, dass das ETCS-OB die Eingaben entweder vom GoA4-System oder von einem Tf über das ETCS-Display verarbeitet, aber nicht von beiden gleichzeitig. Aus diesem Grund übermittelt das APM-OB als Kontrollinstanz des GoA4-Systems seinen aktuellen Status an das ETCS-OB. Nur so lange das APM-OB signalisiert, dass es aktiv ist und die Kontrolle über den Zug hat, nimmt das ETCS-OB dessen Eingaben an.

Der ETCS Start-of-Mission Prozess

Nach der Aktivierung des Führerstands durchläuft das ETCS-OB den sogenannten Start-of-Mission Prozess (siehe [3] §5.4), um aus dem ETCS Modus Standby (SB) mit aktiver Stillstandsüberwachung in einen Modus zu gelangen, in dem eine Bewegung des Zuges zulässig ist. Im Rahmen dieses Prozesses wartet das ETCS-OB an bestimmten Stellen auf Eingaben bzw. Bestätigungen, um den Prozess fortführen und abschließen zu können. Bislang

finden diese ausschließlich durch den Tf statt und müssen nun durch das APM-OB durchgeführt werden.

1) Zugdaten

Die Zugdateneingabe als Bestandteil innerhalb des Start-of-Mission Prozesses hat aufgrund ihrer Sicherheitsrelevanz eine besondere Bedeutung. Die Zugdaten teilen sich auf in Bremschundertstel (relevant für die Berechnung der Bremskurven), die Zuglängen (z. B. relevant für die Berechnung, an welchem Punkt die Geschwindigkeit erhöht werden kann) und die maximale Geschwindigkeit des Zuges (relevant für die Auswahl des restriktivsten Geschwindigkeitsprofils). Da gegenüber dem heutigen Verfahren der Tf als Kontrollinstanz für die Eingabe und Validierung dieser Daten entfällt, wurde die Zugdateneingabe für den GoA4-Betrieb, wie in Abbildung 3 dargestellt, als mehrstufiger Prozess entwickelt. Die Zugdaten werden dabei aus zwei unterschiedlichen Quellen (Fahrzeugleittechnik und Leitstelle) miteinander verglichen und daraus die zu verwendenden Daten ermittelt.

a) Schritt 1

Das APM-OB empfängt die von der Fahrzeugleittechnik ermittelten Zugdaten (1a.). Gleichzeitig übermittelt die Fahrzeugleittechnik diese Daten auch an das ETCS-OB (1b., siehe [5] §2.6).

b) Schritt 2

Das APM-OB empfängt von der Leitstelle die zu erwartenden Zugdaten. Es ist davon auszugehen, dass die Leitstelle für jede GoA4 Zugfahrt den eingesetzten Zug mit seinen Charakteristiken kennt und damit auch die korrekten Zugdaten ermitteln kann.

c) Schritt 3

Das APM-OB vergleicht die Zugdaten aus den beiden in Schritt 1 und 2 genannten Quellen. Bei einer Abweichung fällt die Ermittlung zur sicheren Seite und es werden

- die geringeren Bremschundertstel
- die größere Zuglängen
- die geringere Maximalgeschwindigkeit

aus beiden Quellen verwendet.

d) Schritt 4

Die in Schritt 3 ermittelten Zugdaten werden als die für die Zugfahrt gültigen Zugdaten vom APM-OB an das ETCS-OB übergeben (4a.). Da die Fahrzeugleittechnik herstellerabhängig auch eine Bestätigung der Zugdaten fordern kann, werden diese daher gleichzeitig auch an die Fahrzeugleittechnik übergeben (4b.)

e) Schritt 5

Um zu prüfen, dass das ETCS-OB auch die vom APM-OB übergebenen Zugdaten verwendet, verlangt das APM-OB eine Rückmeldung der Zugdaten vom ETCS-OB.

f) Schritt 6

Ergibt der Vergleich in Schritt 3 eine oder mehrere Abweichungen zu den von der Leitstelle übermittelten Zugdaten, so werden diese Abweichungen zurückgemeldet. Die Leitstelle kann dadurch entscheiden, ob und wie sie den Einsatzplan des Fahrzeugs anpassen muss.

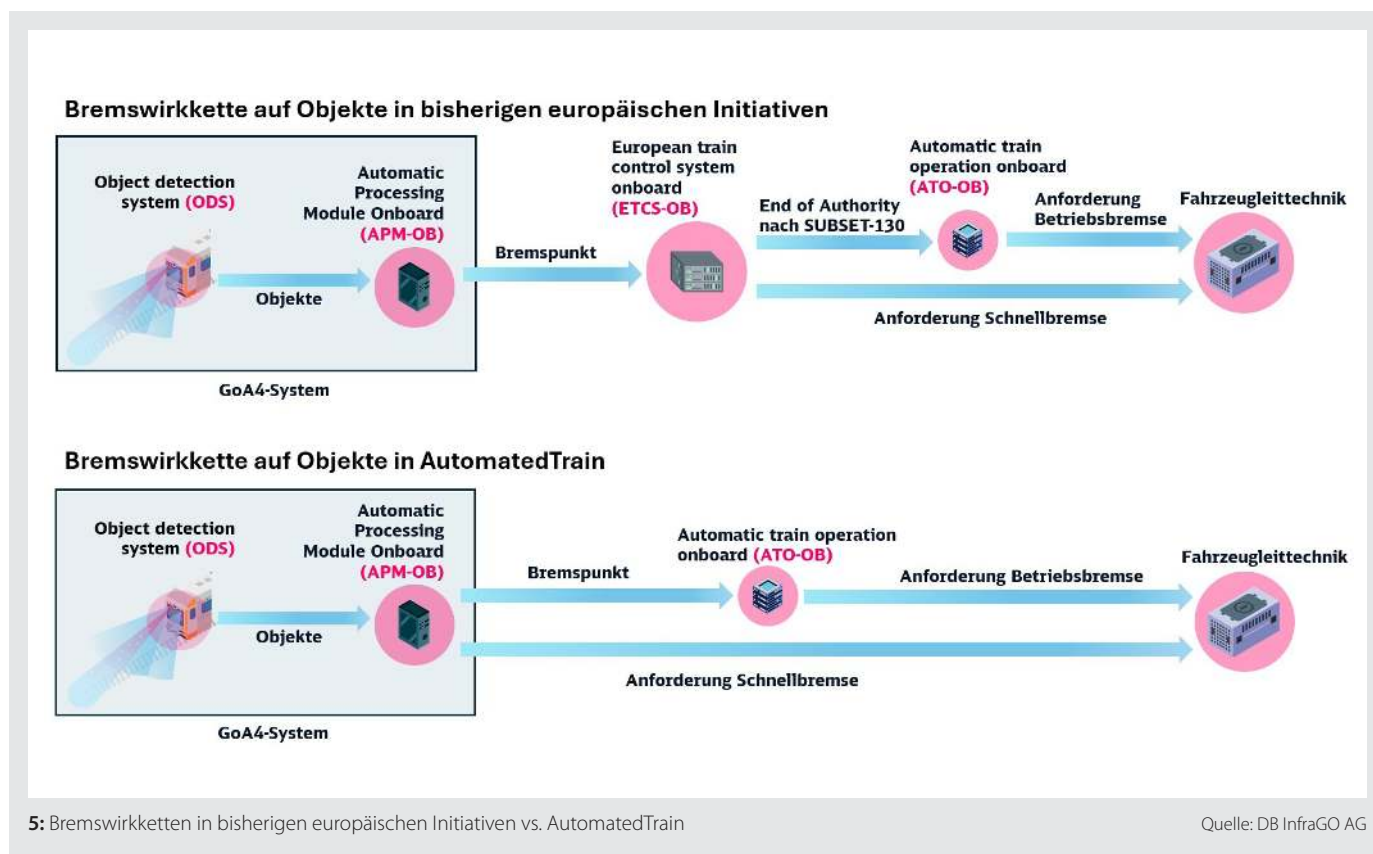
2) ETCS Additional Data

a) ETCS-Level

In der Regel bietet das ETCS-OB mehrere zur Auswahl stehende ETCS-Level an (wie Level NTC oder Level 2). Das APM-OB fordert hier immer den ETCS-Level 2 als einzigen unterstützten Level an.

b) RBC Kontaktdaten

Die im ETCS-Level 2 für einen Verbindungsaufbau zum RBC notwendigen Kontaktdaten (Rufnummer des RBC).



5: Bremswirkketten in bisherigen europäischen Initiativen vs. AutomatedTrain

c) Driver ID

Die Driver ID (Tf-Nummer) wird für die Identifizierung des verantwortlichen Fahrers als Teil der Datenaufzeichnung (Juridical Recording) verwendet. Das APM-OB übermittelt dem ETCS-OB dabei eine von der Leitstelle übergebene ID, die den GoA4-Betriebsmodus identifiziert.

d) Zugnummer

Das APM-OB übergibt die für die vorge-sehene Zugfahrt von der Leitstelle über-mittelte Zugnummer an das ETCS-OB.

3) ETCS-Start

Nach der Eingabe der relevanten Daten innerhalb des Start-of-Mission Prozes-ses erwartet das ETCS-OB eine Bestäti-gung, dass eine Fahrerlaubnis beim RBC angefragt werden soll (siehe [3] §5.4 Step S20). Diese Bestätigung wird jetzt vom APM-OB anstelle des nicht mehr vorhandenen Tf gegeben.

Engage ATO

Damit das ATO-OB die Steuerung des Zu-ges übernehmen kann, muss es durch eine explizite Bedienhandlung aktiviert en-gaged) werden. Diese Bedienung erfolgt

heute durch den Tf entweder über das ETCS-Display oder einen separaten Schal-ter und muss hier durch das APM-OB erfol-gen. In der Abbildung 4 ist der Prozess der Aktivierung dargestellt.

Wie aus Abbildung 4 ersichtlich, wird der bisherige durch die TSI ZZS spezifi-zierte Prozess (grauer Text) für die Ak-tivierung des ATO-OB lediglich an zwei Stellen angepasst (schwarzer Text). Zum einen wird das Engage ATO-Kommando nicht durch den Tf, sondern über das APM-OB an ETCS-OB übergeben. Zum anderen benötigt das APM-OB eine Mel-dung über den aktuellen Betriebsmodus des ATO-OB, um zu entscheiden, wann das Engage ATO-Kommando ausgeführt werden kann.

Eine Alternative zu dem hier gewähl-ten Prozess wäre, das Engage ATO-Kom-mando direkt vom APM-OB an das ATO-OB zu senden. Für dieses Szenario wären je-doch Änderungen in der dahinterliegen-ten Logik von ATO-OB, ETCS-OB und der Fahrzeugleittechnik notwendig, was eine Anpassung der bestehenden Subsets be-deuten würde. Aus diesem Grund wurde für AutomatedTrain die Lösung mit den geringsten Anpassungen an den bestehen-den Systemen ausgewählt.

Bereitstellung von Daten durch das ETCS-OB an APM-OB

Das GoA4-System benötigt für die vollau-tomatische Steuerung des Zuges die nach-folgend aufgelisteten Daten, die durch das ETCS-OB über die neue Schnittstelle an APM-OB übermittelt werden:

- 1) ETCS-Mode:** Das APM-OB verwendet den ETCS-Modus zur Überwachung, ob sich das ETCS-OB in den für die GoA4-Fahrt unterstützten Betriebsmodi Full Supervision (FS) oder Automatic Driving (AD) befindet.
- 2) Status Kommandoschnittstelle:** Das APM-OB prüft, ob ein Kommando von ETCS-OB verarbeitet wurde, damit nicht mehrere, sich möglicherweise wider-sprechende Kommandos zur gleichen Zeit an das ETCS-OB gesendet werden. Weiterhin kann das APM-OB darüber erkennen, ob das Kommando durch das ETCS-OB erfolgreich verarbeitet wurde.
- 3) Aktuell gültige Zugdaten:** Das APM-OB nutzt die Rückmeldung der Zugdaten für die Prüfung, ob die vom APM-OB er-mittelten und an ETCS-OB übergebenen

Zugdaten auch in der Form verwendet werden (siehe Schritt 5 bei der Beschreibung der Zugdateneingabe).

- 4) **Warten auf ETCS-Start:** Da nur ETCS-OB erkennt, ob sich der Start-of-Mission Prozess an der Stelle befindet, an der auf die Betätigung von ETCS-Start gewartet wird, muss diese Information an das APM-OB übergeben werden. Unzeitige Start-Bedienungen würden durch ETCS-OB nicht verarbeitet und somit der Start-of-Mission Prozess nicht erfolgreich beendet werden.
- 5) **Balise-Linking:** Das Balise-Linking wird vom GoA4-System zur Bestimmung des Fahrwegs benötigt. Darauf basierend verortet das ODS erkannte Objekte, wodurch das APM-OB eine entsprechende Reaktion ableiten kann, vgl. [7].
- 6) **Positionsdaten:** Die Positionsdaten (Position, Gültigkeit der Position und die Orientierungsinformationen) werden zum einen vom ODS für die Plausibilisierung der ermittelten Position benötigt. Zum anderen verwendet APM-OB diese Daten anstelle einer eigenen Odometrie.
- 7) **Geschwindigkeit:** Das GoA4-System nutzt die Geschwindigkeit, inklusive einer sicheren Stillstandsinformation, zur Plausibilisierung im ODS und für die Reaktionsableitung innerhalb des APM-OB.
- 8) **ETCS-Bremsparameter:** Die aktuellen ETCS-Bremsparameter werden vom APM-OB als Eingabewerte für die eigene Bremskurvenberechnung verwendet.
- 9) **Raddurchmesser:** Der Raddurchmesser wird vom ODS zur Auswertung der Wegimpulsgeberdaten verwendet, um den zurückgelegten Weg des Zuges zu bestimmen.

Schnellbremseingriff des GoA4-Systems

In den bisherigen europäischen Initiativen (siehe [7]) ist vorgesehen, das ETCS-OB in die Bremswirkkette bei erkannten Objekten im Fahrweg einzubeziehen. APM-OB übermittelt dabei die Position der von ODS erkannten Objekte an das ETCS-OB, welches daraufhin die Fahrtfreigabe (End of Authority) einkürzt. Die geänderte Fahrtfreigabe wird an ATO-OB zur Einleitung einer Betriebsbremse weitergeleitet. Bei zu geringem Abstand des Fahrzeuges zur eingekürz-

ten Fahrtfreigabe initiiert das ETCS-OB eine Schnellbremse über den eigenen Schnellbremseingriff und die Fahrzeugleittechnik.

In AutomatedTrain besitzt das APM-OB einen eigenen Schnellbremseingriff in die Fahrzeugleittechnik und leitet die aufgrund der Objektposition ermittelten Bremspunkte direkt an ATO-OB weiter. Dafür muss zwar im APM-OB eine eigene Bremskurvenberechnung stattfinden, jedoch ist das ETCS-OB im Gegenzug nicht Teil der Bremswirkkette und bleibt auf Funktionen der Zugsicherung beschränkt. Dadurch wird das ETCS-OB nicht mit zusätzlicher Funktionalität für den GoA4-Betrieb zweckentfremdet und es ergeben sich gemäß [8] einige entscheidende Vorteile:

- Weniger Änderungsaufwand am ETCS-OB
- Verkürzung der Wirkkette durch Aussparung eines Elementes, wodurch sich kürzere Reaktionszeiten auf Objekte ergeben
- Verkürzung des angenommenen Bremsweges für GoA4-Funktionen durch Verwendung eines eigenen Sicherheitsniveaus statt Nutzung der SIL4-Parameter des ETCS-OB.

Aus diesen Gründen haben sich die Experten bei AutomatedTrain im Vergleich zu bisherigen europäischen Initiativen dafür entschieden, keine Bremsanforderungen oder Ähnliches zwischen ETCS-OB und APM-OB zu übertragen und das APM-OB stattdessen mit einem eigenen Schnellbremseingriff auszustatten, siehe Abbildung 5.

Ausblick

Die in diesem Artikel beschriebenen Inhalte sorgen aus Sicht der Projektpartner dafür, dass das ETCS-OB einem möglichst geringen Änderungsaufwand unterzogen wird und gleichzeitig die Integration eines GoA4-Systems, ggf. auch als Nachrüstlösung, angemessen unterstützt wird. Eine sinnvolle Weiterentwicklung der Spezifikation beinhaltet die Erweiterung um Kupplervorgänge und Rangierbewegungen in den entsprechenden ETCS-Modi On-Sight (OS) und Shunting (SH), obgleich beide Modi mit größerem Änderungsaufwand sowohl an den ZZS-Komponenten ATO-OB und ETCS-OB wie auch am GoA4-System verbunden wären und hier folglich vorher eine detaillierte Nutzenbetrachtung durchzuführen wäre.

Die im Projekt erstellten Anforderungsspezifikationen, zu der auch eine Spezifikation der zusätzlichen Anforderungen an

ETCS-OB gehört, werden am Ende des Projektes AutomatedTrain im September 2026 veröffentlicht. Im Rahmen der InnoTrans 2026 werden zudem die Projektergebnisse durch die DB InfraGO AG und Siemens Mobility GmbH demonstriert. Die Spezifikationen sollen als Basis für zukünftige Ausschreibungen durch den technischen Einkauf der DB AG dienen. Es ist darüber hinaus geplant, sie für die Weiterverwendung im Rahmen der Europe's Rail Joint Undertaking (ERJU) anerkennen zu lassen. AutomatedTrain gibt damit wichtige Impulse in den Sektor und legt den Grundstein für die Entwicklung serienfähiger Produkte durch die Industrie. •

Literatur

- [1] D. Spiegel und C. Hauswald, „Vollautomatisiertes, fahrerloses Fahren auf der Schiene“, Eisenbahn Ingenieur, pp. 18-21, 05 2024.
- [2] O. Knitter, T. Höhne und J. Schultz, „Projekt AutomatedTrain: Betriebskonzept und Systemarchitektur für die vollautomatisierte Bereitstellung von Triebzügen (GoA4)“, Deine Bahn, pp. 18-23, 11 2024.
- [3] Europäische Kommission, ERTMS/ETCS SUBSET-026 System Requirements Specification, 2023.
- [4] Europäische Kommission, ERTMS/ATO ATO-OB / ETCS-OB SUBSET-130 FFFIS Application Layer, 2023.
- [5] Europäische Kommission, ERTMS/ETCS SUBSET-034 Train Interface FIS, 2023.
- [6] Europäische Kommission, ERTMS/ETCS SUBSET-119 Train Interface FFFIS, 2023.
- [7] X2Rail-4, Deliverable D5.1 WP5 GoA3/4 Specification, 2023.
- [8] O. Knitter, J. Hey, A. Dr. Scheel, J. Schultz und H. Voelz, „AutomatedTrain: Konzepte und Systembausteine für fahrerlose Züge“, El - Der Eisenbahningenieur, Nr. 10, pp. 40-44, 10 2025.
- [9] Digitale S-Bahn Hamburg | Digitale Schiene Deutschland, aufgerufen am 18.5.26.

Summary

AutomatedTrain: Adaptations to the ETCS on-board system for fully automated operation under ATO GoA4

The AutomatedTrain project develops a GoA4 system for fully automated movements using ETCS Level 2 and ATO over ETCS, while keeping changes to ETCS-OB minimal. ETCS-OB interfaces remain largely standard; a new interface connects ETCS-OB with the GoA4 control module (APM-OB). The APM-OB replaces the driver in mission start, train data handling and ATO engagement, but braking is handled independently by APM-OB to reduce complexity, reaction time and modification effort.

Modellierung von Guidance Curves für den Digitalen Knoten Stuttgart

Für sechs Triebzug-Familien wurden ETCS-Bremsmodelle geschaffen, die nicht nur sicher und kapazitätsschonend, sondern auch für den Triebfahrzeugführer verlässlich und komfortabel fahrbar sein sollen. Dabei wurden wesentliche Erkenntnisse gewonnen und offene Fragen und Potenziale erkannt.

Motivation

Die Modellierung von Bremskurven in anzeigeführten Zugbeeinflussungssystemen bewegt sich seit jeher in einem Spannungsfeld: Auf der einen Seite müssen Bremsungen rechtzeitig eingeleitet werden, um mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit ein Anhalten vor einem Gefahrenpunkt sicherzustellen. Auf der anderen Seite sollten jedoch auch zu frühe Bremsungen, die zu Kapazitätseinbußen führen können, vermieden werden. Gleichzeitig sollten Bremskurven aber auch für Triebfahrzeugführer (Tf) gut fahrbar sein: Notwendige Bremsungen sollten rechtzeitig angekündigt werden, sodass die anschließende Bremsung entlang der dem Tf angezeigten Bremskurve – je nach Fahrzeug und dessen Charakteristik – mit etwa 80 bis 90 Prozent der zur Verfügung stehenden Vollbremsverzögerung

ausgeführt werden kann. Dies gewährleistet eine ausreichende Regelungsreserve. Schnellbremsungen, bei denen oft auch Magnetschienenbremsen (Mg-Bremsen) eingesetzt werden, sollen vermieden werden.

In diesem Spannungsfeld bewegt sich auch die Gestaltung von ETCS-Bremskurven (Abb. 1). Das europäische Zugbeeinflussungssystem bietet einen großen Gestaltungsspielraum, Bremskurven an die Bedingungen bestimmter Fahrzeuge oder Infrastrukturbetreiber anzupassen. Dazu zählen beispielsweise zwei grundverschiedene Modellierungsansätze (Lambda- und Gamma-Bremsmodell) wie auch eine Reihe fahrzeug- und infrastrukturspezifischer Korrekturfaktoren. [1, 2]

Ein besonderer Teil dieses Gestaltungsspielraums liegt in der Guidance Curve (GUI, etwa als „Sollkurve“ übersetzbar). Be-



Olaf Gröpler

Systemingenieur, NEXTRAIL GmbH, Berlin
olaf.groepler@nextrail.com



Michael Kümmling

Innovationsmanagement DLST/ Elektrotechnik, DB Projekt Stuttgart – Ulm GmbH, Stuttgart
michael.kuemmling@deutschebahn.com



Kristof Vandoorne

Referent ETCS/ATO, DB Regio AG, Plochingen
kristof.vandoorne@deutschebahn.com

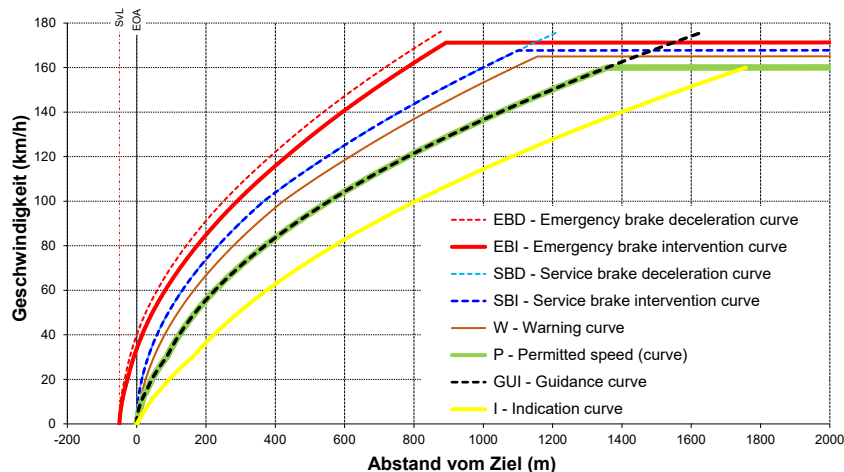


Thomas Vogel

Leiter Projektgruppe „Digitale Schiene“, Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg, Stuttgart
thomas.vogel@vm.bwl.de

treiber von Triebfahrzeugen (meist Triebzügen, Tz) können – ähnlich wie beispielsweise bei der LZB CE-II – eine beliebige GUI auf dem Fahrzeug definieren und damit die dem Tf anzuzeigenden Bremskurven gezielt beeinflussen.

Im Digitalen Knoten Stuttgart (DKS) werden ETCS und weitere darauf aufbauende Techniken erstmals in einem großen Knoten in Deutschland zur Anwendung gebracht. [3] Aus der aufeinander abge-



1: Im ETCS-Betrieb berechnen Triebfahrzeuge laufend eine Bremskurvenschar, die von einer Vorankündigung (Indication) bis zur Schnellbremsablaufkurve (EBD) reicht
Quelle: NEXTRAIL

Tabelle 1: Fahrzeugfamilien, für die im Rahmen des DKS ETCS-Bremssmodelle gebildet wurden, Frontpartien Quelle: DB

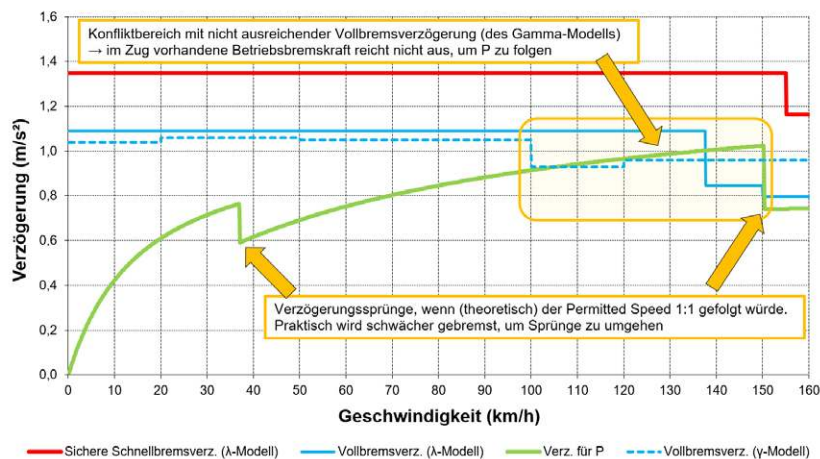
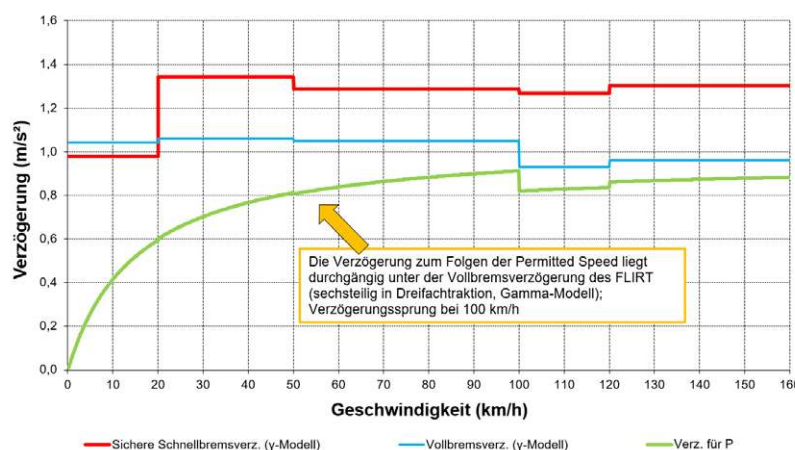
Typ	Anzahl Tz	Hersteller	Eigentümer	Vmax in km/h	Brh	Charakteristik
 Baureihe 423	60	Bombardier / Alstom	DB Regio	140	142	Scheibenbremsen, elektrodynamische Bremsen (nicht bei Schnellbremsung), nur 80 % der Radsätze gebremst
 Baureihe 430.0/430.2	155			140	150	Scheibenbremsen, Mg-Bremsen (nicht angerechnet), elektrodynamische Bremsen (nicht bei Schnellbremsung)
 FLIRT 3	66	Stadler	SFBW	160	194 FLIRT XL: 201	Scheibenbremsen, Mg-Bremsen, elektrodynamische Bremsen (nicht bei Schnellbremsung)
 TALENT 3	52			160	194	
 Coradia Max	161	Alstom		200	> 200	
 Mireo	28	Siemens		160	201	

stimmten Ausrüstung und Optimierung von rund 500 Streckenkilometern und zunächst mehr als 500 Tz ergeben sich zahlreiche Herausforderungen und Chancen für „digitale“ Kapazitätssteigerungen. [4, 5, 6, 7] Eine wesentliche Rolle kommt dabei auch den ETCS-Bremskurven zu. [8] Vor diesem Hintergrund wurden für 522 Tz der Landesanstalt Schienenfahrzeuge Baden-Württemberg (SFBW) und der DB Regio (S-Bahn Stuttgart) optimierte ETCS-Bremssmodelle aufgestellt und GUIs gebildet (Tab. 1). Die Modelle sind bzw. werden veröffentlicht. [9] Daneben waren für ICE-Tz, die den Knoten anfahren, bereits im Rahmen ihrer ETCS-Ausrüstung Gamma-Bremssmodelle gebildet worden. Deren GUIs wurden aus LZB-Sollkurven abgeleitet.

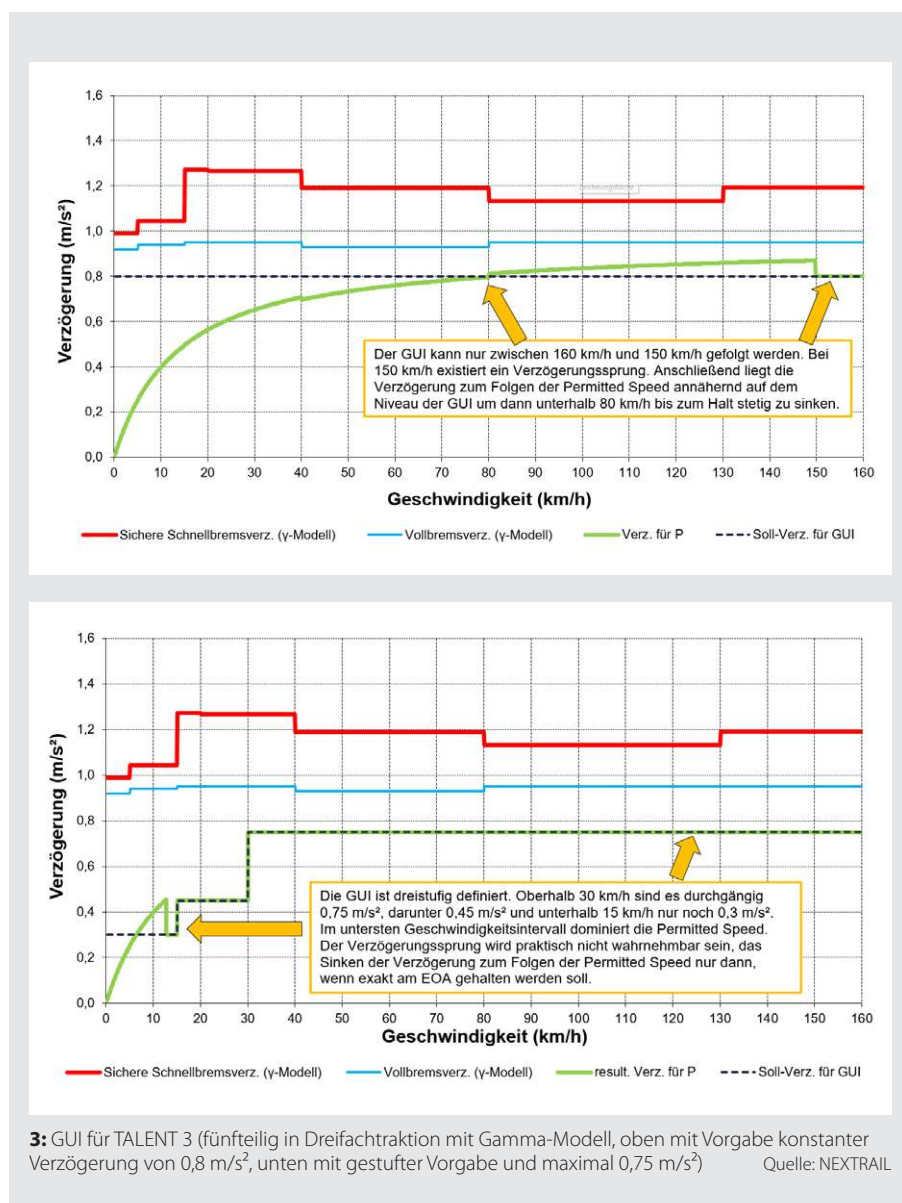
ETCS-Bremskurven

Grundlagen

Im Gegensatz zum recht einfachen System der LZB-Bremskurven (mit drei Bremskurven, drei Verzögerungsstufen und tabellierten Verzögerungen [10]) ist die ETCS-Bremskurvenberechnung wesentlich komplexer: Mit den beiden grundverschiedenen Bremsmodellen (Lambda und Gamma) werden für Voll- und Schnellbremsung jeweils eine Einsatz- und eine Ablaufkurve berechnet (SBI/SBD bzw. EBI/EBD, siehe Abb. 1). Die übrigen Bremskurven werden der niedrigeren der beiden Einsatzkurven (SBI oder EBI) in festen zeitlichen Abständen



2: P-Kurve ohne GUI des FLIRT (sechsteilig in Dreifachtraktion): oben für das Gamma-Modell, unten für das Lambda-Modell
Quelle: NEXTRAIL



den vorgelagert, soweit keine GUI verwendet wird. Ist hingegen eine GUI auf dem Fahrzeug hinterlegt – und deren Nutzung durch den Infrastrukturbetreiber auch zugelassen [11], wie für ETCS Level 2 im DB-Netz –, so ersetzt die GUI die Sollgeschwindigkeitskurve (Permitted Speed, P), sofern sie niedriger liegt und flacht diese somit ab. [12] Auch die Bremsankündigung (Indication Curve, I), die der P-Kurve bzw. GUI um eine Tf-Reaktionszeit vorgelagert ist, erfolgt damit früher.

Für die Berechnung der von der GUI unabhängigen, übergeordneten Einsatz- und Ablaufkurven nutzt das Lambda-Modell vier ohnehin bekannte Parameter als Eingangsgrößen: Bremshundertstel (Brh), Zuggattung (Reise- bzw. Güterzug), Bremsstellung (G/P) und Zuglänge. [2, 13] Oberhalb von 135 Brh wird das Wirken von

Mg-Bremsen angenommen und die Vollbremsverzögerung gedeckelt, während die modellierte Schnellbremsverzögerung weiter ansteigt. [14] Das Gamma-Modell basiert hingegen auf zugspezifisch ermittelten Momentanverzögerungen bei Schnellbremsungen und den darauf einwirkenden Korrekturfaktoren (K_{dry_rst}), den Vollbremsverzögerungen sowie den jeweiligen Bremsaufbauzeiten. Je größer die Zuglänge, desto größer (optimistischer) fallen die Korrekturfaktoren aus und desto größer ist dann die sichere Schnellbremsverzögerung. [2]

Die Perspektive des Triebfahrzeugführers

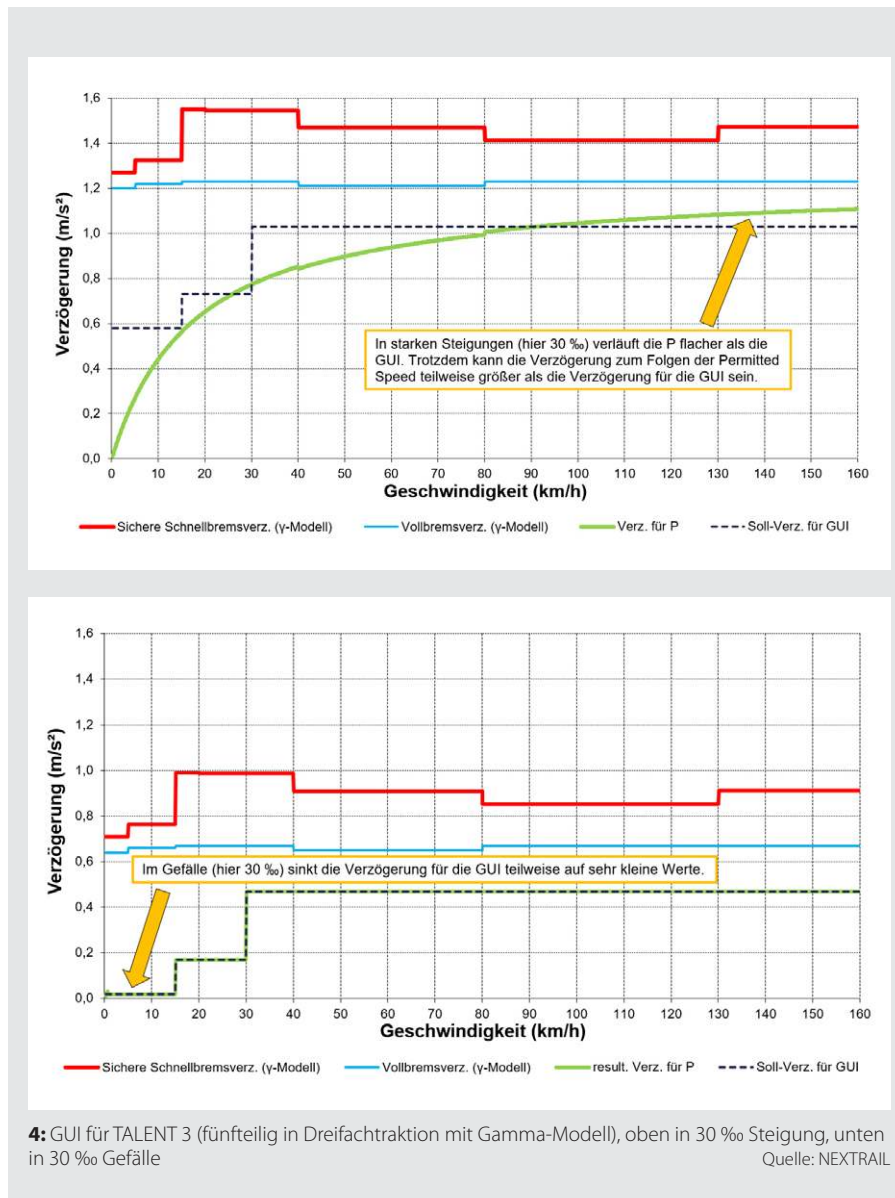
Mit der GUI auf den DKS-Tz soll dem Tf jederzeit eine klare und verlässliche Bremskurve als Orientierung („Guidance“) ange-

boten werden. Ziel ist, dass der Tf dieser unter allen Bedingungen gut folgen und darauf vertrauen kann, dass sowohl eine ausreichende Regelungsreserve zur Verfügung steht als auch unerwartete Bremskurvensprünge vermieden werden.

Dieser Ansatz basiert auf einer Reihe von Erfahrungen im In- und Ausland, wonach Tf auf Tz mit sehr hohem Bremsvermögen ohne Verwendung einer GUI oft bereits vor Erreichen der I-Kurve defensiv bremsen. Die wesentliche Ursache hierfür liegt in Mg-Bremsen, auf die viele Tz einen wesentlichen Teil ihrer Bremskraft (bei Schnellbremsungen) stützen. Dadurch werden neben hohen Brh auch steile ETCS-Schnellbremskurven erreicht. Der daraus abgeleiteten P-Kurve kann oftmals sogar mit einer Vollbremsung kaum oder gar nicht gefolgt werden. Solche Erfahrungen führen dazu, dass viele Tf defensiv, unnötig früh und auch früher als im Fahrplan angenommen bremsen. Fahrzeitzerserven werden damit verringert bzw. Fahrzeiten (geringfügig) verlängert, gleichzeitig wird der Betrieb weniger planbar.

Bei Betriebsbremsungen soll der Tf der P-Kurve folgen, die (ohne GUI) der Vollbrems- bzw. Schnellbremsen- bzw. Einsatzkurve (SBI, EBI) um vier Sekunden [15] vorgelagert ist. Weil SBI und EBI aus der Perspektive der Sicherheit entwickelt sind, kann die Fahrbarkeit bzw. der Verlauf der P-Kurve nicht direkt beeinflusst werden. Diese kann aus vier Gründen im Widerspruch zum natürlichen Bremsverhalten eines Tf stehen:

1. Bei beiden Modellen ist die normale P-Kurve so, dass sie bei der Höchstgeschwindigkeit in der Regel eine hohe Bremskraft fordert und dann mit sinken der Geschwindigkeit wegen der festen Zeitunterschiede zwischen SBI/EBI und P-Kurve kontinuierlich abnimmt (Abb. 2).
2. Es kann zu Sprüngen in den Kurven kommen, die ein Tf in der Praxis nicht so umsetzen kann, weil diese für den Tf im DMI nicht ersichtlich sind (Abb. 2 und 3). Dazu kommt es beispielsweise im Lambda-Modell am Schnittpunkt der ohne Sicherheitsmarge berechneten SBI und der mit Sicherheitsmarge berechneten EBI (Abb. 2, Sprung unten bei ca. 38 km/h).
3. Die synthetische Art des Lambda-Modells [16] kann zu einer zu steilen P-Kurve führen, der selbst mit einer Vollbremsung nicht zuverlässig gefolgt werden



kann und die somit eine Schnellbremsung erfordert. (Gleichzeitig sind die modellierten Bremsaufbauzeiten bei Tz wesentlich größer als erforderlich.)

4. Wenn, wie im DKS, optimierte Bremskurven von der Zuglänge abhängig sind [2], sähen sich T_f beispielsweise nach dem Stärken und Schwächen anderen Bremskurven gegenüber, die für sie nicht transparent sind.

Durch eine geeignete GUI können diese Effekte ausgeglichen werden.

Modellbildung

Der langjährige LZB-Betrieb mit Führersignalisierung in Deutschland (und

Österreich) hat viele positive Erfahrungen mit dem anzeigegeführten Fahren hervorgebracht. Die Spanne reicht vom Hochgeschwindigkeitsverkehr bis zum S-Bahn-Betrieb in München [17]. Die Erfahrungen mit den LZB-Sollkurven bezüglich der Fahrbarkeit und deren Verzögerungsniveaus waren wertvolle Grundlagen für die Parametrisierung der GUI.

Basierend auf einer genaueren Analyse des Bremssystems sowie Abwägungen mit den Fahrzeugherstellern von FLIRT und TALENT wurde zunächst eine GUI mit konstant 0,80 m/s² erwogen. Diese wäre jedoch wegen der Designphilosophie der ETCS-Bremskurven weitestgehend unwirksam gewesen (Abb. 3 oben). Bei den ETCS-Bremskurven sind die einzelnen Kurven mit festen Zeitunterschieden festgelegt,

was sich in einer abnehmenden Sollverzögerung für die P-Kurve näher zum Halt niederschlägt. Unter ca. 150 km/h ist die konventionelle P-Kurve restriktiver als die GUI, wobei sie bei dieser Geschwindigkeit sogar eine etwas höhere Sollverzögerung vorgibt, um dann kontinuierlich abzusinken.

Darum wurden bei den Regionalzügen im unteren Geschwindigkeitsbereich (0 bis 30 km/h) zwei bis drei Stufen mit einer geringeren Verzögerung hinzugefügt, um dem T_f über einen weiten Geschwindigkeitsbereich (30 bis 160 km/h) eine konstante Verzögerung von 0,75 m/s² vorzugeben, die so groß wie möglich ist (siehe Abb. 3). Für die S-Bahn-Baureihen 423 und 430 wurden in ähnlicher Weise Verzögerungen mit weitgehend 0,70 m/s² definiert. Für die besonders spurtstarken und sehr gut bremsenden Coradia-Max-Tz [18], deren Vollbremsverzögerung mit rund 1,1 m/s² vergleichsweise hoch liegt und für die auch eine ETCS-bezogene Anforderung an das Bremssystem besteht [2], wurden anhand eines vorläufigen und noch nicht validierten Gamma-Bremssmodells 0,80 m/s² vorgesehen.

Mit ihrer weitgehend konstanten Verzögerung wirkt die GUI den Möglichkeiten des Gammamodells, das Bremssystem mit bis zu sieben Verzögerungsstufen realitätsnah zu modellieren, ein Stück weit entgegen. Nicht beeinflusst wird hingegen die ebenfalls präzise Modellierung der Bremsaufbauzeit, die bei DKS-Tz bei rund 1 bis 2 s und somit deutlich unter dem sicheren Mindestwert des Lambda-Modells von 5,77 s [19] liegt. Bremsungen an sämtlichen Geschwindigkeitsschwellen nach unten können daher rund 4 s später beginnen und auch Einfahrten in teilbesetzte Gleise beschleunigt werden. Daher werden im DKS bei den meisten Zugkonfigurationen Gamma- statt Lambda-Modelle verwendet. [2]

Bei der Berechnung von SBD, EBD und GUI werden die Längsneigungen berücksichtigt. [20] Im Gefälle werden die Bremskurven deswegen länger, in der Steigung kürzer. Theoretisch wäre die erforderliche Bremskraft zum Folgen der GUI neigungsunabhängig und damit nur geschwindigkeitsabhängig. In der Praxis sind allerdings zwei Aspekte von Bedeutung: Mit zunehmendem Gefälle wird die Verzögerung der GUI immer kleiner (Abb. 4 unten). In sehr starkem Gefälle würde diese Verzögerung sogar negativ werden und kann zu einem ETCS-Systemfehler (System Failure) führen. In Steigungen würde die P-Kurve hingegen flacher als

die GUI verlaufen, die GUI also unwirksam sein (Abb. 4 oben).

Deswegen werden die Verzögerungen der GUI im Gefälle mittels Korrekturfaktoren (K_n +/ K_n - in bis zu fünf Stufen [21]) erhöht und in Steigungen abgeflacht, damit die GUI auch dort wirksam bleibt. Diese Faktoren werden erstmals in Deutschland verwendet. Im Gefälle muss der Tf etwas stärker als in der Ebene bremsen, in der Steigung dagegen etwas schwächer.

Resümee und Ausblick

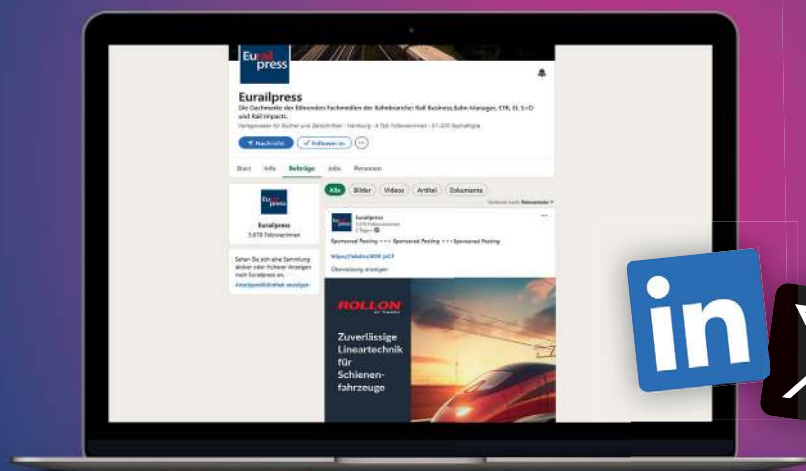
Die seit 2022 erarbeiteten GUIs für die DKS-Tz wurden inzwischen in mehr als 100 ETCS-Fahrzeuggeräte eingespielt. Eine Reihe von Tf haben damit inzwischen über 25.000 km an Testfahrten absolviert. Laut ersten Rückmeldungen seien die Bremskurven bei FLIRT und TALENT „sportlich“, aber fahrbar. Die Bremskurven stoßen damit nach ersten Erfahrungen auf die erhoffte Akzeptanz.

Gleichzeitig scheinen die Auswirkungen der verminderten oder teils geringen Verzögerungen auf die Fahrwegkapazität (Sperrzeiten) sehr überschaubar: An den meisten ETCS-Zielpunkten (End of Authority, EOA) im DKS ist ohnehin eine Release Speed von 15 km/h projektiert, unterhalb derer die Bremskurvenüberwachung ausgesetzt ist. Darüber hinaus führt eine dichte Blockteilung – auf der besonders hochbelasteten Stammstrecke sogar mit ein oder zwei kurzen Blöcken hinter dem „Ausfahrtsignal“ am Bahnsteigende – dazu, dass das EOA bei Zielbremsungen ohnehin meist hinter dem Bahnsteig liegt. [22] Eine Quantifizierung steht noch aus, da ein im Hinblick auf die GUI-Korrekturfaktoren validiertes Modellierungs- bzw. Simulationswerkzeug bei der DB noch nicht zur Verfügung steht.

Wesentliche Veränderungen wird das hochautomatisierte Fahren (ATO GoA 2) bringen, das im DKS aufbauend auf ETCS

eingeführt werden soll. Anhand von Vorgaben der Infrastruktur regelt dabei das Bordgerät (ATO-OB), unter Aufsicht des Triebfahrzeugführers, Traktion und Bremse selbstständig. [8] Der Zug kann sich dabei innerhalb der durch ETCS überwachten Vollbrems- bzw. Schnellbremsen einkurve (SBI/EBI) frei bewegen – die vorgelagerten Bremskurven spielen dabei keine Rolle mehr und auch optische und akustische Warnungen werden unterdrückt. [23] Die ATO-OB hat somit mehr Möglichkeiten und einen größeren Spielraum, gleichwohl weiterhin gewisse Reaktionszeiten und Regelungsreserven erforderlich und abrupte Verzögerungssprünge zu vermeiden sind. Eine weitgehend offene Frage ist dabei auch, welche Verzögerung und welcher Ruck von Nahverkehrsfahrgästen als komfortabel bzw. noch akzeptabel wahrgenommen werden. Die bislang im Fernverkehr mit ca. $0,7 \text{ m/s}^2$ [24] angenommene Komfortgrenze, durch die beispielsweise

Mit Social Media zur TOP-REICHWEITE

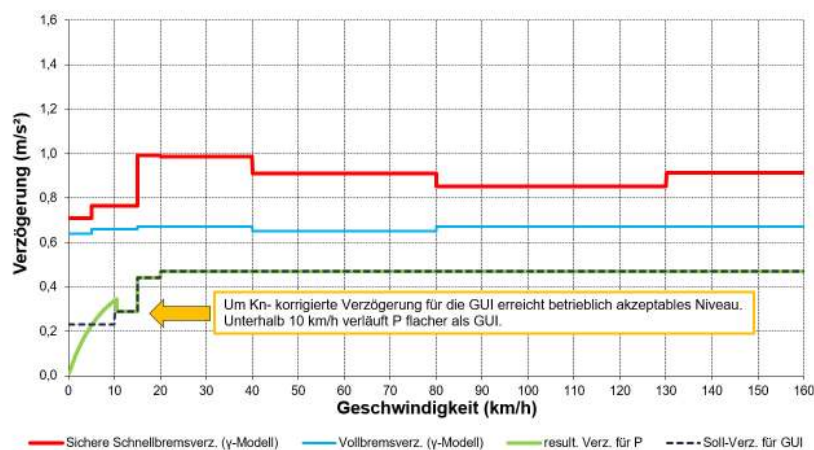
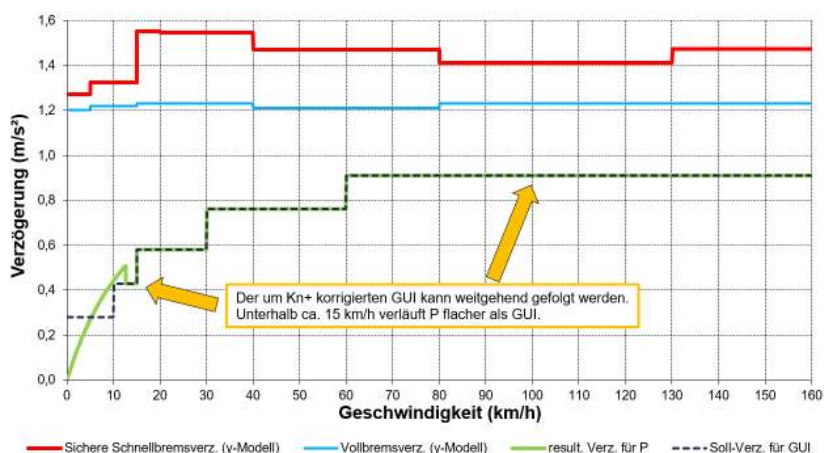


Werben Sie auf unseren Kanälen und nutzen Sie unseren günstigen Einstiegspreis!



Ihr Ansprechpartner: Tim Feindt
tim.feindt@dvvmedia.com ■ Telefon +49 40 237 14 220

**Eurail
press**



5: Mittels Kn+/Kn- korrigierte GUI für TALENT 3 (fünfteilig in Dreifachtraktion mit Gamma-Modell), oben in 30 ‰ Steigung, unten in 30 ‰ Gefälle
Quelle: NEXTRAIL

Kaffeetassen im Speisewagen nicht in Bewegung geraten sollen, muss nicht unbedingt übertragbar sein.

Die weitere Gestaltung von Bremskurven, die zugleich sicher, komfortabel und fahrbar sind, bleibt ein unscheinbares, aber wichtiges Thema auf dem Weg zur weiteren Digitalisierung des Bahnbetriebs.



Das Projekt wird kofinanziert von der Europäischen Union

Literatur

- [1] <https://de.wikipedia.org/wiki/ETCS-Bremskurven>, gesichtet in der Fassung vom 25. Dezember 2025, 21:10 Uhr.
- [2] Förster, J.; Kümmling, M.; Olesch, M.; Reinhart, P.; Vandoorne, K.; Vogel, T.: ETCS-Bremskurven im Spiegel der Praxis. EI – Der Eisenbahningenieur 6/2023 (<https://bit.ly/3plqlhR>).
- [3] Bitzer, F.; Dietrich, F.; Grell, A.; Lammerskitten, C.; Lück, B.; Schunke-Mau, C.; von Schaper, M.-L.; Vogel, T.; Wanstrath, S.: Sachstandsbericht Digitaler Knoten Stuttgart. EI – Der Eisenbahningenieur 1/2025 (<https://bit.ly/40EhUg3>).
- [4] Schunke-Mau, C.; Vogel, T.: Quo vadis DSD-Fahrzeugausrüstung? ETR – Eisenbahntechnische Rundschau 6/2024 (<https://bit.ly/4bZ4VJI>).
- [5] Dietrich, F.; Molterer, L.; Philippsen, F.; Reinhart, P.; Schunke-Mau, C.; Vogel, T.; Wester-Ebbinghaus, H.: Förderung der DSD-Fahrzeugausrüstung im Digitalen Knoten Stuttgart. EI – Der Eisenbahningenieur 4/2023 (<https://bit.ly/3N24h5o>).
- [6] Eckhardt, M.; Glaß, T.; Vogel, T.: Erfahrungen mit der Digitalen Schiene Deutschland in Baden-Württemberg. EI – Der Eisenbahningenieur 6/2024 (<https://bit.ly/4cQKLt3>).
- [7] Dietrich, F.; Pätzold, J.; Schiller, F.; Schunke-Mau, C.;

Reinhart, P.: Die Umrüstung von S-Bahn-Triebzügen für den Digitalen Knoten Stuttgart. Eisenbahn-Revue International 3/2025 (<https://bit.ly/3HlofqI>) und 4/2025 (<https://bit.ly/4kiJNly>).

[8] Kümmling, M.; Wanstrath, S.: „Digitale“ Kapazitätssteigerungen: ein Sachstand. Eisenbahn Ingenieur Kompendium 2024 (<https://bit.ly/4cHBOfi>), insbesondere Abschnitt 2.4.

[9] siehe <https://bit.ly/4oJSoBV> (Das finale Bremsmodell der Coradia Max liegt noch nicht vor und folgt noch.)

[10] https://de.wikipedia.org/wiki/Linienförmige_Zugbeeinflussung#Bremskurvenberechnung (gesichtet in der Fassung vom 4. Juni 2026) und Verweise von dort.

[11] ETCS-Spezifikation, SUBSET-026-3, Version 4.0.0, A.3.2: Q_NVGUIPERM.

[12] DB Netz: Übersicht der nationalen Werte für ETCS auf den Strecken der DB Netz AG, Schreiben vom 27. Januar 2022 (<https://bit.ly/4vCYBBA>).

[13] SUBSET-026-3, Version 4.0.0, 3.13.3.3.

[14] SUBSET-026-3, Version 4.0.0, A.3.7.1.

[15] SUBSET-026-3, Version 4.0.0, 3.13.9.3.5.

[16] EN16834:2019, Anhang F.1: „Die durch das Modell gegebene momentane Verzögerung spiegelt nicht unbedingt die tatsächlichen physikalischen Merkmale der Züge oder einzelner Fahrzeuge wider. Sie ist deshalb als ein theoretischer Wert anzusehen, der zusammen mit der vorgegebenen Bremsansprechzeit die Gewähr bietet, dass die Anhaltewege sicher berechnet werden können.“

[17] Hornemann, K.: Neue LZB bei der S-Bahn München. Signal+Draht 9/2005.

[18] Druckenbrod, C.; Glass, T.; Klust, M.: Neue Doppelstocktriebzüge für den Digitalen Knoten Stuttgart. EI – Der Eisenbahningenieur 2/2023 (<https://bit.ly/3HD0M1c>).

[19] Mindestwert von 5,02 s mit Sicherheitsfaktor $K_{t_int}=1,15$ gemäß [2]

[20] SUBSET-026-3, Version 4.0.0, 3.13.6.2.1.3, 3.13.6.3.1.3 und 3.13.6.4.3.

[21] SUBSET-026-3, Version 4.0.0, 3.13.2.2.9.2 und 3.13.6.4.3.

[22] Denißen, J.; Flieger, M.; Kümmling, M.; Küpper, M.; Wanstrath, S.: Optimierung der Blockteilung mit ETCS Level 2 im Digitalen Knoten Stuttgart. Signal+Draht 7+8/2021 (<https://bit.ly/4IQDneh>).

[23] ETCS-Spezifikation, ERA_ERTMS_015560, Version 4.0.0, 7.2.3.3, 7.4.1.1, 7.4.3.3, 7.4.4.3, 7.5.1.1, 8.2.2.5.7 sowie Tabellen 8, 9 und 11

[24] Singer, A.; Voß, G.: Bremskurven für den Hochgeschwindigkeitsverkehr mit Funkzugbeeinflussung. ZEVrail, 2/1999, S. 56.

Summary

Modelling of Guidance Curves for the Stuttgart Digital Node

In modern multiple units, the ETCS braking curve calculation can result in braking curves that train drivers find almost impossible to follow. This leads to premature and defensive braking. This can be counteracted by designing Guidance Curves (GUI). The introduction of deceleration stages and correction factors for longitudinal gradients further contributes to drivability.



InnoTrans 2026, 22. – 25. September 2026, Berlin

Internationale Fachmesse für Verkehrstechnik
Innovative Komponenten · Fahrzeuge · Systeme

+++ News +++ News +++ News +++ News +++

Das Who-is-Who der internationalen Verkehrsbranche



Die diesjährige InnoTrans eröffnet EU-Kommissar Apostolos Tzitzikostas;
10 bis 11:30 Uhr im palais.Berlin Foto: DVV Media GmbH

Die InnoTrans 2026 setzt zum 30-jährigen Bestehen ein starkes Zeichen für die gesamte Verkehrstechnikbranche: Die Eröffnungsver-

anstaltung am 22. September im palais.Berlin bringt hochrangige Gäste aus Politik und Industrie zusammen und macht schon zum Auftakt deutlich, welche internationale Bedeutung die Leitmesse hat. Zur Jubiläumveranstaltung werden unter anderem EU-Kommissar Apostolos Tzitzikostas, Bundesverkehrsminister Patrick Schnieder, DB-Chefin Evelyn Palla, der neue Alstom-CEO Martin Sion sowie Michael Peter von Siemens Mobility und Škoda-CEO Petr Novotny erwartet. Mehr als 1.000 Spitzenvertreterinnen und -vertreter aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik versammeln sich zur Eröffnung und unterstreichen damit den hohen Stellenwert der Messe als Treffpunkt für Entscheider:innen und Impulsgebende. Die Eröffnung ist nicht nur ein formeller Programmpunkt, sondern ein prominent besetztes Branchenevent mit klarer inhaltlicher Ausrichtung auf globale Mobilität, Wachstum und Zukunftschancen. Unter dem Motto „Mobility on a global scale – Shaping projects and growth opportunities“ wird der Auftakt zu einem sichtbaren Highlight innerhalb des Messeprogramms. ●

Bühne frei für die Stimmen der Mobilität

Nach dem großen Erfolg auf der InnoTrans 2024 erwartet die internationale Bahn-Community auch in diesem Messejahr wieder ein Highlight: Am 25. September bringt das Railway Influencer Festival auf der InnoTrans 2026 erneut führende Creator:innen, Mobilitätsexpert:innen und Branchenakteur:innen zusammen. Im Fokus stehen digitale Stimmen, die mit ihren kreativen Ideen und ihrer Reichweite neue Perspektiven auf Bahn, Verkehr und nachhaltige Mobilität eröffnen. Neben der Verleihung des Railway Influencer Award, mit dem eine unabhängige Jury herausragende Beiträge in der Verkehrsbranche würdigt, erwartet die Teilnehmenden ein vielseitiges Programm aus Diskussionen, Showcases und Networking. Das Festival zeigt, wie Social Media, Storytelling und Innovation die Mobilitätsbranche prägen und neue Zielgruppen erreichen. ●



Railway Influencer Award

Foto: Messe Berlin GmbH

Rundgänge auf der InnoTrans 2026

Die InnoTrans 2026 rückt ihre Weltneuheiten ins Rampenlicht: Bei den täglich stattfindenden World Innovation Tours erleben Fachbesuchende und Journalist:innen die Premieren der Aussteller aus nächster Nähe. Die rund 90-minütigen Rundgänge führen zu zehn Stationen quer über das Messegelände. Hochrangige Unternehmensvertreter:innen präsentieren ihre Innovationen und stehen für Fragen bereit. Internationale Gäste erhalten Simultanübersetzungen ins Englische. Ergänzend gibt es kostenfreie Career Tours und KI-Rundgänge ab dem AI Mobility Lab in Halle 7.1a. ●

InnoTrans im Überblick

Fachmesse: 22. – 25. September 2026

Veranstalter und Veranstaltungsort: Messe Berlin GmbH, ExpoCenter City, Messedamm 22, 14055 Berlin

Öffnungszeiten: Fachmesse 9:00 – 18:00 Uhr

Preise: Tagesticket: 65,00 EUR

Dauerticket: 100,00 EUR

Studierendticket: 30,00 EUR

(nur Online-Tickets, keine Tageskasse vor Ort)

E-Mail: innotrans@messe-berlin.de · **Web:** www.innotrans.de

**Eurail
press**

ist Medienpartner der InnoTrans 2026

Hyperloop in Europa: Netzwerkperspektive und Wirtschaftlichkeit

Hyperloop gilt neben Straße, Schiene und Luftverkehr als mögliche vierte Säule im europäischen Fernverkehr. Eine neue Studie im Rahmen des EU-geförderten Hyper4Rail-Projekts bewertet erstmals systematisch, wie ein europäisches Hyperloop-Netz in das bestehende Schienensystem integriert werden könnte – und ob es wirtschaftlich tragfähig wäre.



1. Einleitung

In der Verordnung der EU für den Aufbau des Transeuropäischen Verkehrsnetzes (TEN-T) wird Hyperloop erstmals als neue Bahntechnologie von gemeinsamem Interesse anerkannt. Damit stellt sich die Frage, wie Hyperloop zu den TEN-T-Zielen Nachhaltigkeit, Kohäsion, Effizienz und Verbesserungen für Reisende beitragen kann.

Hyperloop wird in dieser Studie als Ergänzung zur Schiene im Fernverkehr untersucht. Sein Hauptpotenzial liegt bei Reisen über 800 km, bei denen der Luftverkehr heute dominiert. Da der durchschnittliche Flug in Europa mehr als 1000 km beträgt, würde selbst ein deutlich ausgebautes

Hochgeschwindigkeitsbahn-Netz (High-Speed Rail, HSR) die intra-europäischen Luftverkehrsemissionen laut einer Studie von Transport & Environment nur um 6-11 % reduzieren. Hyperloop wird daher als ultraschnelle Zusatzoption (über 750 km/h) bewertet, die bedeutende Schienenknoten und HSR-Strecken miteinander verknüpft und so komplementäre Schiene-Hyperloop-Reisen ermöglicht.

Die Studie bewertet, welche Nachfrage und Modalsplitverschiebungen entstehen, wenn Hyperloop mit der Schiene integriert wird, und ob ein solches Netz finanziell und volkswirtschaftlich tragfähig ist. Der Fokus liegt auf dem Personenverkehr; das 750-km/h-Ziel ist als Leistungsziel zu



Mars Geuze

Delft University of Technology, Delft, Niederlande; vormals Technology Director und Mitbegründer des Hyperloop-Startups Hardt B.V.

mars@geuze.eu

verstehen, nicht als bereits nachgewiesene Fähigkeit. Aktuell wird Hyperloop in Europa auf Technologie-Reifegrad-Stufe (TRL) 2 für das Gesamtkonzept und TRL 4 für Subsystemvalidierungen eingeordnet. Mit der weiteren Erforschung und dem Bau von Erprobungs- und Pilotstrecken wird die Technologie in den kommenden Jahren weiter reifen.

2. Methodik

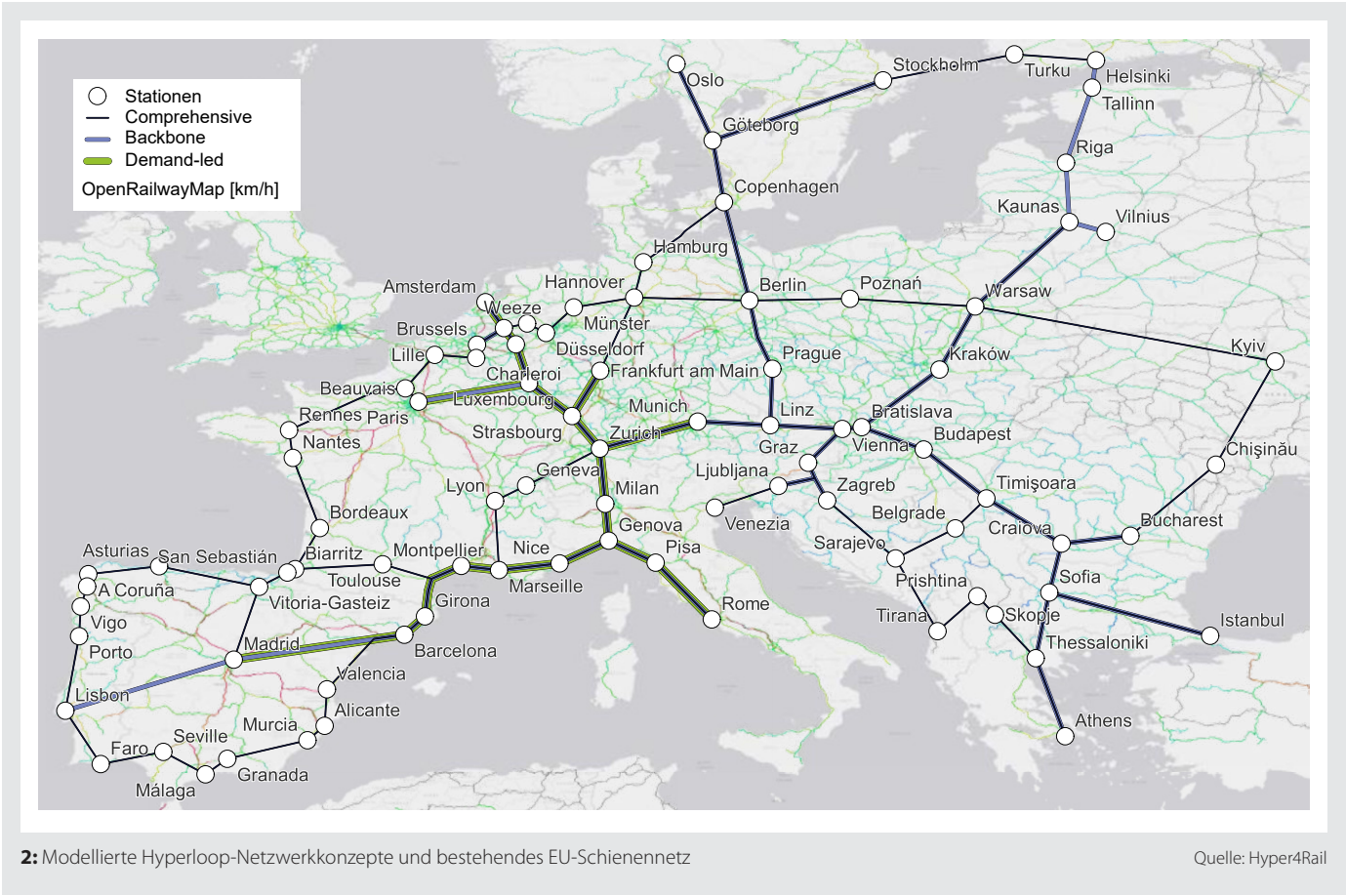
2.1. Netzwerksynthese

Für die Untersuchung wurden drei Netzwerkkonzepte entwickelt: ein nachfrageorientiertes Konzept (Demand-led), das die Korridore mit dem höchsten Reiseaufkommen und den größten Knotenpunkten priorisiert; ein Backbone-Konzept, das Hauptstädte und wichtige Knotenpunkte entlang der Hauptkorridore verbindet; sowie ein umfassendes Konzept (Comprehensive) mit breiterer räumlicher Abdeckung und mehr Netzverbindungen.

Als Referenz für die Bewertung wurde das Backbone-Konzept gewählt, da es eine ausgewogene Lösung darstellt: Es erfasst



1: Die Hyperloop-Technologie sieht ein Magnetbahnsystem in Unterdrucktunneln vor, das hohe Geschwindigkeit mit niedrigen Emissionen und Energieverbrauch ermöglichen soll
Quelle: EuroTube Foundation



die wichtigsten politischen und wirtschaftlichen Zentren, beansprucht aber weniger Länge als das umfassende Konzept. Alle kontinentalen EU-Mitgliedstaaten erhalten mindestens eine Verbindung. Das resultierende Referenznetz umfasst 11.200 km und verbindet die kontinentalen EU-Mitgliedstaaten (sowie die Schweiz, Türkei und Norwegen) mit einer Betriebsgeschwindigkeit von bis zu 750 km/h. Stationsstandorte sind als abstrakte Zugangsknoten modelliert und wurden nicht im Detail festgelegt; sie müssten im nächsten Schritt mit HSR-Knotenpunkten und Flughäfen abgestimmt werden.

2.2. Nachfragemodellierung

Die Wahl des Verkehrsmittels wird mit einem Multinomialen Logit-Modell geschätzt, das Reisezeit, Kosten und Servicefrequenz berücksichtigt. Das Modell wurde anhand von 23 europäischen Ursprungs-Ziel-Paaren mit bekannten Luft- / Schienenteilungen kalibriert. Da keine Erfahrungsdaten für Hyperloop vorliegen, wurden die Hyperloop-Koeffizienten als Durchschnitt der Schienen- und Luftfahrtskoeffizienten angesetzt.

Die Komplementarität mit der Schiene wird abgebildet, indem kombinierte Schiene-Hyperloop-Reisen mit einer 20-minütigen Umsteigezeit zugelassen werden. Tarife werden für alle Verkehrsträger als gleich angesetzt; zukünftig wird ein Anstieg um 20 % einkalkuliert, da Flugpreise durch die Einführung synthetischer Kraftstoffe steigen dürften. Die Basisdaten stammen aus Eurostat-Flugverkehrsdaten 2023; für Verbindungen ohne Luftverkehr und kurze Distanzen wurde ein Gravitationsmodell des DLR eingesetzt, das die Nachfrage aus Bevölkerungsgröße, Wirtschaftskraft und Reisekosten der jeweiligen Städte ableitet. Induzierte Nachfrage, die erst durch das neue Angebot entsteht, wird über eine Kostenelastizität von -0,8 berechnet, das heißt:

ein Kostenrückgang um 10 % erzeugt 8 % mehr Nachfrage.

2.3. Finanzielle und volkswirtschaftliche Modellierung

Die Bewertung folgt dem Leitfaden der Europäischen Kommission zur Kosten-Nutzen-Analyse von Investitionsprojekten aus der Perspektive des Infrastrukturbetreibers. Als Trassenentgelt wird der europäische Schienendurchschnitt von 3,9 € t/Pkm angesetzt. Betriebskosten werden auf Basis von Herstellerschätzungen mit 3,3 € t/Pkm (+/- 1,2 € t/Pkm) angenommen, was einen profitablen Betrieb ermöglicht.

Der Bewertungszeitraum umfasst 2025-2090 mit finanziellen und volkswirt-

Tabelle 1: Nachfrageverschiebungen im Referenzszenario

Quelle: eigene Berechnungen

Größe	Flug	Schiene	Straße	Hyperloop
Zusätzliche Fahrgäste [Mio.]	–	375	–	1.156
Verlagerte Fahrgäste [Mio.]	764	40	20	–
Zusätzliches Verkehrsaufkommen [Mrd. Pkm]	–	130	–	1.240
Verlagertes Verkehrsaufkommen [Mrd. Pkm]	845	17	9	–



schaftlichen Diskontierungsraten von 4 % bzw. 3 %; Baubeginn wird für 2040 angenommen, bei einer Baurate von 370 km/Jahr und einer Bauzeit von 16 Jahren. Investitionskosten werden mit 60 Mio. €/km veranschlagt (inkl. Tunnel, Stationen und Risikoaufschlag), Wartungskosten mit 1,2 % der kumulierten Investitionskosten.

Externe Kosten aus Modalsplitverschiebungen wie Luftverschmutzung, Klimawandel, Lärm und Verkehrssicherheit werden für alle Verkehrsträger nach EU-Standardwerten bilanziert. Um Verbesserungen im Zeitverlauf abzubilden, wird angenommen, dass die externen Kosten im Referenzfall für den Luftverkehr jährlich um 3,6 % sinken (im Business-as-Usual-Fall um 1,0 %), für den Straßenverkehr um 2,6 % sowie für Schiene und Hyperloop um jeweils 1,0 %.

Der finanzielle und volkswirtschaftliche Kapitalwert (Net Present Value - NPV) sowie das Nutzen-Kosten-Verhältnis werden nach standardisierten Discounted-Cashflow-Formeln berechnet, in Übereinstimmung mit dem Analyseleitfaden der Europäischen Kommission.

3. Ergebnisse

3.1. Nachfrage und Modalsplit

Das Referenzszenario prognostiziert für das vollständig ausgebaute Backbone-Netz 1,2 Milliarden jährliche Fahrgäste. Davon legen 85 % mehr als 800 km zurück; die mittlere Reisedistanz liegt bei rund 2000 km. So können 56 % der kontinentalen Luftverkehrsnachfrage auf Hyperloop verlagert werden. Die Schiene fungiert für 33 % der Hyperloop-Reisen als Zubringer. Insgesamt 7 % der Gesamtnachfrage sind induziert.

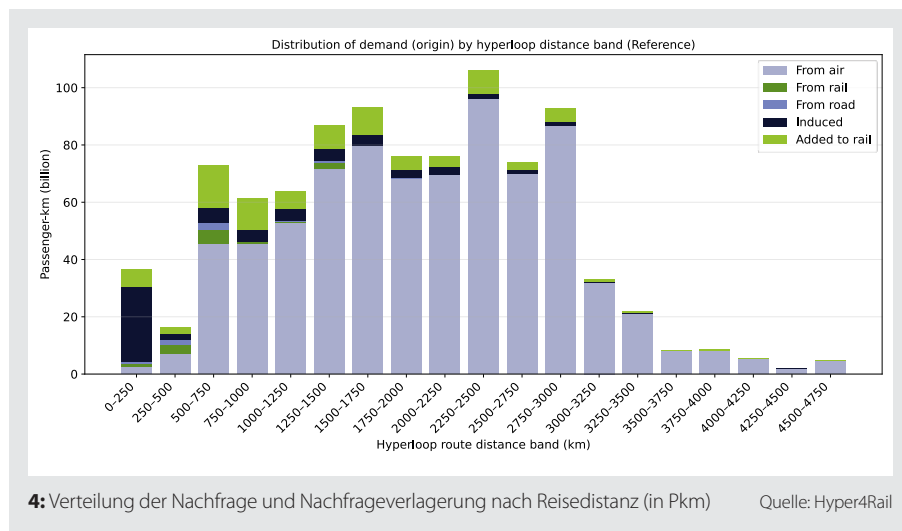
Tabelle 1 zeigt die modellierten Nachfrageverschiebungen zwischen den Verkehrsträgern. Besonders deutlich ist die Verlagerung vom Luftverkehr: 764 Millionen Fluggäste und 845 Milliarden Pkm steigen um auf Hyperloop. Gleichzeitig profitiert die Schiene: 375 Millionen zusätzliche Fahrgäste nutzen das Schienennetz als Zubringer.

3.2. Wirtschaftliche Bewertung

Die Bewertungsergebnisse sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Im Referenzfall

Tabelle 2: Diskontierte Bewertungsergebnisse in Mrd. € über die Projektlaufzeit 2025-2090 (BaU-Werte für Luftfahrt in Klammern)
Quelle: eigene Berechnungen

Kennzahl	Ergebnis	Kennzahl	Ergebnis
Finanzieller Kapitalwert	18 Mrd. €	Volkswirtschaftlicher Kapitalwert	197 Mrd. € (581 Mrd. €)
Gesamterlöse	162 Mrd. €	Finanzieller Kapitalwert	18 Mrd. €
Gesamtkosten	-227 Mrd. €	Volkswirtschaftliche Wirkungen	121 Mrd. € (347 Mrd. €)
Finanzieller Restwert	83 Mrd. €	Volkswirtschaftlicher Restwert	58 Mrd. € (216 Mrd. €)
Finanzielles NKV	1,08	Volkswirtschaftliches NKV	1,87 (3,56)



unter Annahme einer jährlichen Verbesserungsrate der Luftfahrt von 3,6 % beträgt der finanzielle Kapitalwert 18 Mrd. € und das finanzielle NKV 1,08. Der volkswirtschaftliche Kapitalwert liegt bei 197 Mrd. € (NKV 1,87); davon entfallen rund 65 % auf Zeitersparnisse und 35 % auf externe Umweltauswirkungen.

Im Business-as-Usual-Szenario (BaU) – also bei einer Verbesserungsrate der Luftfahrt von nur 1,0 % – steigt der volkswirtschaftliche Kapitalwert auf 581 Mrd. € und das NKV auf 3,56. Dieses Szenario erscheint angesichts der geringen historischen Effizienzfortschritte in der Luftfahrt realistischer und unterstreicht das Potenzial von Hyperloop als klimaverträgliche Alternative.

4. Diskussion und Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse zeigen, dass ein integriertes Hyperloop-Schiene-System die Gesamtnutzung der Schiene erhöhen könnte, da Hyperloop primär jenseits der effektiven Reichweite von HSR konkurriert. In Kombination mit dem bestehenden Hochgeschwindigkeitsbahnnetz könnte Hyperloop die Ziele der Europäischen Kommission zur Verlagerung auf nachhaltige Verkehrsträger unterstützen, ohne bestehende HSR-Investitionen zu gefährden.

Unter den getroffenen Annahmen erweist sich das Referenznetz sowohl finanziell als auch volkswirtschaftlich als tragfähig. Damit wären öffentliche Investitionen in die Hyperloop-Entwicklung auf Basis dieser Voruntersuchungen potenziell gerechtfertigt.

Die Studie hat jedoch Grenzen: Das Nachfragemodell basiert überwiegend auf Luftverkehrsdaten; die Hyperloop-Präferenzen werden angenähert, da keine realen Erfah-

rungsdaten vorliegen. Kostenschätzungen ohne korridorspezifische Planung sind mit hoher Unsicherheit behaftet. Die Ergebnisse sind daher als Vorabschätzungen zu verstehen, nicht als belastbare Prognosewerte.

Für die nächsten Schritte empfiehlt sich eine Kapazitätsprüfung (die am stärksten beanspruchte Strecke erfordert einen U-Bahn-ähnlichen Durchsatz von rund 30.000 Fahrgästen pro Stunde), korridor-spezifische Machbarkeitsstudien sowie eine Verbesserung des Nachfragemodells durch Stated-Preference-Experimente. Auch die Rolle von Hyperloop im Güterverkehr und die Signaltechnik für hohe Kapazität und Geschwindigkeit bei Hyperloop sollten weiter erforscht werden. ●

DOI 10.61067/260832

Förderhinweise

Co-Funded by the European Union. Views and opinion expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the Europe's Rail Joint Undertaking. Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them. The project Hyper4Rail is supported by the Europe's Rail Joint Undertaking and its members and has received funding from the European Union's Horizon Europe research and innovation programme under grant agreement: 10119614.

Literatur

- [1] Geuze, M. J., Mylonas, C., Freitas, A., Pinho, I. & Maghrour Zefreh, M.: The Study of a Hyperloop Network in Europe. In: Esztergár-Kiss, D., Munkácsy, A. & Török, Á. (Hrsg.), Re-Generation in Transport – Proceedings of the 11th TRA Conference, 2026, Budapest. Lecture Notes in Mobility. Springer Nature. (im Erscheinen)
- [2] European Union: Regulation (EU) 2024/1679 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 on Union guidelines for the development of the trans-European transport network. OJ L, 2024/1679, 28.6.2024 (2024). <http://data.europa.eu/eli/reg/2024/1679/oj>
- [3] Hyper4Rail: A Giant Leap for Loop: Towards a harmonized implementable Hyperloop concept with Hyper4Rail (2026). <https://doi.org/10.3030/101196142>
- [4] European Commission Directorate-General for Regional and Urban Policy: Guide to cost-benefit analysis of investment projects – Economic appraisal tool for cohesion policy 2014-2020, Publications Office, Luxembourg (2015). <https://doi.org/10.2769/97516>
- [5] Ehrenberger, S., Winter, J., Malik, F.: Quantifying the potentials of a new high speed train using a gravity model and GIS. In: European Transport Conference 2010. Association for European Transport, Glasgow (2010). <https://elib.dlr.de/66460/>

Summary

Hyperloop in Europe: A network perspective and economic viability

This study assesses a European hyperloop network of 11,200 km connecting a node in each continental EU member state at speeds of up to 750 km/h. Integrated with rail, the network could attract 1.2 billion annual passengers, shifting 56 % of continental air demand and boosting overall rail use. The financial net present value amounts to €18 billion; the economic NPV reaches €197 billion, rising to €581 billion under a business-as-usual aviation improvement scenario. Hyperloop may thus be viable on high-impact European corridors as a sustainable complement to high-speed rail.

Für mehr Fahrwegkapazität Gleise im Fließbandverfahren bauen

Die Bedeutung großer Umbauvorhaben nimmt in weiten Teilen Europas zu. Liberalisierung ist ein zentraler Treiber für kapazitätsschonende Planung, verfahrensneutrale Ausschreibung von Baustellen und Einsatz hochproduktiver Bauverfahren. Steigende Nachfrage nach Trassenverfügbarkeit zeigt sich in der Bauwirtschaft: Folgeerscheinungen sind Modernisierung von Korridorprojekten, Kapazitätssteigerungen durch Ausbauten, Streckenertüchtigungen für höhere Regelgeschwindigkeiten.



Die EU begrüßte im November 2025 eine politische Einigung über neue Regeln zur Optimierung der Nutzung von Schienenkapazität und zur besseren grenzüberschreitenden Koordinierung: Damit wird Kapazitätsmanagement in offenen Märkten zu einem zentralen Infrastrukturtherma. [1]

Die genannten Maßnahmen setzen leistungsfähige Bauverfahren voraus. Dieser Artikel stellt exemplarisch ein neues Fließbandverfahren für den Gleisumbau vor, wie es im Frühjahr 2026 in Ungarn in Betrieb ging. Obwohl vergleichbare Systeme bereits seit den 1970er Jahren eingesetzt werden, stellt sich immer wieder die Frage: Worin liegt ihr Hauptanwendungspotenzial? Was ist der Vorteil gegenüber herkömmlichen Bauverfahren? Schließlich gibt es bei Letzteren einen deutlich größeren Umfang an Anbietern und Maschinen. Zudem scheint das Arbeiten mit Kränen und Zweiwege-Baggern auf den ersten Blick mehr Flexibilität zu erlauben.

1. Fließbandtechnik im Verfahrenskontext

Mehrere Kriterien müssen abgewogen werden, um zwischen konventionellem Umbau und gleisgebundener Großmaschinenteknik die passende Wahl zu treffen. Ein Zugang dazu ist eine Entscheidungsmatrix mit teils gegensätzlichen Kriterien aus vier Kategorien: örtliche Gegebenheiten, Wirtschaftlichkeit, Umwelt und Sicherheit. Berücksichtigt werden dabei unter anderem Abschnittslänge, Eingleisigkeit oder Mehrgleisigkeit, Baustellenzugang, Hin-

dernisse, Gleisabstand, Sperrpausen, Materiallogistik, Betrieb am Nachbargleis und Personalressourcen. Ziel dieser Auswahl ist nicht zwangsläufig das schnellste oder billigste Verfahren, sondern die technologisch optimale Lösung, die Bauzeiten und betriebliche Einschränkungen minimiert und zugleich Qualität, Umweltverträglichkeit und Arbeitssicherheit gewährleistet. Eine Matrix dient dabei nicht als starres Rezept, sondern als praxisorientierte Entscheidungshilfe, die bereits mehrere Jahre vor Baubeginn eingesetzt werden soll, um für jede Baustelle das kapazitätsschonendste Bauverfahren festzulegen.

1.1. Wann ist ein Fließbandverfahren sinnvoll?

Fließbandverfahren sind besonders vorteilhaft bei längeren Umbaustrecken, knappen Sperrpausen, hoher Streckenbelastung, wenn der Betrieb am Nachbargleis möglichst aufrechterhalten werden soll und gleisgebundene Materiallogistik den Baustellenablauf erleichtert. Rückbau des bestehenden Gleises und Neubau des neuen Gleises erfolgen im „Arbeitsmodus Gleisumbau“ räumlich und zeitlich nicht getrennt, sondern werden von in geringem Abstand zueinander angeordneten Arbeitseinheiten ausgeführt. Auch bei schwierigem Baustellenzugang spricht viel für das Fließbandverfahren, weil Zufuhr und Abfuhr von Material weitgehend im Baugleis organisiert werden können. Hinzu kommen Vorteile bei Ausführungsqualität, Materialschonung, Witterungsunabhängigkeit und Umweltwirkung. [2]



Simon Misar

Kampagnenleiter, Marketing und Kommunikation, Plasser & Theurer, AT-Wien

simon.misar@plassertheurer.com

2. Alle Hauptarbeiten in einem System bündeln

Der Raupenantrieb ermöglicht kontinuierlichen Gleisumbau, unabhängig von Witterungseinflüssen. Er sorgt für gleichmäßigen Vortrieb, selbst bei Regen oder nassen Schienen. Alle Hauptarbeitsschritte erfolgen in einem einzigen Arbeitsprozess innerhalb des Maschinensystems:

- Lösen der Befestigungen (Spurhalter)
- Ausfädeln der Altschienen
- Ausbau der Altschwellen
- Vorbereitung stabiler Schwellenaufleger
- Verlegen der Neuschwellen

Durch die hohe Raupenzugkraft erfordert das System für den Arbeitsbetrieb kein zusätzliches Triebfahrzeug.





1: Materialtransporte im Baugleis ermöglichen den Betrieb am Nebengleis

- Einbau der Neuschienen
- Kontinuierliche Materialzufuhr und Abtransport.

Zerfällt eine Altschwelle beim Ausbau, kann sie seitlich mit einer integrierten Ausdrückvorrichtung ausgeschoben werden, ohne den Arbeitsfluss zu unterbrechen.

Das Fließbandverfahren erfordert keine Sperrungen des Nachbargleises. Wie eine Ökobilanz aufzeigt, steigert es die Nachhaltigkeit großer Bauprojekte im Vergleich zu konventionellen Methoden. [3]

Der Plasser AssemblyLiner 1020 deckt drei Arbeitsmodi zugleich ab: Umbau, Rückbau und Neubau. Das neu entwickelte Design ermöglicht dies ohne aufwendigen Umbau der Maschine.

Zsolt Hegedűs, Technischer Direktor bei V-Híd, beschreibt das neue System: „Gleisumbau, Verlegung eines neuen Gleises sowie Rückbau des bestehenden Gleises erfolgen kontinuierlich. Die Konstruktion der Maschine ermöglicht auch den Einbau von Langschienen (120 m). Durch hohe Raupenzugkraft ist im System für den Arbeitsbetrieb kein zusätzliches Triebfahrzeug beziehungsweise keine Lokomotive erforderlich. Das Maschinensystem wurde so ausgelegt, dass es unter Berücksichtigung aller drei technologischen Arbeitsarten (Umbau, Rückbau, Verlegung) sowohl für Arbeiten neben Bahnsteigen als auch zwischen Bahnsteigen geeignet ist.“

3. Materiallogistik zur Versorgung und Entsorgung

Neben präzise aufeinander abgestimmten Arbeitsaggregaten ist die Materiallogistik ein entscheidender Faktor für erfolgreichen

Einsatz des Plasser AssemblyLiner 1020. Zwei Portalanlagen gewährleisten kontinuierliche Versorgung mit Neuschwellen und rasches Verladen der Altschwellen, sodass der Arbeitsfluss nie unterbrochen werden muss. Fließbandtechnik in Kombination mit optimierter Logistik minimiert Leerlaufzeiten und sorgt dafür, dass Baulose für Umbau, Rückbau und Neubau kosteneffizient und planmäßig durchgeführt werden können.

Die durchdachte Integration der Materiallogistik steigert die Geschwindigkeit beim Gleisumbau und erhöht zugleich die Qualität des Gleises. Materialschonender Einbau von Neuschwellen und Schienen, kombiniert mit einem optimalen Schwellenaufleger, ist die bestmögliche Basis für langfristig stabile und sichere Gleise. Au-

ßerdem erlaubt ein Fließbandverfahren dieser Bauart flexible Anpassung an unterschiedliche Bedingungen auf Baustellen und Schienensysteme, wodurch sie für eine Vielzahl von Projekten einsetzbar ist.

4. Bedienung vereinfachen und sicher gestalten

Eine wesentliche Neuerung des Plasser AssemblyLiner 1020 liegt im überarbeiteten Kabinen- und Bedienkonzept. Die neue Kabine bietet mit 2,2 Metern Raumhöhe im Gegensatz zu früheren Systemen deutlich mehr Platz. Der Zugang erfolgt über eine Sicherheitsplattform. Im Inneren findet man einen ergonomisch neu gestalteten Arbeitsplatz mit umfassendem Überblick über Arbeitsbereiche und Maschinensteuerung. Ein derartiges Umfeld hebt die Arbeitssicherheit auf ein neues Niveau.

Hochauflösende Kameras liefern gestochen scharfe Bilder der Arbeitsbereiche und übertragen diese auf fünf Monitore in der klimatisierten Kabine. Mit dem Plasser WorkingView-System kann das Bedienpersonal die Arbeitsaggregate in sicherem Abstand steuern. Dies reduziert physische Belastungen und ermöglicht besseren Überblick über die gesamte Baustelle. Die Kameraperspektiven umfassen das Lenken des Raupenfahrwerks ebenso wie die Sicht auf den Fahrweg mit automatischer Umschaltung der Fahrtrichtung bis hin zur Überwachung von Schwellenaufnehmer, Aushubkette, Schwellenverlegung und Altschwellensammelanlage. Im Neubaumodus liefern weitere Kamerabilder die Sicht



2: Sichere Bedienung in einer geräumigen Kabine mit direktem Blick auf die Arbeitsbereiche

auf das Planierschild mit Förderschnecke für die Erstellung eines optimalen Schwellenaufbauers. Exaktes Handling beim Ausbau der Altschwellen unterstützen Indikatorenlinien als visuelle Hilfe.

Das neue Arbeitsumfeld mit höherem Bedienkomfort reduziert Stressfaktoren und steigert unmittelbar die Arbeitssicherheit und in weiterer Folge die Effizienz des Bauverfahrens.

5. Vor- und Nacharbeiten im Bauablauf berücksichtigen

Zu den Vor- und Nacharbeiten beim Gleisumbau zählen alle Maßnahmen, die den maschinellen Hauptprozess vorbereiten, absichern und abschließen, um einen Streckenabschnitt wieder dem Betrieb zu übergeben. Vor dem Einsatz der Umbaumachine sind insbesondere baubetriebliche Planung, Zustandsbewertung von Bettung und Unterbau, Vermessung der bestehenden Gleisgeometrie sowie Herstellung geeigneter Randbedingungen im Baufeld erforderlich. Dazu gehören je nach Projekt auch Reinigung der Bettung, Planumsverbesserung, Herstellung oder Instandset-

zung der Entwässerung, Entfernen von Einbauten und Hindernissen sowie Bereitstellung und Positionierung von Neu- und Altmaterial im Rahmen der Schwellen- und Schienenlogistik. Nach dem Umbau folgen abschließende Arbeiten zur Herstellung der Soll-Gleislage durch Einschottern, Richten, Nivellieren, Stopfen und Stabilisieren.

Die Verbindung der Langschienen ist ein wesentlicher Faktor im Lebenszyklus des Gleises. Für moderne Eisenbahnfahrwege ist ein lückenlos verschweißtes Gleis Stand der Technik. Mangelhafte Schweißstöße verkürzen die Lebensdauer der Schienenstränge. Das Abbrennstumpfschweißen ist qualitativ hochwertig und reproduzierbar. Dabei wird mit schienen-eigenem Material gearbeitet, wodurch der Schweißstoß einen homogenen Übergang zweier Schienen bildet. Zeitnahe Bearbeitung der Neuschienen durch oszillierendes Schleifen entfernt die Walzhaut und reduziert den Lärm. [6]

Das Verschweißen von Schienen erfolgt in Abstimmung mit dem Fixieren der Schienenbefestigungen. Den Abschluss bilden Mess- und Kontrollfahrten sowie üblicherweise nach der Betriebs-

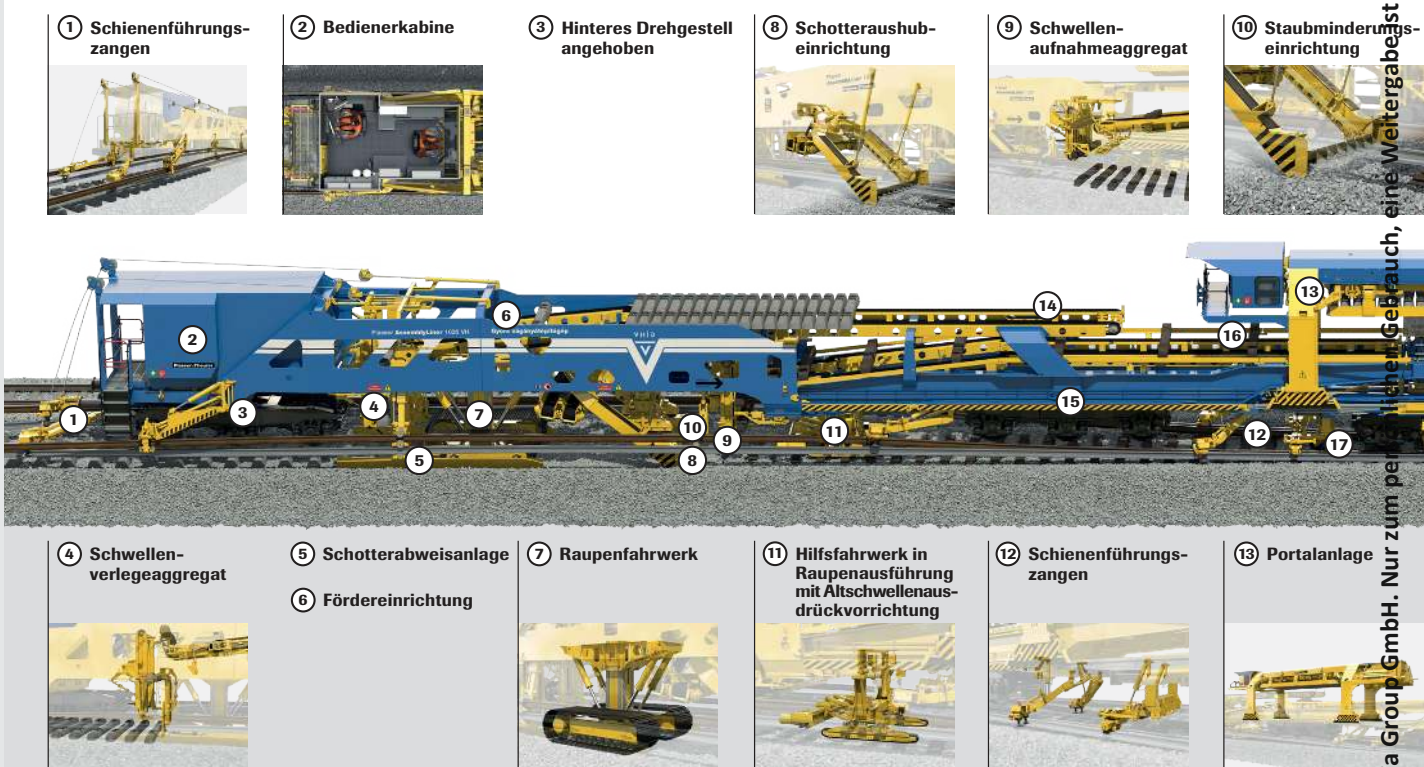
aufnahme in zeitlichem Abstand „Sicherheitsstopfungen“.

Technisch sind diese Vor- und Nacharbeiten integraler Bestandteil des Gesamtverfahrens, da nur abgestimmtes Zusammenwirken mit dem eigentlichen Umbauprozess hohe Anfangsqualität, reduzierte Nacharbeit und dauerhaft stabile Gleislage ermöglicht. Um den Lebenszyklus eines neuen Gleises von Anfang an zu optimieren, haben Nacharbeiten wesentlichen Einfluss.

6. Praxisbeispiel Budapest

Als moderner Knotenpunkt im Herzen Mitteleuropas zwischen Wien und Belgrad wird die Bahninfrastruktur in Budapest mit umfangreichen Investitionen modernisiert. Eine Herausforderung dabei ist es, vorhandene Infrastruktur wie traditionsreiche Bahnhöfe oder Brücken zur Donauquerung mit neuen Anlagen zu kombinieren und bedarfsgerecht zu modernisieren.

Die Kapazitätserweiterungen der Südringbahn im Bahnabschnitt Budapest-Kelenföld – Ferencváros sollen zu einer deutlichen Entlastung der Straßen führen. MÁV



3: Fließbandverfahren für drei unterschiedliche Arbeitsmodi: Umbau, Rückbau und Neubau



4: Ungarn bildet einen wichtigen überregionalen Bahnknoten. Modernisierungen der Bahninfrastruktur wie am Südring in Budapest entlasten auch die Straße und erweitern durch neue Stationen und mehr Züge das Mobilitätsangebot

bezieht das Potenzial mit bis zu 60.000 weniger Autofahrten pro Tag. Hinzu kommt ein dichteres Angebot für Vorortlinien mit bis zu zwölf Zügen pro Stunde. [4]

Die Maßnahmen schließen zunächst den Rückbau bestehender Gleise ein. An den zukünftigen Haltepunkten Közvágóhíd und Nádorkert errichtet Auftragnehmer V-Híd neue Stationen mit Bahnsteigen, Dächern und Lärmschutzmaßnahmen.

Gleisanlagen werden in angepasster Streckenführung verlegt und erweitert. [5]

Umfassende Bauvorhaben wie in Budapest fordern viel Flexibilität des eingesetzten Bauverfahrens. Hindernisse wie feste Einbauten in Form von Bahnsteigen schränken die Arbeitsbreite ein. Werden Gleisanlagen zurückgebaut, müssen große Massen sicher und ohne Stillstände abtransportiert werden.

Zentrales Ziel ist, den Rückbau so zu organisieren, dass Auswirkungen auf das Umfeld so gering wie möglich gehalten werden und der Verkehr am Nachbargleis weiterlaufen kann. Fließbandverfahren bilden die Logistik im Baugleis ab. Ein besonderer Vorteil ist, wenn sie an derartige Bedingungen anpassungsfähig sind und alternative Arbeitsmodi ermöglichen.

7. Rückbau als alternativer Arbeitsmodus

Im Arbeitsmodus „Rückbau“ wird ein bestehender Gleisrost in einem prozesslogisch umgekehrten Ablauf zum Gleisneubau entfernt. Nach dem Lösen der Schienenbefestigungen – wenige Spurhalter verbleiben zur Sicherung des Gleisrostes – werden die Altschienen getrennt, aufgenommen und seitlich abgelegt beziehungsweise für den weiteren Abtransport vorbereitet. Anschließend werden die Altschwellen durch das Maschinensystem aufgenommen. Über Portalanlagen werden sie in Arbeitsrichtung nach vorne auf Schwellentransportwagen verladen und aus dem Baustellenbereich abgeführt.





5: Plasser AssemblyLiner 1020 bei Gleisrückbau in Budapest im Frühjahr 2026

Der Rückbau kann damit kontinuierlich erfolgen, mit klar definierten Materialströmen der Oberbaukomponenten. Technisch entscheidend ist die systemintegrierte Logistik, da Ausbau, Übergabe und Abtransport der Komponenten innerhalb eines abgestimmten Maschinen- und Wagenverbands abgewickelt werden. Dadurch lassen sich Personalaufwand im Gefahrenbereich, Schnittstellen zwischen einzelnen Arbeitsgängen sowie Sperrzeitbedarf gegenüber konventionellen Verfahren reduzieren. Neben dem Arbeitsmodus Rückbau bietet der Plasser AssemblyLiner auch den Modus Neuverlegung, um Schwellen und Schienen auf Abschnitten ohne bestehenden Gleisrost zu verlegen. Diese Arbeitsweise kommt in Frage, wenn Gleise im Zuge einer neuen Trassierung zunächst entfernt und später wieder in angepasster Streckenführung verlegt werden müssen, ähnlich wie im zuvor genannten Fallbeispiel in Budapest.

8. Fazit

Die Öffnung der Bahninfrastruktur für private EVU führt im Baustellenmanagement vor allem zu stärkerer Optimierung von Sperrpausen und größerem Druck zu kapazitätsschonenden Bauverfahren. Das Fließbandverfahren ist die beste Wahl, wenn auf stark belasteten Strecken große Abschnitte in kurzen Sperrzeiten mit möglichst wenig

Störung des laufenden Verkehrs umgebaut werden sollen. Häufig wird dennoch zu konventionellen Lösungen wie Kran, Lkw und Zweiwege-Bagger gegriffen, weil sie vermeintlich mehr Flexibilität bieten. Besonders Bahnhofsumbauten oder Neutrasseierungen laufen üblicherweise in mehreren Phasen ab und weisen Hindernisse auf. Wie dennoch die Stärken von Fließbandverfahren genutzt werden können, macht das Beispiel aus Budapest deutlich. Ein Schlüssel liegt darin, ein Verfahren zu wählen, das mehrere Arbeitsmodi beherrscht und damit anpassungsfähig ist.

Literatur

- [1] Directorate-General for Mobility and Transport. (2025, November 19). transport.ec.europa.eu. (E. Union, Editor) Retrieved 03 31, 2026, from <https://transport.ec.europa.eu/news-events/news/commission-welcomes-political-agreement-new-rules-optimize-use-rail-capacity-2025-11-19>
- [2] Hüper, A., Tesch, H., Uhlenhut, A. (2023, 03). „Kapazitätsschonender Gleisumbau – wirtschaftlich, umweltverträglich und kundenfreundlich“. ETR - Eisenbahntechnische Rundschau.
- [3] Lieberenz, K., Klügel, S. (2017, 05). Nachhaltigkeit und Ökologie. ETR - Eisenbahntechnische Rundschau.
- [4] MÁV-Gruppe. (2026, 04 13). mavcsoport. Retrieved from <https://www.mavcsoport.hu/mavinform/uj-utem-mel-folytatodik-deli-korvasut-fejlesztese-ezert-aprilis-7-tol-ujabb-valtozasok>

[5] Ministerium für Bau und Verkehr. (2026, 04 13).

Beruházás. Retrieved from <https://beruhazas.gov.hu/projektek/budapest-kelenfold-ferencvaros-vasutvo-nalszakasz-kapacitasbovitesenek-epitesi-munkai-deli-korvasut-ii-utem/45547>

[6] Stock, R. (2025, September). Der Schienenlebenszyklus im Fahrweg – eine Ende-zu-Ende-Analyse. ETR - Eisenbahntechnische Rundschau.

Summary

Building tracks using the assembly-line method to increase track capacity

The opening up of the rail infrastructure to private rail operators has led, in particular, to greater optimisation of track closure periods and increased pressure to adopt construction methods that minimise disruption to capacity. The assembly-line method is the best choice when large sections of heavily used lines need to be rebuilt during short closure periods with as little disruption to ongoing traffic as possible. Nevertheless, conventional solutions such as cranes, lorries and road-rail excavators are often used because at first glance, it seems they offer greater flexibility. Station refurbishments or route realignments, in particular, usually take place in several phases and present obstacles. The example from Budapest clearly illustrates how the strengths of the assembly-line method can nevertheless be utilised. A key factor lies in choosing a method that can handle multiple working modes and is therefore adaptable.

NATURE-DEMO: Naturbasierte Lösungen für eine klimaresiliente Schieneninfrastruktur

Der Klimawandel erhöht die Belastung der Schieneninfrastruktur durch Hitze, Überflutungen und Böschungsinstabilität. Das EU-Projekt NATURE-DEMO untersucht, wie naturbasierte Lösungen als Ergänzung konventioneller Ingenieurbauweisen zur Erhöhung der Resilienz der Schieneninfrastruktur eingesetzt werden können.

1. Einleitung

Die Auswirkungen klimabedingter Extremereignisse auf die Schieneninfrastruktur nehmen in Europa spürbar zu [1]. Hitzeperioden, lang anhaltende Trockenheit und Starkregenereignisse führen zunehmend zu betrieblichen Einschränkungen sowie zu erhöhtem Instandhaltungsaufwand.

Konventionelle technische Maßnahmen stellen etablierte Lösungen dar, stoßen jedoch unter sich verändernden Rahmenbedingungen an ihre Grenzen. Neben steigenden Bau- und Instandhaltungskosten zeigen sich zudem Grenzen bei

der Anpassung an veränderte klimatische Bedingungen sowie bei der ökologischen Verträglichkeit.

Naturbasierte Lösungen bieten hier einen ergänzenden Ansatz, indem sie technische Funktionen mit ökologischen Prozessen kombinieren [2]. Vegetationsbasierte Maßnahmen können beispielsweise zur Stabilisierung von Böschungen beitragen und zugleich zusätzliche Ökosystemleistungen bereitstellen [3]. Trotz dieses Potenzials ist ihre Anwendung im Schienenbereich bislang nur begrenzt etabliert, sodass weiterer Erprobungs- und Bewertungsbedarf besteht [4, 5].



Shahriar Mohammadzadeh

Wissenschaftlicher Referent
Fachbereich Klimaschutz, Umwelt und Nachhaltigkeit

Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahn-Bundesamt (DZSF), Dresden

Mitarbeiter im Projekt NATURE-DEMO

MohammadzadehS@dzsf.bund.de



Dr. Lars Symmank

Wissenschaftlicher Referent
Fachbereich Klimaschutz, Umwelt und Nachhaltigkeit

Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahn-Bundesamt (DZSF), Dresden

Projektleiter NATURE-DEMO am DZSF

SymmankL@dzsf.bund.de

1: Beispiel eines Nbs-Steckbriefs für eine begrünte Holzstützwand
Quelle: NATURE-DEMO [7]

2: Strukturierte Darstellung von Funktionen und Eigenschaften einer begrünten Holzstützwand
Quelle: NATURE-DEMO [7]

Im Unterschied zu rein technischen Lösungen entwickeln naturbasierte Maßnahmen ihre Wirkung mit der Zeit und passen sich an standortspezifische Bedingungen an.



3: Konventionelle Böschungssicherung (graue Infrastruktur) Quelle: KI-generiert



4: Begrünte Holzstützwand in der Anfangsphase Quelle: KI-generiert

2. NATURE-DEMO im Kontext der Schieneninfrastruktur

Im Horizon Europe-Projekt NATURE-DEMO untersuchen 23 Partner aus europäischen Ländern, wie naturbasierte Lösungen zur Anpassung kritischer Infrastrukturen an klimabedingte Risiken in Europa beitragen können [6]. Im Fokus stehen insbesondere lineare Infrastrukturen wie Straßen und Schienenwege, die aufgrund ihrer räumlichen Ausdehnung und funktionalen Anforderungen für Extremwetterereignisse besonders anfällig sind.

Im Schienenbereich bestehen spezifische Anforderungen an Sicherheit, Verfügbarkeit und Regelkonformität. Gleichzeitig ergeben sich für die Infrastruktur vielfältige Schnittstellen zu natürlichen Systemen, etwa bei Böschungen oder Entwässerungsanlagen. Diese Bereiche bieten Potenziale für den gezielten Einsatz naturbasierter Maßnahmen, beispielsweise zur Hangsicherung, Kühlung oder zur Verbesserung des Wasserhaushalts.

NATURE-DEMO verfolgt einen anwendungsorientierten Ansatz, bei dem naturbasierte Lösungen mit bestehenden technischen Systemen kombiniert werden. Ziel ist es, Entscheidungsgrundlagen für Infrastrukturbetreiber zu schaffen, die technische und ökologische Kriterien berücksichtigen. Hierzu werden Daten zu Gefährdungen, Exposition und Schadensanfälligkeit mit Informationen zu geeigneten Schutzmaßnahmen verknüpft.

Das Deutsche Zentrum für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahn-Bundesamt (DZSF) untersucht die Übertragung dieser Ansätze auf den

Schienenbereich und bewertet deren praktische Anwendbarkeit.

3. Aktueller Projektstand und Ergebnisse

Seit dem Projektstart im Jahr 2024 liegt ein wesentlicher Arbeitsschwerpunkt auf der Entwicklung eines strukturierten Katalogs naturbasierter Lösungen für verschiedene Infrastrukturanwendungen. Dieser bündelt Informationen zu relevanten Eigenschaften, Funktionen, Einsatzbereichen und potenziellen Zusatznutzen sowie zugehörigen ökonomischen Aspekten und Kosten-Nutzen-Überlegungen verschiedener Maßnahmen [7]. Die standardisierte Darstellung in Form von Steckbriefen (Abb. 1

und 2) erleichtert die vergleichbare Bewertung und unterstützt ihre Einordnung in Planungs- und Entscheidungsprozesse.

Parallel dazu entsteht eine digitale Entscheidungsunterstützung, in welche die im Katalog strukturierten Informationen und die zugrunde liegende Methodik integriert werden. Gleichzeitig führt sie Informationen zu Gefährdungen, Exposition, Schadensanfälligkeit sowie infrastrukturspezifische Daten zusammen. Dadurch sollen standortbezogene Risiken bewertet und geeignete Maßnahmen nachvollziehbar priorisiert werden.

Ein weiterer Fokus liegt auf der praktischen Erprobung naturbasierter Lösungen an Demonstrationsstandorten in mehre-



5: Begrünte Holzstützwand nach Etablierung der Vegetation

Quelle: KI-generiert

ren europäischen Ländern. Dabei werden standortspezifische Risiken, etwa Erosion, Überflutungen oder Hitze, unter realen klimatischen und infrastrukturellen Bedingungen untersucht. Zum Einsatz kommen Vor-Ort-Erhebungen, sensorbasierte Messungen sowie Fernerkundungsdaten.

Außerdem werden Ansätze entwickelt, um die gewonnenen Erkenntnisse auf weitere Regionen und Infrastrukturen zu übertragen und die Anwendung naturbasierter Lösungen über einzelne Pilotvorhaben hinaus zu erleichtern.

4. Praxisbeispiel: Begrünte Holzstützwand

Ein konkretes Anwendungsbeispiel für naturbasierte Lösungen im Bereich der Schieneninfrastruktur ist die Verwendung begrünter Holzstützwände zur Stabilisierung von Böschungen. Diese Bauweise kombiniert konstruktive Holzelemente mit Vegetation und ermöglicht dadurch eine funktionale Sicherung von Hängen bei gleichzeitiger Stärkung ökologischer Funktionen.

Im Vergleich zu konventionellen technischen Sicherungsmaßnahmen (Abb. 3) basieren solche Systeme nicht ausschließlich auf statischen Eigenschaften, sondern entwickeln ihre Funktionalität im Zeitverlauf weiter.

In der Anfangsphase übernimmt die konstruktive Struktur der Holzstützwand die primäre Stabilisierungsfunktion (Abb. 4). Mit fortschreitender Entwicklung übernehmen zunehmend Pflanzen die Stabilisierungsleistung. Die Durchwurzelung des Bodens trägt langfristig zur Sicherung der Böschung bei und wirkt sich positiv auf den Wasserhaushalt im Böschungsbereich aus (Abb. 5).

5. Vergleich: Graue und naturbasierte Lösungen

Konventionelle Sicherungsmaßnahmen gehen häufig mit einem hohen Materi-

al- und Instandhaltungsaufwand einher und verursachen bei Produktion und Bau Treibhausgasemissionen. Im Gegensatz dazu fallen diese bei naturbasierten Lösungen aufgrund der verwendeten natürlichen Baustoffe (z. B. Holz) deutlich geringer aus. Zusätzlich binden die eingesetzten Pflanzen CO₂ in Form von Biomasse und schaffen zugleich neue Lebensräume und Nahrungsquellen für verschiedene Tierarten [8].

Für den Schienenbereich ergibt sich daraus ein erhebliches Potenzial für eine nachhaltigere Entwicklung der Infrastruktur [4]. Voraussetzung bleibt eine standortspezifische Bewertung unter Berücksichtigung technischer Anforderungen. Naturbasierte Lösungen können insbesondere dort einen Mehrwert bieten, wo neben der Sicherungsfunktion auch Aspekte der Anpassungsfähigkeit und Klimabilanz relevant sind.

6. Ausblick für die Anwendung im Bahnsektor

Die Integration naturbasierter Lösungen in die Schieneninfrastruktur steht noch am Anfang und erfordert eine systematische Weiterentwicklung von Planungs- und Bewertungsansätzen [4, 5]. Insbesondere fehlen umfassende Erfahrungswerte sowie standardisierte Verfahren zur Beurteilung der technischen Eignung und langfristigen Wirksamkeit unter realen Betriebsbedingungen.

Bis 2028 möchte das Projekt NATURE-DEMO dazu beitragen, diese Wissenslücken zu schließen, indem naturbasierte Lösungen unter unterschiedlichen Rahmenbedingungen untersucht und ihre Anwendbarkeit im Infrastrukturbereich bewertet werden [6]. Die gewonnenen Erkenntnisse sollen eine stärkere Berücksichtigung solcher Maßnahmen in Planung und Betrieb ermöglichen.

Für den Bahnsektor ergibt sich daraus die Perspektive, naturbasierte Lösungen gezielt als ergänzendes Instrument in bestehende Prozesse zu integrieren. Dies kann dazu beitragen, die Resilienz der Schieneninfrastruktur gegenüber klimabedingten Einwirkungen zu stärken und deren Nachhaltigkeit zu fördern.

Weitere Informationen zum Projekt NATURE-DEMO sind unter www.nature-demo.eu verfügbar.

DOI 10.61067/260833

Literatur

- [1] Szymczak, S., Backendorf, F., Blauhut, V., Bott, F., Fricke, K., Herrmann, C., Klippel, L., Walter, A.: Heat and drought induced impacts on the German railway network. *Transportation Research Procedia* 72, 696–703 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.11.457>.
- [2] Blackwood, L., Renaud, F.G., Gillespie, S.: Nature-based solutions as climate change adaptation measures for rail infrastructure. *Nature-Based Solutions* 2, 100013 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2022.100013>.
- [3] Capobianco, V., Palau, R.M., Solheim, A., Gislén, K., Gilbert, G., Danielsson, P., van der Keur, P.: The potential use of nature-based solutions as natural hazard mitigation measures for linear infrastructure in the Nordic countries. *Geoenvironmental Disasters* 11, 27 (2024). <https://doi.org/10.1186/s40677-024-00287-4>.
- [4] Blackwood, L., Renaud, F.G.: Barriers and tools for implementing nature-based solutions for rail climate change adaptation. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 113, 103529 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103529>.
- [5] Blackwood, L.: A framework for the successful application of nature-based solutions for climate change adaptation on rail infrastructure developed through the examination of two case studies. *Nature-Based Solutions* 5, 100126 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2024.100126>.
- [6] NATURE-DEMO Project: Nature-based Solutions Demonstrations for Climate Resilient Critical Infrastructure. Horizon Europe, Grant Agreement No. 101157448. Available at: <https://nature-demo.eu/> (Zugriff: 08.04.2026, 15:30 Uhr MEZ).
- [7] NATURE-DEMO Consortium: Deliverable 1.1 – Catalogue of suitable NbS for climate-resilient infrastructure. Horizon Europe Grant 101157448, Zenodo (2025). <https://doi.org/10.5281/zenodo.18812283>.
- [8] Mohammadzadeh, S., Scholz, T., Symmank, L.: Bridging Ecology and Infrastructure: Evaluating the Integrated Benefits of Nature-based Solutions. *ce/papers* 8 (2025), H. 5, S. 134–141. <https://doi.org/10.1002/cepa.3390>.

Summary

NATURE-DEMO: Nature-based solutions for a climate-resilient rail infrastructure

Nature-based solutions (NbS) can complement conventional engineering to improve the climate resilience of railway infrastructure. The Horizon Europe project NATURE-DEMO develops a structured NbS catalogue, digital decision-support tools and demonstration cases. This article outlines current results and illustrates their application using a vegetated timber retaining structure.

Gegenüber konventionellen Bauweisen haben naturbasierte Lösungen eine bessere CO₂-Bilanz, ökologische Mehrwerte und potenziell einen geringeren Instandhaltungsaufwand.

Resilienz – Definition für das System Bahn und Entwicklung einer Methodik zur Quantifizierung

Es wurde eine Methodik entwickelt, um Bahnsysteme systematisch im Hinblick auf ihre Resilienz zu untersuchen und im Folgeschritt gezielte Verbesserungen durch Ableitung wirksamer Maßnahmen vorzunehmen. So werden eine objektive Begründung und Entscheidungsfindung gefördert. Außerdem erlaubt der Ansatz Vergleiche zwischen unterschiedlichen Netzen und Betriebsmodellen als belastbare Grundlage für Benchmarking und Best-Practice-Analysen.



1. Ausgangslage und Motivation

Bahnsysteme werden regelmäßig durch Ereignisse herausgefordert, die zu einer erheblichen Einschränkung ihrer Funktions- und Leistungsfähigkeit führen können. Die Auslöser hierfür umfassen unter anderem komplexe Bauzustände, Extremwetterlagen, Cyberrisiken oder physische Angriffe. Ein vollständiger Schutz vor solchen Ereignisfällen ist aufgrund der Vielzahl möglicher Auslöser und Angriffspunkte nicht realistisch, sodass es nicht ausreicht, nur präventive Maßnahmen zur Verhinderung zu ergreifen. Zusätzlich müssen Möglichkeiten geschaffen und Fähigkeiten erlernt werden, um Ereignisse aktiv zu bewältigen. Dadurch rücken verstärkt Ansätze in den Fokus, die zur Resilienzsteigerung im Bahnsystem beitragen.

Die volkswirtschaftliche Relevanz einschränkender Ereignisse lässt sich am besten durch Praxisbeispiele aufzeigen. Im Jahr 2017 wirkte sich die Havarie einer Tunnelbaustelle bei Rastatt auf die Rheintalbahnhof aus, was den nahezu vollständigen Ausfall eines zentralen europäischen Güterverkehrskorridors über mehrere Wochen bedeutete. Mangelnde internationale Koordination sowie fehlende Notfallkonzepte führten dazu, dass die theoretisch im Netz bereitstellbare Umleitungskapazität nur zu einem Teil tatsächlich genutzt werden konnte. Die resultierenden Wertschöpfungsverluste werden auf rund zwei Milliarden Euro geschätzt, der Großteil davon traf

Unternehmen der Bahnlogistik und ihre Kunden in der Wirtschaft [1]. Auch Schäden durch Extremwetterereignisse können enorme Ausmaße annehmen; allein für die vergangenen Jahre gehen sie europaweit in die Größenordnung mehrerer Milliarden Euro [2]. Werden derartige Ereignisse durch klimatische Veränderungen wahrscheinlicher, wächst auch das Schadenspotenzial zunehmend an.

Die Praxisbeispiele verdeutlichen, warum ein reiner Fokus auf die Leistungsfähigkeit im Regelbetrieb nicht ausreicht. Zukunftsfähige Bahnsysteme müssen auch unter veränderten Randbedingungen funktionsfähig bleiben, schnell auf die oben skizzierten Ereignisfälle reagieren und sich schließlich davon erholen können. Diese Fähigkeiten werden im Fachkontext als Resilienz bezeichnet und entwickeln sich zunehmend zu einem Schlüsselfaktor im Wettbewerb der Verkehrsträger.

Die Satzung des größten deutschen Eisenbahninfrastrukturbetreibers, der DB InfraGO AG, enthält im Rahmen der Gemeinwohlorientierung eine hohe Resilienz als Unternehmensziel, gemeinsam mit der Kapazität und der Qualität [3]. Die Bedeutung der Messung und Bewertung von Resilienz wird in Zukunft sowohl in Deutschland als auch in allen anderen Bahnsystemen weltweit steigen. Um eine belastbare Grundlage zur Quantifizierung der Resilienzsteigerung durch Maßnahmen zu schaffen, sind entsprechende Verfahren zu entwickeln. Aus diesen können zukünf-



Dipl.-Ing. Phillip Bradt
Projektingenieur
quattron GmbH
phillip.bradt@quattron.com



Fabian Schröter, M.Sc.
Projektingenieur
quattron GmbH
fabian.schroeter@quattron.com



Philipp Scherer, M.Sc.
Projektingenieur
quattron GmbH
philipp.scherer@quattron.com



Dr.-Ing. Thorsten Bükler
Geschäftsführender Partner
quattron GmbH
thorsten.bueker@quattron.com

tig auch Finanzierungsmechanismen für Maßnahmen abgeleitet werden.

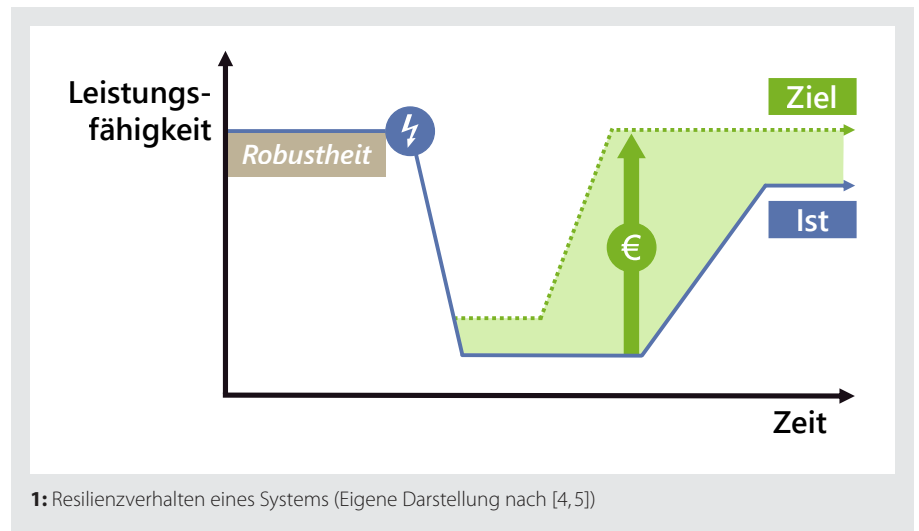
2. Grundlagen und begriffliche Abgrenzung

In der öffentlichen Debatte werden die Konzepte Robustheit und Resilienz teilweise vermischt. Für eine zielgerichtete Analyse und Ableitung von Maßnahmen in Bahnsystemen ist jedoch eine klare begriffliche Trennung erforderlich, da unterschiedliche Prioritäten und Ziele bestehen.

Robustheit beschreibt die Fähigkeit eines Systems, während des Betriebs auftretende Abweichungen von der Planung (oder sogar kleine Planungsfehler) in einem erwartbaren Ausmaß sowie kleine Störungen ohne signifikante Einschränkung der Leistungsfähigkeit zu verarbeiten. Dies erfolgt, indem die Eintrittswahrscheinlichkeit von Störungen oder deren unmittelbare Auswirkungen samt Fortpflanzung im System minimiert werden. Robustheit wirkt überwiegend präventiv, ein aktives Eingreifen ist nicht zwingend notwendig. Typische Instrumente zur Steigerung der Robustheit im Eisenbahnwesen sind Fahrzeitzuschläge und Pufferzeiten im Fahrplan, eine gewisse Redundanz von Anlagen oder Fahrzeugteilen, bauliche Sicherungen und standardisierte Betriebsabläufe.

Es gibt jedoch viele potenzielle Ereignisse, die nicht durch robuste Systemgestaltung abgefangen werden können und die zu einem Einbruch der Leistungsfähigkeit führen werden. In diesen Fällen gilt es, die Leistungsfähigkeit möglichst schnell zu stabilisieren und wiederherzustellen. Diese Fähigkeit wird als Resilienz bezeichnet. Das idealisierte Resilienzverhalten eines Systems und den Nutzen einer hohen Resilienz zeigt Abbildung 1.

Kleine Störungen und betriebliche Schwankungen können durch eine robuste Systemgestaltung abgefangen werden. Tritt ein Ereignis ein, welches einen Einbruch der Leistungsfähigkeit verursacht, werden aktive Eingriffe zur Wiederherstellung erforderlich und die Resilienz des Systems kommt zum Tragen. Resilient ausgestaltete Systeme sind in der Lage, Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit zu begrenzen sowie eine zügige Wiederherstellung eines stabilen Zustandes zu ermöglichen. Der Fokus der Konzepte Robustheit und Resilienz unterscheidet sich also. Gleichzeitig sind die Themen verwandt, sodass eine integrierte Betrachtung den größten Mehrwert bietet.



Eine Quantifizierung der Resilienz und eine Ableitung und Bewertung von Maßnahmen zur Steigerung der Resilienz sind mit diesen Grundlagen ohne die Betrachtung konkreter Ereignisfälle nicht möglich. Um eine davon unabhängige, allgemeine Betrachtung zu ermöglichen, wird als Ausgangspunkt zunächst eine vertiefte Definition der Resilienz vorgestellt.

3. Definition von Resilienz in Bahnsystemen

Aufbauend auf den beschriebenen Grundlagen wird eine prägnante, auf das Eisenbahnwesen und seine spezifischen Herausforderungen ausgerichtete Definition von Resilienz erarbeitet. Diese Definition ist in Abbildung 2 dargestellt. Sie enthält sechs Bestandteile, welche nachfolgend erläutert werden.

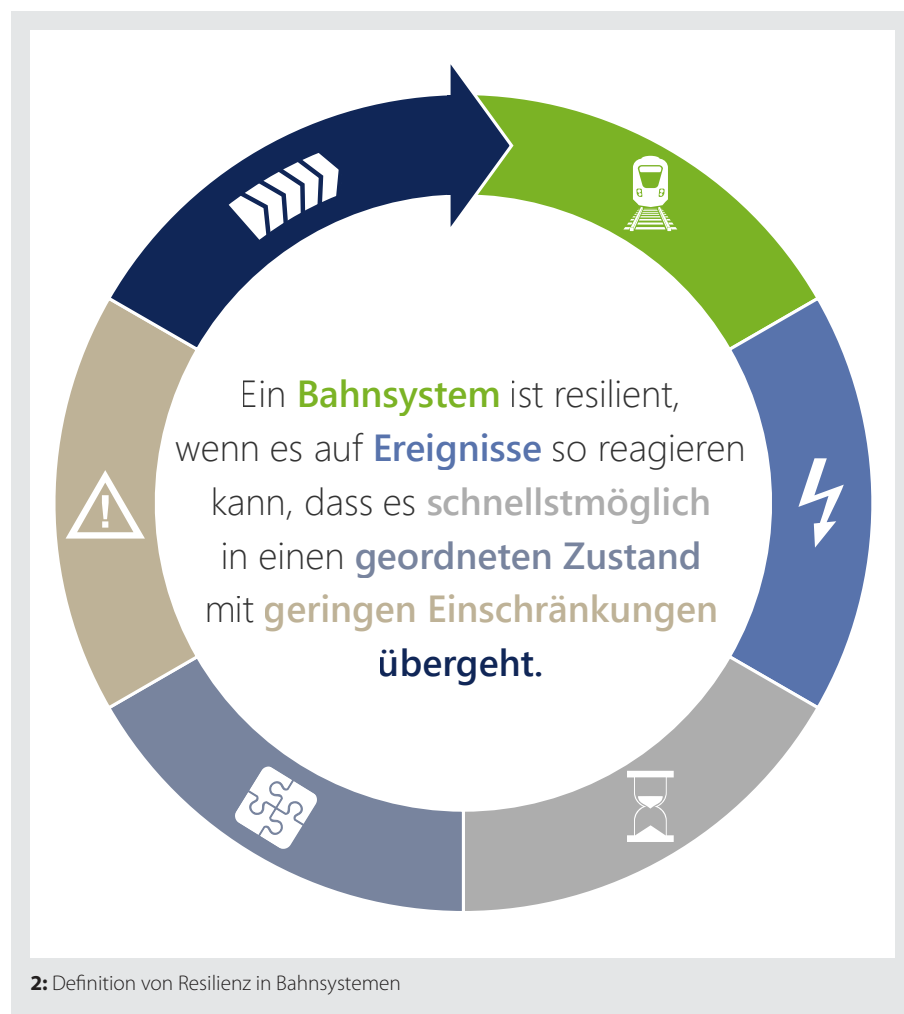
Das Bahnsystem wird für die Betrachtung der Resilienz in die Komponenten Infrastruktur, Fahrzeuge, Anlagen, Fahrplan, System- und Betriebssteuerung sowie Regelwerke und Prozesse unterteilt. Die sechs Komponenten werden zunächst als gleichwertig betrachtet und isoliert untersucht. Durch erhebliche Wechselwirkungen zwischen den Komponenten sind diese Betrachtungen am Ende der Untersuchung zusammenzuführen, um zielführende Ergebnisse zu erhalten. Steigerungen der Resilienz können durch Maßnahmen in einer oder in mehreren Komponenten erzielt werden.

Den Ausgangspunkt für einen Resilienzfalle stellt stets ein besonderes Ereignis dar, welches das Bahnsystem trifft und eine Einschränkung verursacht. Ereignisse können sowohl systemintern (z. B. technische Störungen) wie extern (z. B. Unwetter) auftreten.

Der Grad der Unvorhersehbarkeit variiert ebenfalls. Einige Ereignisse sind noch in gewissem Maße planbar (z. B. komplexe Bauzustände), auf den Großteil der Ereignisse trifft dies jedoch nicht zu. Wird eine flexible Reaktion des Systems erforderlich, sind Maßnahmen zu organisieren, welche schnellstmöglich umsetzbar sind und ihre Wirkung entfalten. Diese Maßnahmen sollen das System zurück in einen geordneten Zustand führen. Dabei kann es sich um den Ausgangszustand handeln oder um einen temporären, allgemein akzeptierten Ersatzzustand (z. B. Störfallkonzept). Dabei sollen den Akteuren im System möglichst geringe Einschränkungen kapazitiver, finanzieller, organisatorischer, ressourcenbedingter und zeitlicher Natur entstehen. Zur Wiederherstellung müssen ggf. Übergangsphasen durchlaufen werden. Lernprozesse und kontinuierliche Verbesserungen sind zentrale Elemente der Resilienz für das Eisenbahnwesen. Aus eingetretenen Ereignisfällen können Erkenntnisse gewonnen werden, wie das System noch besser auf zukünftige Ereignisse vorbereitet werden kann. Resilienz ist damit keine statische Systemeigenschaft, sondern ein dynamischer Prozess, der ständig weiterzuentwickeln ist.

4. Methodik zur Messung und Bewertung der Resilienz

Die erarbeitete Definition von Resilienz für das Eisenbahnwesen stellt die Basis für eine Methodik für die Quantifizierung und Bewertung von Resilienz und die Ableitung von resilienzsteigernden Maßnahmen dar. Ausgangspunkt hierfür ist die Einteilung des Bahnsystems in sechs Komponenten.



Je Komponente wurden verschiedene Messgrößen und Kennzahlen ermittelt, welche auf die Resilienz des Systems wirken. Während die Quantifizierbarkeit der Einflussgrößen für technische Parameter in der Regel gut umsetzbar ist, erfordern insbesondere organisatorische Faktoren pragmatische und teilweise qualitative Bewertungsansätze. Die Komponenten, ihr Einfluss auf die Resilienz und ausgewählte Einflussgrößen werden nachfolgend vorgestellt.

Die Gestaltung der betrieblichen Infrastruktur bestimmt maßgeblich die Flexibilität des Betriebs im Ereignisfall. Beispielsweise stiften redundante Weichenverbindungen und Abstellgleise im Regelbetrieb nur einen geringen Nutzen. Im Ereignisfall können sie jedoch eine signifikante Wirkung entfalten, insbesondere hinsichtlich des Herunterfahrens und Wiederanlaufens des Betriebs. Auch Überholgleise und Infrastruktur für den Gleiswechselbetrieb tragen dazu bei, Verkehrsströme unter Einschränkungen aufrechtzuerhalten.

Die Fahrzeuge in einem System beeinflussen dessen operative Reaktionsfähigkeit wesentlich. Homogene Fahrzeugflotten erleichtern etwa Disposition und Umlaufplanung. Hohe Transportkapazitäten von Fahrzeugen und schnelle Fahrgastwechsel unterstützen die Bewältigung von Nachfragespitzen, gerade auch im Ereignisfall. Komplexe Eisenbahnbetriebe mit zahlreichen verschiedenen Fahrzeugen und Eigenschaften müssen bei Vorfällen zusätzlich bedacht werden und erhöhen die Komplexität, bis das System wieder anlaufen kann.

Der Zustand und die Verfügbarkeit von Anlagen, darunter Leit- und Sicherungstechnik, Ingenieurbauwerke, Energieversorgung und Telekommunikation, wirken sich ebenfalls auf Handlungsoptionen im Ereignisfall und damit die Resilienz aus. Redundanzen im System sowie kurze Entstörzeiten tragen dazu bei, die Auswirkungen von technischen Störungen zu begrenzen.

Resiliente Fahrpläne zeichnen sich dadurch aus, dass sie im Ereignisfall einen ggf. reduzierten, dafür aber stabilen Betrieb

ermöglichen. Robustheitskomponenten wie Reserven vereinfachen dies, zentral sind definierte Ersatzkonzepte. Gleichzeitig soll der Fahrplan im Regelbetrieb möglichst effizient funktionieren und keine Kapazität verschwenden. Hierbei kann ein Zielkonflikt auftreten, für dessen Lösung verschiedene Interessen abzuwiegen sind. Analog zu den Fahrzeugen gilt, dass Komplexität und insbesondere eine Vielzahl unterschiedlicher Interessensträger im Ereignisfall zusätzliche Ressourcen binden und eine Entstörung des Systems verzögern.

Die Komponente der System- und Betriebssteuerung sorgt für die operative Umsetzung von Ersatzkonzepten. Entscheidenden Einfluss darauf nehmen qualifiziertes Personal, klare Entscheidungsstrukturen und die Verfügbarkeit geeigneter Steuerungsinstrumente. Insbesondere das Fehlen von wirkungsvollen Ersatzkonzepten hat negative Folgen auf andere Komponenten, selbst wenn diese resilient gestaltet sind.

Regelwerke und Prozesse wirken ebenfalls auf die Resilienz eines Systems. Regelwerke definieren Handlungsspielräume und Entscheidungslogiken im Ereignisfall. Klare Prozesse und (ggf. vordefinierte) eingeübte Abläufe ermöglichen schnelle Reaktionen und sichern die konsequente Umsetzung geplanter Maßnahmen. Durch mangelhafte Prozesse wird im Gegenzug die Möglichkeit gehemmt, eine hohe Resilienz der anderen Komponenten umzusetzen.

Hinsichtlich des Ansatzes der Einteilung in Komponenten ist hervorzuheben, dass diese in Wechselwirkung stehen und sich gegenseitig beeinflussen. Nur durch eine geeignete Abstimmung der einzelnen Komponenten aufeinander entstehen gesamthaft resiliente Systeme. Außerdem kann die Relevanz von Komponenten oder von einzelnen Einflussgrößen von der Zielsetzung der Untersuchung abhängen (z. B. allgemeines Benchmarking, Schwachstellenanalyse eines Verkehrsunternehmens oder Maßnahmenbewertung eines Infrastrukturbetreibers). Die Methodik ist daher nicht als starrer Rahmen zu verstehen, sondern kann als flexibles Werkzeug an besondere Anforderungen angepasst werden.

5. Anwendbarkeit der Methodik

Der entwickelte methodische Ansatz zielt darauf ab, die Resilienz von Eisenbahnsystemen strukturiert zu analysieren und gezielt weiterzuentwickeln. Dies erfolgt

über eine systematische Identifikation von Schwachstellen sowie die Ableitung wirksamer Maßnahmen in einem Gesamtsystemkontext. Darüber hinaus ermöglicht der Ansatz eine gezielte Priorisierung verschiedener Maßnahmen.

Ein Vorteil des Ansatzes liegt in seiner Übertragbarkeit auf unterschiedliche Märkte und Systeme. Durch die einheitliche Strukturierung der Einflussgrößen und ihrer Bewertung wird es möglich, internationale Vergleiche durchzuführen und die Resilienz verschiedener Netze und Betriebsmodelle systematisch gegenüberzustellen. Dies schafft eine fundierte Grundlage für Benchmarking und Best-Practice-Analysen.

Vor dem Hintergrund knapper finanzieller, personeller und infrastruktureller Kapazitäten unterstützt die Methodik auch dabei, Ressourcen dort einzusetzen, wo sie den größten Beitrag zur Erhöhung der Resilienz leisten. Damit wird ein Übergang von intuitiven zu systematisch begründbaren Entscheidungen ermöglicht.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Strategien zur Erhöhung der Resilienz stellen einen entscheidenden Erfolgsfaktor für zuverlässige und leistungsfähige Bahnsysteme und damit auch die zukünftige Wettbewerbsfähigkeit des Verkehrsträgers Schiene dar.

Ein zentrales Element des Resilienz-begriffs, welches ihn entscheidend von etablierten Konzepten wie der Robustheit abgrenzt, besteht in der Reaktionsfähigkeit des Systems auf unvorhersehbare Ereignisse.

Die vorgestellte Methodik zur Quantifizierung und Messung von Resilienz zeigt, dass Resilienz durch das Zusammenspiel aller Systemkomponenten entsteht. Als zentrale Komponenten wurden in diesem Zusammenhang die Infrastrukturgestaltung, die Fahrzeuge, der Fahrplan, die Anlagen, die System- und Betriebssteuerung sowie die Regelwerke und Prozesse identifiziert. Der methodische Ansatz schafft eine belastbare Grundlage, um Resilienz quantitativ zu bewerten. Darauf aufbauend können zielgerichtete Maßnahmen entwickelt werden, deren Wirkung systematisch nachweisbar ist.

Durch eine Kombination aus Analyse, Planung und kontinuierlichem Lernen/Trainieren lassen sich gezielte Verbesserungen der Resilienz vornehmen und das Systemverhalten in Ereignisfällen steuern. Die Definition und die entwickelte Methodik unterstützen so verschiedenste Akteure im System dabei, gezieltere Entscheidungen zu treffen und die Resilienz in ihrem Verantwortungsbereich und damit im gesamten System zu steigern.

Literatur

- [1] Hanseatic Transport Consultancy: „Volkswirtschaftliche Schäden aus dem Rastatt-Unterbruch - Folgenabschätzung für die schienenbasierte Supply-Chain entlang des Rhine-Alpine Corridor 2017“, 2018. Verfügbar unter: https://erfail.eu/uploads/2018_April%20Studie-1524476846.pdf [Zugriff am 22.05.2026].
- [2] European Union Agency for Railways: „Rail Resilience to Climate Change - Impact of extreme weather events on the European railway system“, 2026. Verfügbar unter: <https://www.era.europa.eu/content/rail-resilience-climate-change#oe-content-paragraph-5541> [Zugriff am 22.05.2026].
- [3] Satzung der DB InfraGO Aktiengesellschaft (Fassung vom 14.05.2025), 2025.
- [4] Knoester, M.; Bešinović, N.; Afghari, A.P.; Goverde, R.M.P.; van Egmond, J.: „A data-driven approach for quantifying the resilience of railway networks“ – In: Transportation Research Part A 179 (2024).
- [5] Bešinović, N.: „Resilience in railway transport systems: a literature review and research agenda“ – In: Transport Reviews 40 (2020) 4.

Summary

Resilience – Definition for the railway system and development of a methodology for quantification

A methodology has been developed to systematically assess railway systems in terms of their resilience and, in a subsequent step, to implement targeted improvements by identifying effective measures. This promotes objective justification and decision-making. Furthermore, the approach allows for comparisons between different networks and operating models, providing a robust basis for benchmarking and best-practice analyses.

Your Stage. Your Pitch. Your Career.

EURAILPRESS CAREER BOOST AUF DER INNOTRANS 2026

Jobsuchende pitchten sich selbst in 90 Sekunden gegenüber Recruitern - It's a match!

Eurailpress
Career Boost
2026

23. September 2026
14.00 – 16.00 Uhr

Recruiting LAB
InnoTrans Campus
Halle 21E



Jetzt bewerben:
www.eurailpress.de/careerboost26



Analyse extremer Wetterereignisse im Schienenverkehr mittels mikroskopischer Simulation

Die zunehmende Häufigkeit extremer Wetterereignisse wie Starkregen oder Überschwemmungen stellt den Schienenverkehr vor wachsende Herausforderungen. Diese Ereignisse beeinträchtigen Infrastruktur und Betriebsabläufe, führen zu Verspätungen und gefährden die Zuverlässigkeit des Bahnbetriebs. Dieser Artikel stellt eine simulationsbasierte Bewertungsmethode vor, um deren Auswirkungen zu ermitteln.



1. Einleitung und Motivation

Die zunehmende Häufigkeit und Intensität von Extremwetterereignissen stellen das deutsche Schienennetz vor erhebliche Herausforderungen. Insbesondere Starkregen, Überschwemmungen, Stürme oder extreme Hitze beeinträchtigen die Infrastruktur und den Betriebsablauf. In Folge kommt es zu Verzögerungen und Ausfällen im Bahnbetrieb. Die daraus resultierenden Störungen gefährden nicht nur die Pünktlichkeit, sondern auch die Zuverlässigkeit und Sicherheit des Schienenverkehrs (und damit auch der transportierten Fahrgäste und Güter). Dies führt zur Notwendigkeit, die bahnbetriebliche Wirkung dieser Ereignisse bewerten zu können, um deren Einfluss so gering wie möglich zu halten und effektive Anpassungs- und Resilienzstrategien zu entwickeln. Der Einsatz mikroskopischer Eisenbahnbetriebssimulationen, wie sie im

Rahmen dieser Untersuchung mit SUMO erfolgt, ermöglicht dabei eine realitätsnahe Abbildung der Betriebsabläufe unter Störungsbedingungen. Anhand eines Anwendungsfalls im nordwestdeutschen Schienennetz werden die Auswirkungen extremer Wetterereignisse auf Verspätungen und Pünktlichkeit quantitativ erfasst und daraus Handlungsempfehlungen für gezielte Gegenmaßnahmen abgeleitet.

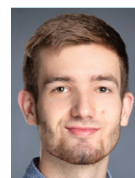
2. Theoretischer Hintergrund zur Bewertung von Extremwetterereignissen

Die Auswirkungen extremer Wetterereignisse auf den Schienenverkehr sind Gegenstand mehrerer wissenschaftlicher Untersuchungen und Studien, die unterschiedliche methodische Ansätze und regionale Schwerpunkte aufweisen. Dabei zeigt sich ein übergreifendes Bild, demnach extreme Wetterbedingungen wie hohe Temperaturen, Starkregen und Überschwemmungen signifikante Verzögerungen im Bahnverkehr verursachen können. [1] analysieren etwa am Beispiel des Londoner U-Bahn-Netzes, wie extreme Hitze zu Infrastrukturversagen durch Gleisbuckelungen führt, was die Pünktlichkeit stark beeinträchtigt. Ähnlich zeigen [2], dass der Klimawandel die Risiken für den Bahnbetrieb generell erhöht, insbesondere durch häufigere Überschwemmungen und veränderte Niederschlagsmuster. Beide Quellen zeigen einerseits die Relevanz einer detaillierten Analyse klimabedingter



Jakob Geischberger

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Institut für Verkehrssystemtechnik, Gruppenleiter Bahnbetrieb
jakob.geischberger@dlr.de



Maximilian Held

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Institut für Verkehrssystemtechnik, Wissenschaftlicher Mitarbeiter
maximilian.held@dlr.de



Dr.-Ing. Christian Meirich

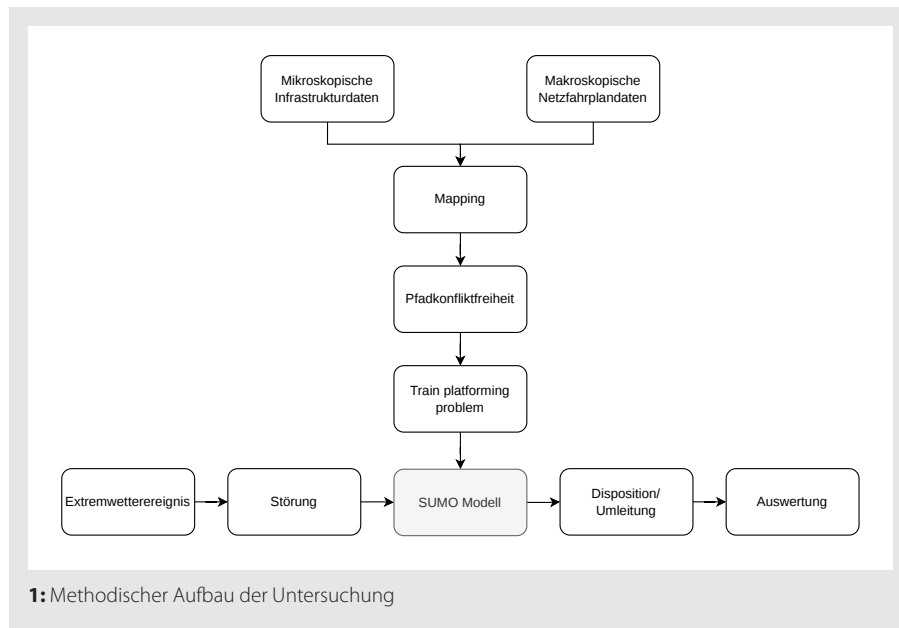
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Institut für Verkehrssystemtechnik, Abteilungsleitung Digitalisierter Schienenverkehr und -betrieb
christian.meirich@dlr.de

Betriebsstörungen und andererseits die Dringlichkeit, darauf aufbauend Anpassungsmaßnahmen sowohl in der Bahninfrastruktur als auch in den entsprechenden Planungsmethoden zu entwickeln.

[3] untersuchen darüber hinaus die Pünktlichkeit von Personenzügen in Schweden und identifizieren Überschwemmungen als wesentlichen Faktor für Betriebsunterbrechungen. Die Studie verwendet dabei quantitative Analysen,

Die Untersuchung zeigt,
dass eine mikroskopische
Netzwerksimulation mit SUMO
die Abbildung der Auswirkungen
extremer Wetterereignisse auf den
Bahnbetrieb ermöglicht.





um die Auswirkungen von Extremwetter auf die Betriebsleistung zu bewerten. Ergänzend dazu zeigen [4] anhand einer mehrdimensionalen Bewertung regionaler Klimawandelauswirkungen auf Bahninfrastrukturen, dass sich Wetterextreme in verschiedenen geografischen Kontexten unterschiedlich auswirken. Dies erschwert die Übertragbarkeit von Ergebnissen und zeigt gleichzeitig den Nutzen regional angepasster Modelle auf.

Im weiter gefassten Bereich der Simulation von Verkehrssystemen präsentieren verschiedene Studien Methoden zur Bewertung der Auswirkungen extremer Wetterereignisse. [5] etwa analysieren städtische Infrastrukturnetze mittels Netzwerkmodellierung, um systemweite Verwundbarkeitsmuster durch Hochwasser und Starkregen zu identifizieren und die Resilienz kritischer Infrastrukturen gegenüber Wetterextremen zu untersuchen. Ein weiterer vergleichbarer Ansatz, der über die Bahndomäne hinaus geht, findet sich in [6]. Dort finden mikroskopische Verkehrsmodelle Anwendung, um die Folgen von Überschwemmungen auf den Straßenverkehr zu simulieren – eine methodische Parallele zur vorliegenden Analyse.

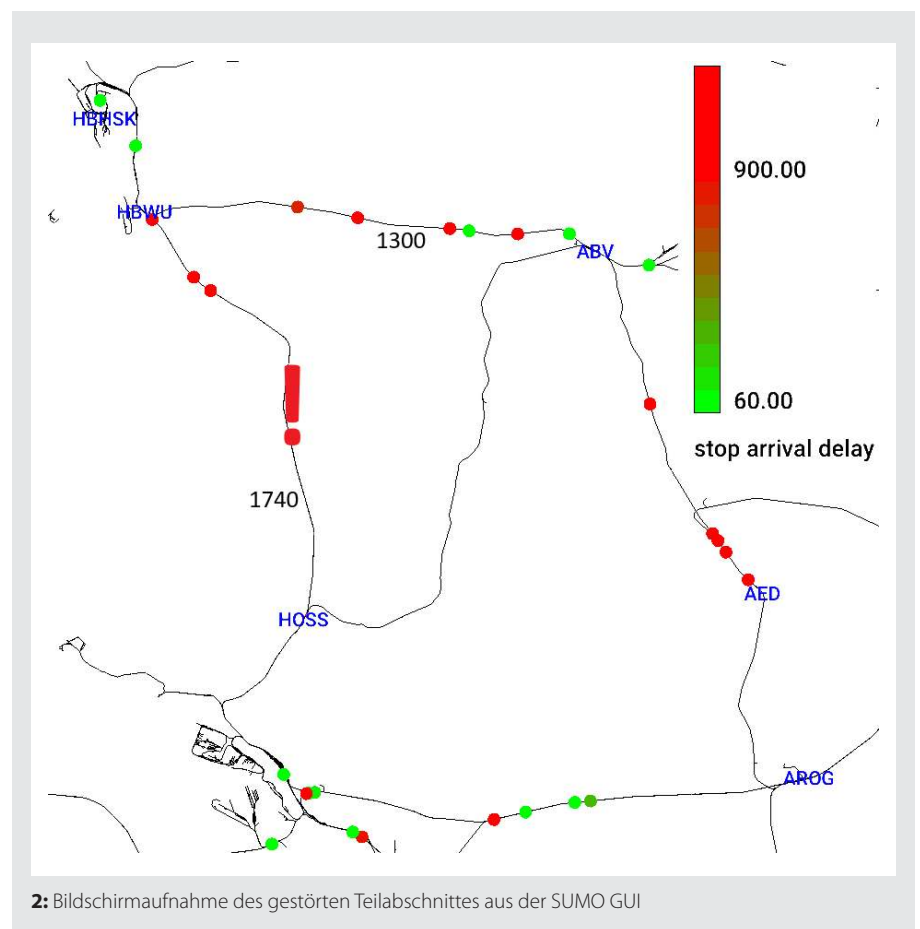
Über den expliziten Kontext von Extremwetterereignissen hinaus existieren mehrere Studien, die Simulationen zur Analyse von Störungen im Schienenverkehr einsetzen. [7] etwa nutzen agentenbasierte mikroskopische Simulationen, um die Dynamik von Betriebsstörungen in urbanen Schienennetzen abzubilden und Verzögerungen zu quantifizieren. De-

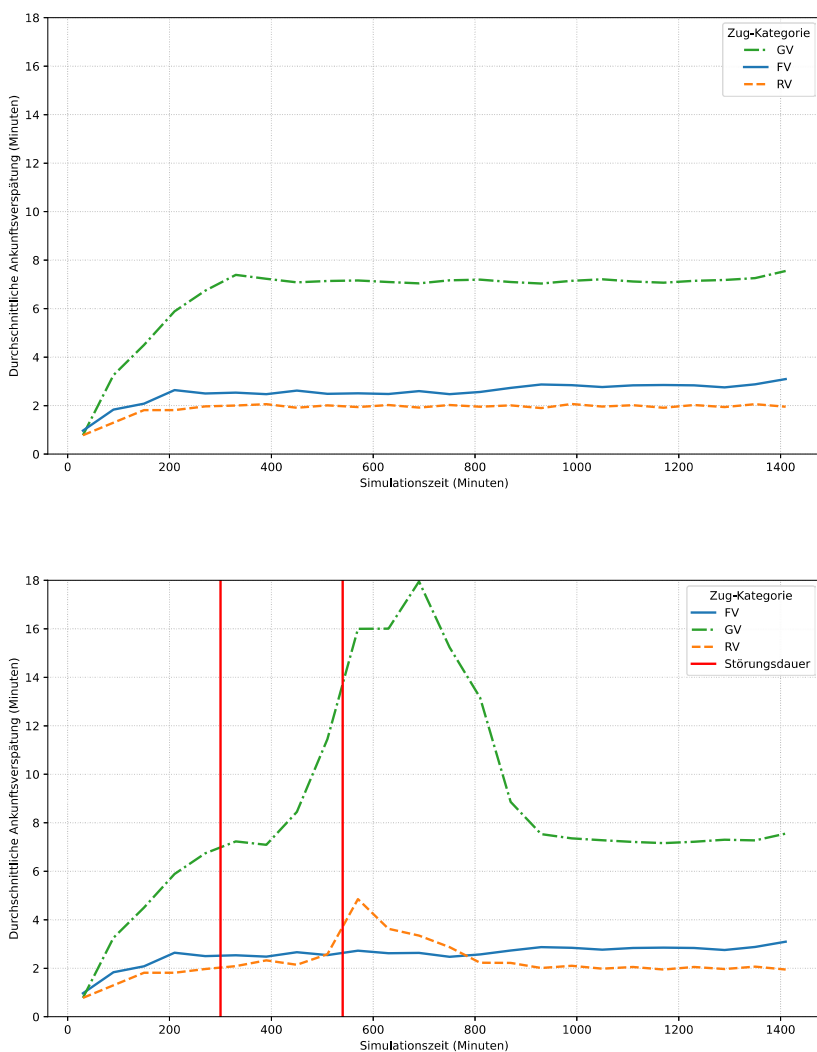
ren Methodik zeigt, wie Simulationen zur Bewertung von Rescheduling-Strategien und zur Minimierung von Störungsauswirkungen eingesetzt werden können. [8] demonstrieren in ihrer Arbeit zur Simulation interregionaler Bahnstörungen, dass die Charakteristika von Störfällen entschei-

dend für das Ausmaß der Verspätungen sind. Die durchgeführte quantitative Analyse liefert Erkenntnisse zur Verzögerungsdynamik, die gleichermaßen für wetterbedingte Störungen relevant sind.

[9] verdeutlicht darüber hinaus, dass die Wahrnehmung der Zuverlässigkeit im Schienennetz zwischen Betreibern und Nutzern divergiert, was auch bei wetterbedingten Störungen relevant ist. Extreme Wetterereignisse können die Pünktlichkeit von Zügen beeinträchtigen, während die tatsächliche Zuverlässigkeit aus Sicht der Nutzer auf der gesamten Transportkette bewertet wird, der entlang sich kundenzentrierte Sendungsverzögerungen „sprunghaft“ fortpflanzen können. Anhand agentenbasierter Simulation in SUMO integrieren sie diese unterschiedlichen Perspektiven, um ein umfassendes Verständnis der Zuverlässigkeit von Transporten im Schienennetz zu gewinnen.

Zusammenfassend zeigt sich eine Kombination von empirischen Analysen und simulationsbasierten Ansätzen zur Untersuchung der komplexen Auswirkungen extremer Wetterereignisse auf den Schienenverkehr. Die Nutzung mikroskopischer Simulationen, wie sie in dieser Studie mit





3: Vergleich der Ankunftsverspätungen über der Simulationsdauer für beide Szenarien

SUMO erfolgt, bettet sich insofern gut in diesen Hintergrund ein. Sie ermöglicht eine realitätsnahe Abbildung von Betriebsabläufen unter Störungsbedingungen, wie im nächsten Kapitel 3 dargelegt. So wird eine quantitative Wirkungsanalyse zu Verspätungen und Pünktlichkeit möglich, siehe Kapitel 4.

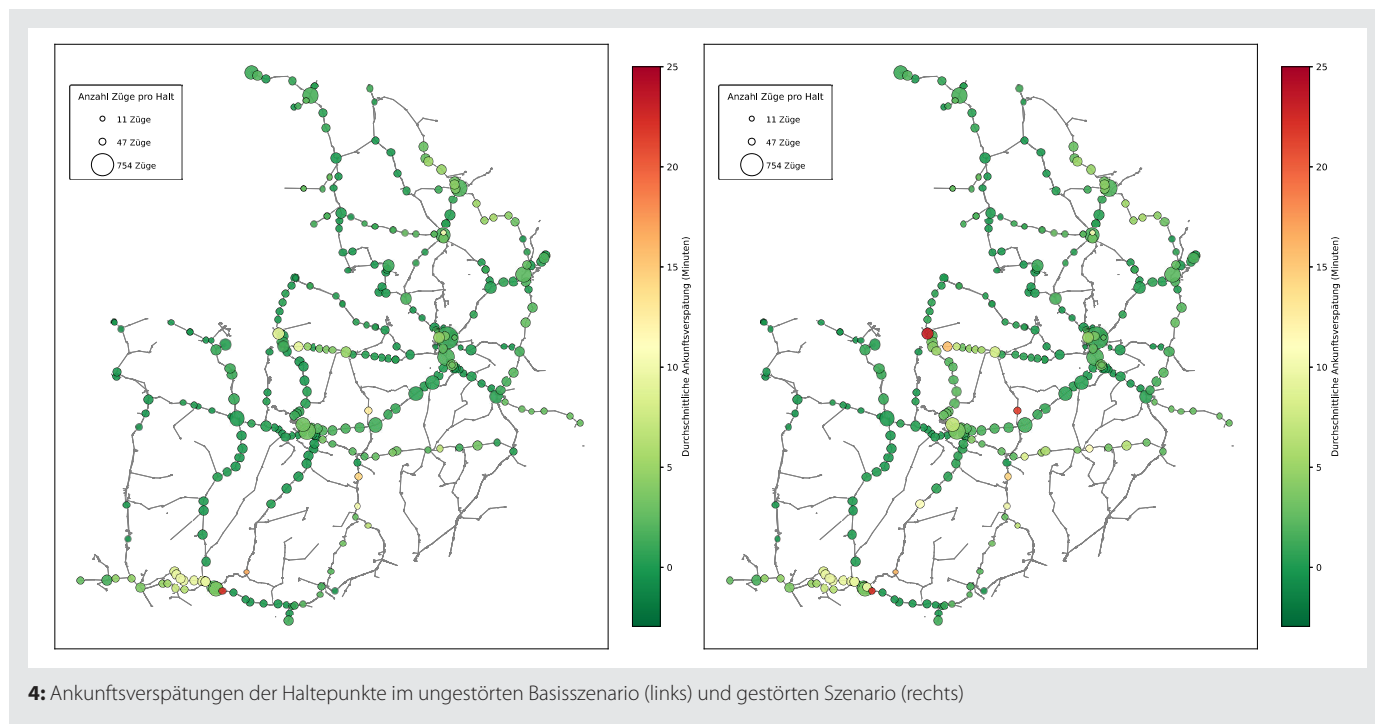
3. Methode zur Ermittlung der Wirkung von Extremwetterereignissen auf den Bahnbetrieb

Ursprünglich als Verkehrssimulator für den urbanen Raum entwickelt, deckt SUMO – Simulation of Urban Mobility [10] – inzwischen auch bahnbetriebliche Simulation mit ab. Dies beinhaltet eisenbahnspezifische Wirkmechanismen wie u. a. Signalisierung, Fahren im Blockabstand, Weichen mit

entsprechendem Belegungs- und Flankenschutz, Haltestellen und -gleise sowie fahrdynamisches Verhalten auf Basis von Zugkraft-Geschwindigkeits-Diagrammen [11]. Der große Vorteil liegt neben dem Open Source-Ansatz dabei auf einem verkehrsträgerübergreifenden Simulationsansatz, der die Verknüpfung bahnbetrieblicher Szenarien mit anderen Verkehrsträgern sowie die Integration von Waren- und Personenströmen erlaubt. Ebenso ermöglicht SUMO einen dynamischen Eingriff in laufende Simulationen via TRaCI-Interface, was die Kopplung der Simulation mit eigenen Methoden in Python erlaubt. Dies führt dazu, dass dynamische Use Cases wie etwa KI-gestützte Disposition, nachfrageorientierte Betriebskonzepte (demand-responsive) oder fahrzeugseitig auftretende Störungen modelliert werden können.

Für die vorliegende Untersuchung wird ein SUMO Netzwerkmodell auf Basis von Open Source-Daten erzeugt, wobei die Infrastruktur aus OpenStreetMap [12] erzeugt und als Fahrplan der Deutschlandtakt [13] verwendet wird. Zur Sicherstellung der Konsistenz von Fahrplan und Infrastruktur werden dazu infrastrukturseitig Korrekturen bzw. Erweiterungen vorgenommen. Nachdem das erzeugte Modell mikroskopischer Natur ist, erfährt im weiteren Verlauf der Modellerzeugung eine heuristische Methodik Anwendung, die makroskopische Netzfahrpläne in mikroskopische Pfade umlegt. So werden jedem Zug mikroskopische, d. h. gleisscharfe Pfade zwischen Verkehrshalten zugewiesen. Des Weiteren wird eine Instanz des sog. Train Platforming Problems (TPP) gelöst, das sicherstellt, dass die Gleiszuweisungen in Bahnhöfen möglichst effizient verlaufen. Im Ergebnis liegt ein mikroskopisches Eisenbahnbetriebs-simulationsmodell eines gesamten Netzwerks vor, das Personen- und Güterzüge beinhaltet, mikroskopische Infrastrukturdaten verwendet und bahnbetriebliches Verhalten (s.o.) abbildet. Eine detaillierte Beschreibung der Erzeugung bahnbetrieblicher Netzwerksimulationsmodelle in SUMO sowie die Integration von Warenströmen findet sich in [9].

Zur Abbildung der Störung durch Extremwetterereignisse wird ein Infrastruktur-basierter Modellierungsansatz gewählt, bei dem Störungen durch Nicht-Verfügbarkeit von Infrastruktur abgebildet werden. Infolgedessen reagiert die in SUMO hinterlegte heuristische Dispositionsroutine, die großräumige Umleitungen auf Basis mehrerer Parameter anstößt: Zunächst wird anhand einer Metrik die voraussichtlich durch die Umleitung entstehende Verspätung errechnet, für die ein Schwellwert als Entscheidungsgrundlage gewählt werden kann. Außerdem kann den Betriebsstellen eine Dispositionspriorität zugewiesen werden, die parametrisiert, ob bzw. wie wahrscheinlich Halte im Zuge der Umleitung entfallen dürfen (entfallende kleinere Unterwegshalte etwa bergen kleinere betriebliche und fahrgastseitige Auswirkungen im Vergleich zu großen Endbahnhöfen). Im Ergebnis liegt ein mikroskopisches Netzwerksimulationsmodell vor, das bahnbetriebliche Spezifika abbilden und die Auswirkungen von Störungen auf die Pünktlichkeit des Betriebs modellieren kann. Abbildung 1 zeigt einen Überblick der angewendeten Methode einschließlich der Modellerzeugung sowie der Analyse



4: Ankunftsverspätungen der Haltepunkte im ungestörten Basisszenario (links) und gestörten Szenario (rechts)

der Auswirkungen von Extremwetterereignissen. Das anschließende Kapitel 4 zeigt die Wirkweise des Modells anhand eines Anwendungsfalls im Seehafenhinterlandverkehr Bremerhaven.

4. Ergebnisse für den Seehafenhinterlandverkehr Bremerhaven

Das beschriebene SUMO Netzwerkmodell ist ausschnittsweise durch eine Bildschirmaufnahme der SUMO GUI in Abbildung 2 dargestellt. Die Benutzeroberfläche ermöglicht die graphische Visualisierung der Simulation, welche sowohl die aus OpenStreetMap (OSM) importierte Gleisinfrastruktur, als auch die nach dem zu Grunde liegenden Fahrplan verkehrenden Personen- und Güterzüge darstellt. Im vorliegenden Beispiel erfolgt eine Visualisierung nach Ankunftsverspätung, wobei grün für niedrige und rot für hohe Werte steht. Der gezeigte Ausschnitt liegt im Bereich des Seehafenhinterlandverkehrs Bremerhaven. Dabei wird die Strecke 1740 (siehe rotes Ausrufezeichen), die den Bahnhof Bremerhaven Kaiserhafen (HBHKS) in Richtung Süden mit Bremen und dem weiteren Landesinneren verbindet, gestört. Zur Ermittlung der bahnbetrieblichen Auswirkungen dieser Störung erfolgt zunächst eine Simulation des ungestörten Basisfalls: Dabei werden 10 Instanzen aus der von der DB Richtlinie 405 [14] vorgegebenen Verspätungsverteilung für simulationsbasier-

te Untersuchungen zufallsbasiert erzeugt und den Zügen entsprechende Einbruchsverspätungen zugewiesen. Infolgedessen weist das Modell eine dem Realbetrieb entlehnte operative Dynamik auf. Die Erzeugung des gestörten Szenarios erfolgt analog. Anschließend kann die Wirkungsanalyse auf Basis eines szenarienbasierten Vergleichs erfolgen.

Die Störung des Teilabschnittes zwischen Bremerhaven-Wulsdorf (HBWU) und Osterholz-Scharmbeck (HOSS) hat eine Sperrung der Gleise in beide Fahrtrichtungen zur Folge, für die eine Dauer von vier Stunden angesetzt wird. Die Umsetzung erfolgt anhand der closingRoute-Funktion aus SUMO. Infolgedessen werden Fahrzeuge, die über einen zuvor definierten Gleisabschnitt gefahren sind, je nach Simulationsparametrisierung entweder umgeleitet oder verkehren bis zum letzten möglichen Halt und fallen im gestörten Abschnitt aus. Im vorliegenden Fall werden ausschließlich die Güterverkehrszüge über Rothenburg (AROG) in Richtung Landesinneren umgeleitet. Die durchgeführte Untersuchung modelliert somit gleichzeitig den neuen elektrifizierten SGV-Bypass, den der Deutschlandtakt vorsieht [15] und kann Aufschluss über dessen Potenzial und Wirkweise geben. Die Personenverkehrszüge entfallen im gestörten Abschnitt, nachdem sich Umleitungen hier zeitintensiv und zu weiträumig darstellen. Abbildung 3 zeigt oben das ungestörte Basisszenario

und unten das Szenario mit implementierter Störung. Die Abbildungen stellen die durchschnittliche Ankunftsverspätung der Züge (in Minuten) über die gesamte Simulationsdauer (in Minuten) aller Züge dar, aufgegliedert in Regionalverkehr (RV), Fernverkehr (FV) sowie Güterverkehr (GV). Die Störung wurde von der fünften bis zur neunten Simulationsstunde realisiert, wie von den roten Linien dargestellt. Dabei wird deutlich, dass der Effekt der Störung sich aufgrund der Netzwerke des Ereignisses erst verzögert auswirkt. Eine Analyse je Zuggattung zeigt, dass im Seehafenhinterland insbesondere Güterzüge von der Störung betroffen sind, die in Folge der Umleitung Verspätung aufbauen. Zudem erfährt der Regionalverkehr vor allem durch die umgeleiteten Güterzüge auf der Umleitungsstrecke kapazitätsbedingt leichte Einschränkungen (die gestörten Regionalverkehrszüge selbst entfallen, sodass deren Einschränkung sich hier nicht niederschlägt). Auffällig ist des Weiteren, dass der Fernverkehr nur minimale Differenzen in der Ankunftsverspätung zwischen gestörtem und ungestörtem Zustand aufweist, da keine Fernverkehrsroute im Abschnitt der Sperrung liegt.

Abbildung 4 zeigt die räumlich-geographische Analyse der betrieblichen Störungsauswirkungen. Sie stellt die durchschnittliche Ankunftsverspätung aller Züge an allen Haltepunkten für den ungestörten (links) und gestörten Fall (rechts) der Simu-

lation dar. Dabei wird durch die Farbe der Kreise die jeweilige durchschnittliche Verspätung der Haltepunkte angegeben. Die Größe der Kreise quantifiziert die Anzahl der Zughalte.

Dabei zeigen sich insbesondere die Auswirkungen auf die Verspätung der Güterverkehrshalte, wie beispielsweise an Bremerhaven Kaiserhafen (HBHSK) und in Elsdorf (AED). Außerdem entstehen zusätzliche Verspätungen auf der Umleitungsstrecke 1300 in Richtung Bremervörde (ABV). Die gestörte Strecke selbst weist dagegen kaum Differenzen in den durchschnittlichen Ankunftsverspätungen auf, da während der Sperrung der Gleise die entsprechenden Halte ausfallen und nicht angefahren werden.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Die Untersuchung zeigt, dass eine mikroskopische Netzwerksimulation mit SUMO die Abbildung der Auswirkungen extremer Wetterereignisse auf den Bahnbetrieb ermöglicht. Am Beispiel des Seehafen-hinterlandverkehrs Bremerhaven werden Verspätungen und Betriebsstörungen quantitativ analysiert, wobei insbesondere Güterzüge durch Umleitungen betroffen sind. Die Simulation erlaubt eine differenzierte Bewertung verschiedener Szenarien und deren betriebliche Folgen. Im Ausblick bietet das Modell somit Potenzial zur Entwicklung und Ableitung gezielter Anpassungs- und Resilienzstrategien. Aufgrund seiner großen Flexibilität bietet das Modell auch Möglichkeiten zur Iteration des Störungsortes. Zukünftige Arbeiten könnten außerdem durch die Integration weiterer Störungsarten und die Kopplung mit anderen Verkehrsträgern vertieft werden. ●

DOI 10.61067/260831

Literatur

- [1] S. Greenham, E. Ferranti, A. Quinn, and K. Drayson, "The impact of high temperatures and extreme heat to delays on the London Underground rail network: An empirical study," *Meteorological Applications*, vol. 27, no. 3, 2020, doi: 10.1002/met.1910.
- [2] A. H. S. Garmabaki et al., "Climate Change Impact Assessment on Railway Maintenance," in *Book of Extended Abstracts for the 32nd European Safety and Reliability Conference*, M. C. Leva, E. Patelli, L. Podofillini, and S. Wilson, Eds., Singapore: Research Publishing Services, 2022, pp. 2913–2920. doi: 10.3850/978-981-18-5183-4_s25-01-126-cd.
- [3] C.-W. Palmqvist, N. O.E. Olsson, and L. Winslott Hiselius, "Some influencing factors for passenger train punctuality in Sweden," *International Journal of Prognostics and Health Management*, vol. 8, no. 3, 2017, doi: 10.36001/ijphm.2017.v8i3.2649.
- [4] E. A. Kostianina, A. G. Kostianoy, M. A. Scheglov, A. I. Karelov, and A. S. Vasilevsky, "Impact of Regional Climate Change on the Infrastructure and Operability of Railway Transport," *Transport and Telecommunication Journal*, vol. 22, no. 2, pp. 183–195, 2021, doi: 10.2478/tjt-2021-0014.
- [5] M. Pregolato, A. Ford, C. Robson, V. Glenis, S. Barr, and R. Dawson, "Assessing urban strategies for reducing the impacts of extreme weather on infrastructure networks," *Royal Society open science*, vol. 3, no. 5, p. 160023, 2016, doi: 10.1098/rsos.160023.
- [6] K. Pyatkova et al., "Flood Impacts on Road Transportation Using Microscopic Traffic Modelling Techniques," in *Simulating Urban Traffic Scenarios*, M. Behrisch and M. Weber, Eds., in *Lecture Notes in Mobility*, Cham: Springer International Publishing, 2019, pp. 115–126. doi: 10.1007/978-3-319-33616-9_8.
- [7] S. O. P. Blume, M.-A. Cardin, and G. Sansavini, "Dynamic Disruption Simulation in Large-Scale Urban Rail Transit Systems," in *Complex Systems Design & Management*, G. A. Boy, A. Guegan, D. Krob, and V. Vion, Eds., Cham: Springer International Publishing, 2020, pp. 129–140. doi: 10.1007/978-3-030-34843-4_11.
- [8] C. Fikar, M. Gronalt, and P. Hirsch, "A decision support system for coordinated disaster relief distribution," *Expert Systems with Applications*, vol. 57, pp. 104–116, 2016, doi: 10.1016/j.eswa.2016.03.039.
- [9] J. Geischberger, N. Weik, and J. Pannek, "Reliability evaluation of rail freight transport processes – An agent-based approach combining microscopic rail simulation and freight network logistics," *Journal of Rail Transport Planning & Management*, vol. 37, p. 100558, 2026, doi: 10.1016/j.jrtpm.2025.100558.
- [10] P. A. Lopez et al., "Microscopic Traffic Simulation using SUMO," in *2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, IEEE, 2018, pp. 2575–2582. doi: 10.1109/ITSC.2018.8569938.
- [11] German Aerospace Center (DLR) and others, "Documentation: Railways." 2026. Available: <https://sumo.dlr.de/docs/Simulation/Railways.html>
- [12] OpenStreetMap contributors, "OpenStreetMap." 2026. Available: <https://www.openstreetmap.org/>
- [13] GOVDATA, "Daten des Zielfahrplans Deutschlandtakt im Format railML TT." 2025. Available: <https://www.govdata.de/suche/daten/daten-des-zielfahrplans-deutschlandtakt-im-format-railml-tt>
- [14] DB NETZ AG, "Richtlinie 405 Fahrwegkapazität." 2022.
- [15] SMA und Partner AG, Intraplan Consult GmbH, VIA Consulting & Development GmbH in Kooperation mit TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH im Auftrag des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr, "Abschlussbericht zum Zielfahrplan Deutschlandtakt Grundlagen, Konzeptionierung und wirtschaftliche Bewertung: Version: 3-00" 01. September 2022. Available: https://downloads.ctfassets.net/scbs508bajse/70b2P0qjFPMrt6FSXSxy/f2f48d117f4399a3b165cac6ebf4f179/2022-09-01_Abschlussbericht_Deutschlandtakt_3-00.pdf

Summary

Analysis of extreme weather events in rail transport using microscopic simulation

The study uses microscopic simulation with SUMO to analyse the impact of extreme weather events on rail operations in the Bremerhaven seaport hinterland. Disruptions caused by weather-related track closures lead to significant delays, particularly for diverted freight trains, whilst regional and long-distance services are less severely affected. Through its assessment of rail operations, the simulation model can support the development of targeted adaptation and resilience strategies.

INSERENTEN

DEVK Köln.....	U1, 79	Plasser & Theurer GmbH, Wien.....	U2
DVV Media Group GmbH, Hamburg..	U3, U4, 19, 47, 51, 59, 68, 69, 71, 75, 92	Zöllner Signal GmbH, Kiel.....	83, 87
HYPERION Verwaltung GmbH, Vastorf.....	67	Dieser Ausgabe liegt eine Beilage der Bauakademie Biberach bei.	
PJ Messtechnik GmbH, Graz.....	9		

Modellierung von Nutzungsrestriktionen in modernen Stellwerken

Die Digitalisierung des Eisenbahnwesens gewinnt an Bedeutung. Mit den Standards RCA und EULYNX werden technische Grundlagen geschaffen, wodurch künftig Strecken mit Gefährdungen durch Usage Restriction Areas (URAs) automatisch gesperrt werden können, um die Sicherheit zu erhöhen.



1. Einleitung und Problematik

Im Zuge der fortschreitenden Digitalisierung des Eisenbahnwesens gewinnen zwar standardisierte, interoperable und datenbasierte Systeme für die Steuerung, Sicherung und Überwachung des Bahnbetriebs zunehmend an Bedeutung. Insbesondere auf europäischer Ebene werden mit Initiativen wie RCA und EULYNX technische Grundlagen geschaffen, um zukünftige Stellwerksarchitekturen modular, herstellerunabhängig und effizient gestalten zu können.

Eisenbahninfrastrukturen weisen jedoch ein weitläufiges Streckennetz mit zahlreichen technischen Anlagen und betrieblich kritischen Bereichen auf. Hierzu zählen beispielsweise hochbelastete Streckenabschnitte, Weichenbereiche, Bereiche mit erhöhter Umweltbeanspruchung oder Abschnitte mit historisch auffälligen Störsereignissen. Steigende Anforderungen an Verfügbarkeit, Sicherheit und Kapazität bei gleichzeitiger Alterung der Infrastruktur, zunehmender Verkehrsbelastung, klimatischen Einwirkungen erfordern auch im digitalen und automatisierten Bahnbetrieb in Zukunft adäquate Lösungen für den Umgang mit unvorhersehbaren Ereignissen an der Infrastruktur.

In der RCA-Systemarchitektur ist ein Objekt unter dem Namen Usage Restriction Area (URA) definiert. URAs sind Bereiche auf der Infrastruktur, denen Restriktionen vielfältiger Art und Weise unterlaufen sein können. Die Definition von URAs in der RCA-Systemarchitektur bietet einen möglichen Ansatz, um solche kritischen Bereiche auf der Infrastruktur auch im zunehmend automatisierten Bahnbetrieb effektiv zu identifizieren und zu schützen. Durch die Verwendung von Sensortechniken können

Strecken mit URAs automatisch gesperrt werden, sodass Züge nicht in die Sperrung einfahren dürfen. Dies kann dazu beitragen, die Sicherheit des Eisenbahnverkehrs zu erhöhen und unerwünschte Ereignisse zu vermeiden.

Dieser Artikel untersucht die methodische Entwicklung und Modellierung von URAs innerhalb der RCA-Systemarchitektur der nächsten Generation und thematisiert dabei offene Fragen zur Integration von Sensoren, Kommunikationswegen und datenbasierten Sicherheitsvorkehrungen.

2. Usage Restriction Areas (URAs)

URAs sind Bereiche auf der Infrastruktur, denen Restriktionen vielfältiger Art und Weise unterlaufen sein können (siehe Abbildung 1). Diese Bereiche sind örtlich begrenzt und können manuell eingetragen oder angefragt werden. Anfragesteller sind im Kontext der RCA-Systemarchitektur das Plan Execution (PE), Personen mit Berechtigungen und entsprechenden Handgeräten, aber auch Sensoren auf der Infrastruktur, die beispielsweise Beschädigungen an der Strecke detektieren können.

2.1. Definition URA

Die Verwendung von IDs und Versionen im Header (siehe oben links, Abbildung 2) von Usage-Restriction-Area-Nachrichten gewährleistet die eindeutige Identifikation, Referenzierung und Nachverfolgung relevanter Restriktionen im Eisenbahnverkehr. Dadurch werden Änderungen und Aufhebungen konsistent über unterschiedliche Systeme hinweg abbildbar und Plausibilitätsprüfungen erleichtert, sowie Konflikte durch konkurrierende Aktualisierungen reduziert.



Simon Emmert, B. Sc.

Studentischer Mitarbeiter an der TU Darmstadt
Emmert_S@protonmail.com



Lukas Geyer, M. Sc.

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Bahnsysteme und Bahntechnik an der TU Darmstadt
Geyer@verkehr.tu-darmstadt.de



Werner Iberl, M. Ed.

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Bahnsysteme und Bahntechnik an der TU Darmstadt
iberl@verkehr.tu-darmstadt.de



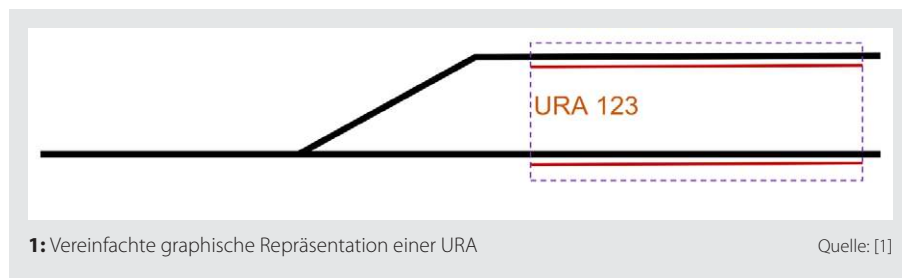
Dr.-Ing. Bilal Üyümez

Postdoktorand am Institut für Bahnsysteme und Bahntechnik an der TU Darmstadt
Ueyuemez@verkehr.tu-darmstadt.de



Univ. Prof. Dr.-Ing. Andreas Oetting

Leiter des Instituts Bahnsysteme und Bahntechnik an der TU Darmstadt
Oetting@verkehr.tu-darmstadt.de



URAs können durch Sensoren, mobile Geräte oder durch ein TMS (Traffic Management System) beantragt werden (oben rechts). Gleissektionen definieren die Ausdehnung der URA über die Gleistopologie. Diese Ausdehnung kann als Liste nach einem Standard wie dem RailTopoModel-Standard definiert werden (links mittig) [2]. URAs könnten definieren, welche ETCS-Modi innerhalb dessen Ausdehnung gefahren werden dürfen [3]. Zum Beispiel „auf Sicht“ oder „voll überwacht“. Ebenfalls ist in der Mitte der Abbildung 2 ein Element vorhanden, das definiert, ob der Funk im Bereich der URA aufrechterhalten ist. Rechts mittig im Entwurf der URA werden die Zugarten definiert, die durch die URA fahren dürfen. Des Weiteren werden in der Mitte die Fahrvorgaben für die in der URA verkehrenden Züge festgelegt. Dazu zählt, ob Züge in der URA zum Halt kommen dürfen, die Geschwindigkeit [4] und der Grad der Automatisierung des Zugs [5]. Sicherheitsrelevant

ist, dass eine URA einen Nothalt (links unten) für darin befindliche Züge auslösen kann. Unten rechts wird angezeigt, ob der Strom in der URA ausgefallen ist.

Zukünftig sollen die URAs in der Digital Map für verschiedene Systeme wie das Planning Engine (PE), das Advanced Protection System (APS) und andere Umsysteme verfügbar sein. Die Definition von URAs soll von verschiedenen Systemen genutzt werden können und orientiert sich an bestehenden Objekten im Digital Map Format.

Es ist realisierbar, dass das RBC selbst weitestgehend in das APS integriert wird, um Kommunikationslatenzen zu reduzieren.

2.2. Geplante und ungeplante Restriktionen

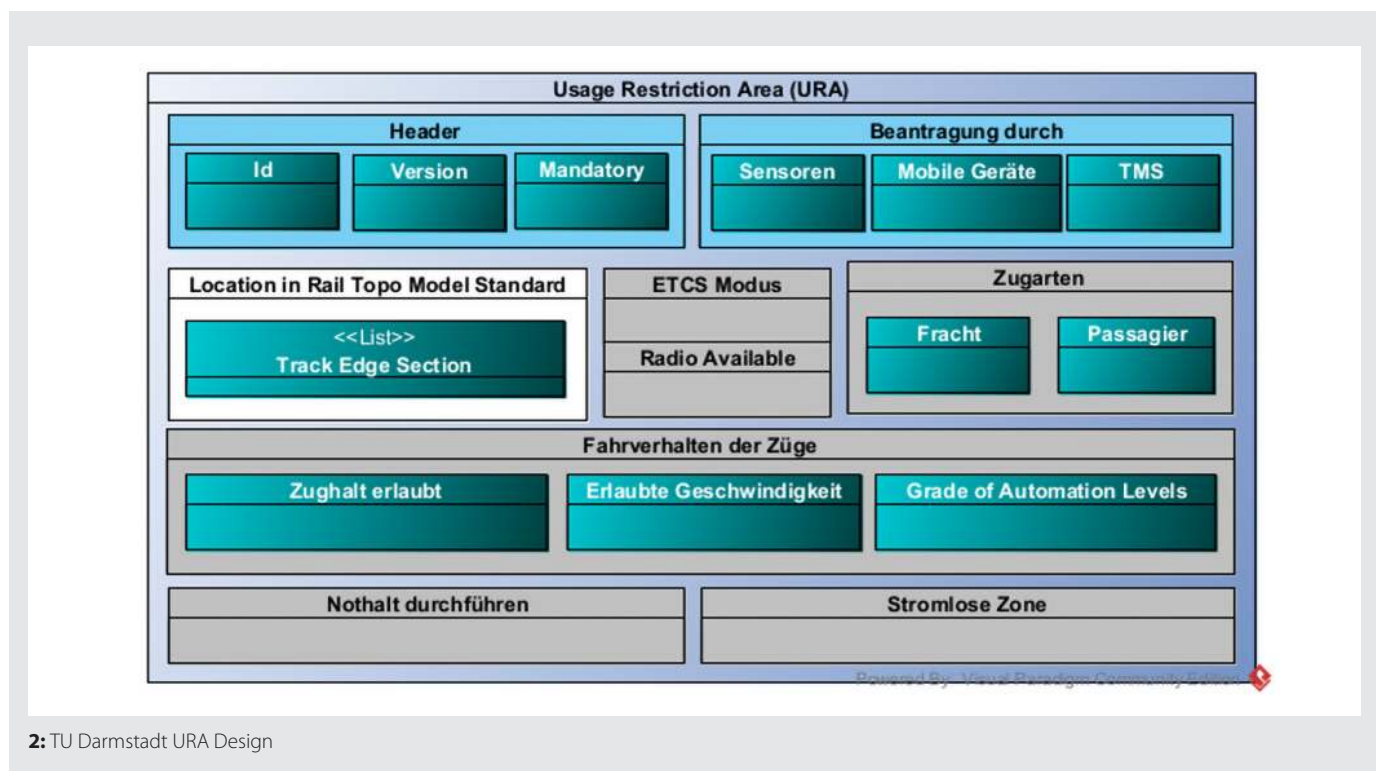
URAs können geplant oder ungeplant auftreten. Geplante URAs werden beispielsweise für Baustellen oder Wartungsarbeiten zeitlich im Voraus beantragt, während ungeplante URAs plötzlich und kurzfristig

auftreten, wie bei Gleisbrüchen oder umgestürzten Bäumen. Die RCA unterscheidet zwischen URA Demands und URA Requests. URA Demands sind ungeplante Restriktionen, die sofort berücksichtigt werden müssen, wie ein durch einen Sensor detektierter Gleisbruch. Das APS muss diese Demands unverzüglich anerkennen und verarbeiten.

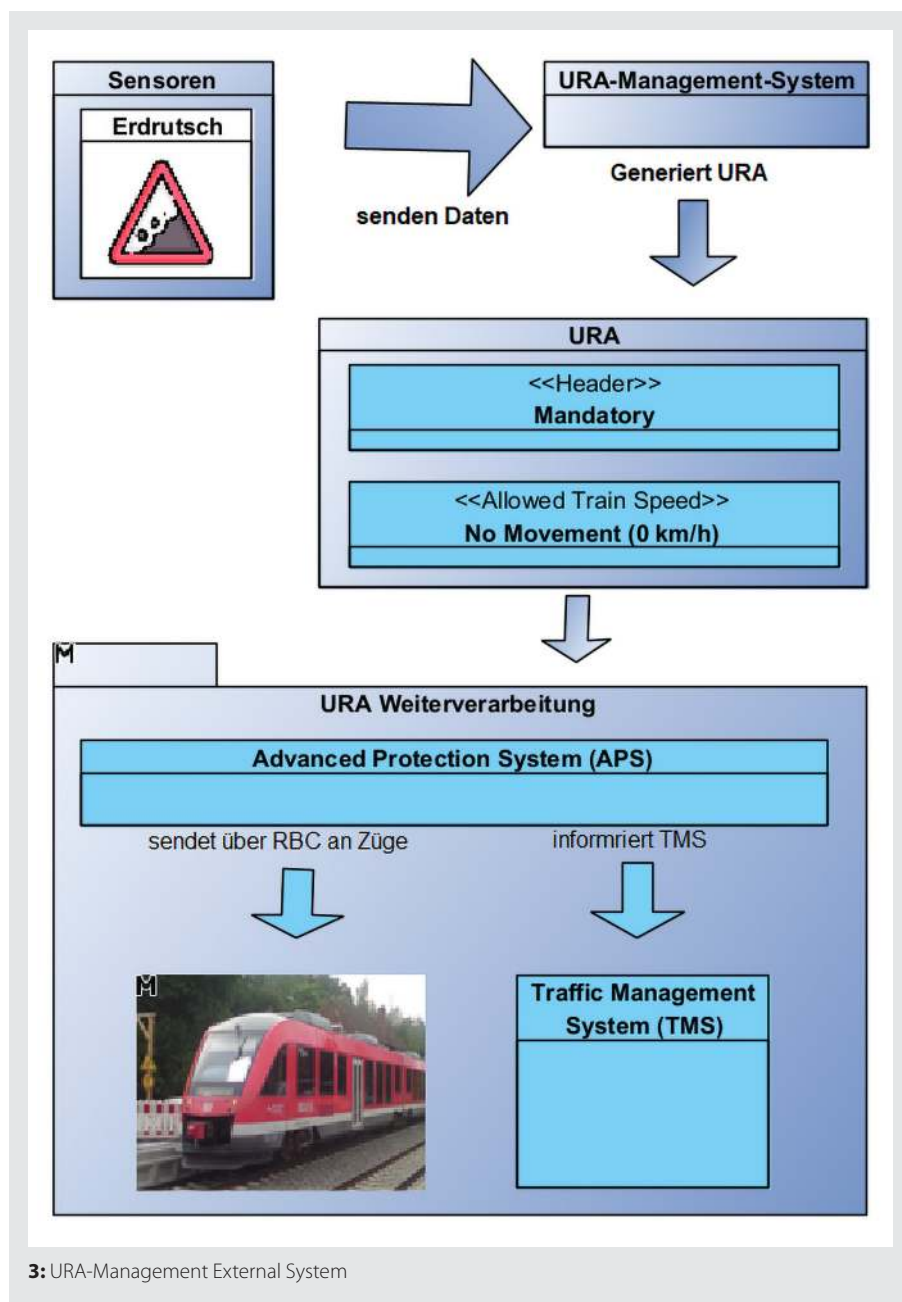
Im Gegensatz dazu sind URA Requests geplante oder kommunikativ bestätigte Einschränkungen, die vom APS geprüft und gegebenenfalls abgelehnt werden können, wenn alternative Betriebsabläufe möglich sind oder eine Restriktion nicht unmittelbar notwendig ist. Diese Unterscheidung zwischen geplanten und ungeplanten URAs sowie zwischen URA Demands und URA Requests ist ein wichtiger Bestandteil der modernen Stellwerkssystemarchitektur, um sowohl planbare als auch unvorhersehbare Situationen im Bahnbetrieb sicher und effizient zu handhaben.

2.3. Einschränkungen in den ETCS Betriebsmodi

Eine mögliche Form der Einschränkung, die eine URA modellieren kann, sind Einschränkungen in den ETCS-Betriebsmodi. Das APS muss bei einer Anfrage für eine Fahrerlaubnis (Movement Permission Request) überprüfen, ob auf der zu fahrenden Strecke die vorgegebenen ETCS-Betriebsmodi erlaubt sind.



2: TU Darmstadt URA Design



3: URA-Management External System

Es gibt zwei Möglichkeiten, wie das APS diese Überprüfung vornehmen kann:

1. Das APS entscheidet selbstständig auf regelbasierter Basis, ob auf der vorhergesehenen Infrastruktur die vorgegebenen ETCS-Betriebsmodi fahrbar sind.
2. Das APS hat bereits Informationen darüber erhalten, welche ETCS-Betriebsmodi auf welchem Teil der Infrastruktur erlaubt sind.

Beide Möglichkeiten haben ihre Vor- und Nachteile. Bei Möglichkeit 1 fehlt es derzeit an Regeln und Richtlinien, die eine saubere Überprüfung der Safety-Responsibility-Profile ermöglichen [6]. Bei Möglichkeit 2

ist es denkbar, dass innerhalb der Planungsphasen bereits in den Infrastrukturdaten Informationen über erlaubte ETCS-Betriebsmodi festgelegt werden, aber auch hier fehlt es an Regeln und Richtlinien [7].

Insgesamt ist es wichtig, dass Regeln und Richtlinien erstellt werden, die eine saubere Überprüfung der Safety-Responsibility-Profile ermöglichen, um sicherzustellen, dass das APS korrekt funktioniert und die Sicherheit der Fahrgäste gewährleistet wird.

3. URAs in Betrieb

Nach dem aktuellen Forschungsstand ist noch unklar, ob das URA-Management-System als integraler Bestandteil eines APS,

analog zum Sperren von Streckenabschnitten in herkömmlichen Stellwerken, oder als eigenständige Einrichtung parallel zum APS im Gesamtsystem der digitalen Infrastruktur (siehe Abbildung 3) vorteilhafter wäre. Weiterhin ist offen, wie die Kommunikation zwischen verschiedenen URA-Management-Systemen in der jeweiligen Implementierung aussieht.

Die Forschung konzentriert sich auf die Auflösung von Unfällen und Räumungen (URAs) durch Sensoren. Offene Forschungsfragen sind, wie automatisch generierte URAs im finalen System idealerweise ausgestaltet werden können, insbesondere ob Sensoren, die potenziell gefährliche Ereignisse oder Zustände detektieren, ebenfalls Freimeldungen erteilen dürfen.

3.1. Erstellen von URAs

URAs können im Betrieb auf zwei Arten erstellt werden: Manuell durch Bediener*innen oder automatisiert durch technische Überwachungseinrichtungen. Beispiele für das manuelle Erstellen einer URA sind beispielsweise das Einrichten eines Baustellengleises im Falle einer geplanten URA oder Einrichten einer URA durch technisch berechtigtes Personal als Folge eines Unfalls bzw. einer unsicheren Situation. Bei Erstellung von URAs durch technische Einrichtungen ist es denkbar, dass eine Sicherheitslogik zum Beispiel bei Begegnungsfahrten mit Lademaßüberschreitung automatisiert die Geschwindigkeiten durch eine URA einschränkt. Primär ist dieser Modus der URA-Erstellung jedoch zur Ermöglichung automatischer Gefahrenstellendetektion und der damit verbundenen Abwendung von konkreten Gefahrensituationen vorgesehen.

3.2. Integration von Sensoren für automatisierte Detektion von Gefahrenstellen

Bereits in der Definition der URAs wurden die Sensoren erwähnt, die an der Infrastruktur angebracht sind und diese kontinuierlich überwachen. Solche Sensorsysteme können unterschiedliche Umweltereignisse detektieren, die eine Gefahr für den Zugverkehr darstellen. Die bisher eingesetzten Sensoren können anhand ihres Detektionsbereichs in die topologischen Kategorien Punkt-, Linien- und Flächensensoren eingeteilt werden. Dies hat direkte Auswirkungen auf die Implementierung und Anbindung der Sensoren in ein APS oder URA-Management-System.

Jede Topologie (Linie/Fläche) der Detektion erfordert andere Sensoranbindungen. Topologisch punktförmige Überwachung wird mittels Kameras [8] oder Sensoren in Geröllfangnetzen [9] umgesetzt. In Verwendung bzw. Erforschung befindliche Sensorkonzepte, die linienförmiger Topologie entsprechen, sind z. B. verkettete Sensoren in Geröllfangnetzen [9] oder so genanntes „distributed fibre optic sensing“ (DFOS) mittels Glasfasern [10]. Sensoren, welche für Flächen repräsentative Messungen vornehmen, sind z. B. Erdbeben- oder Überflutungssensoren.

Diese Sensoren haben mit Ausnahme des Kamerasystems alle aufgrund ihrer Detektions-Mechanismen die Eigenschaft, dass sie das Auftreten eines unsicheren Zustandes zwar detektieren können, jedoch nicht das Wiederherstellen eines sicheren Zustandes.

Die Integration dieser Sensoren in die Stellwerksarchitektur ist voraussichtlich über die EULYNX-Schnittstelle SCI-IO für generische I/O-Systeme realisierbar [11]. Diese Schnittstelle ermöglicht eine standardisierte Anbindung von Sensoren und Aktoren an das Stellwerkssystem und damit eine interoperable und modulare Erweiterung der Infrastruktur-Überwachung.

Den Autoren sind zum aktuellen Zeitpunkt jedoch keine erfolgreichen Praxisprojekte bekannt, in denen solche Sensorsysteme direkt über die EULYNX-Schnittstellen in ein Stellwerk integriert wurden. Für März 2026 ist geplant worden, das türkische Eisenbahnnetz mit entsprechenden Sensoren auszustatten [12]. Ob hierbei bereits EULYNX Object Controller als technische Schnittstelle zum Stellwerk zum Einsatz kommen, ist den Autoren nicht bekannt.

Ein weiteres Thema künftiger Forschung wird sein, in welcher topologischen Konstellation die Sensoren an das APS angebunden wird. Hierbei lassen sich die Fälle von Sensoren unterscheiden, welche eigenständig URA Demands an das APS übermitteln und Sensoren, die Daten in einen Auswerteblock übermitteln, welcher über die Notwendigkeit und das Ausmaß einer URA entscheidet und diese im APS anmeldet. Ebenso ist die Frage offen, wie kleinteilig bzw. hochauflösend ein Auslösen eines Sensors zu URAs führen soll. Gegenstand künftiger Forschung wird sein, ob, wie und von welchem Infrastrukturelement zwischen Szenarien unterschieden wird, welche verschiedene Ausmaße an URAs nach sich ziehen. Beispielhaft hierfür wäre ein Windgeschwindigkeitssensor,

dessen Messungen verschiedene Abstufungen an URA, also Geschwindigkeitsbeschränkungen bis Vollsperrungen hervorrufen könnten.

Offen bleibt zudem die Frage, wie die Entscheidungslogik im Kontext der automatisierten Erkennung und Handhabung von Gefahrenstellen ausgestaltet wird: Trifft das Stellwerkssystem selbst die Entscheidung, eine Restriktion (URA) anzulegen, erfolgt dies autonom durch die Sensoren oder wird die Eingabe eines Menschen als finale Entscheidungsinstanz erforderlich sein? Diese Aspekte sind für die Sicherheit und Zuverlässigkeit der künftigen Systeme von zentraler Bedeutung und müssen in zukünftigen Forschungen und Implementierungen geklärt werden.

Die Handhabung von URAs ist ein offener Punkt in der Entwicklung von URA-Management-Systemen. Die Frage, wie diese Systeme ausgestaltet werden müssen, um die Sicherheit und Effizienz im Schienenverkehr zu erhöhen, bleibt weiterhin offen. Insbesondere ist der Fokus auf die Integration von sensorischen Datenquellen und die Automatisierung der Entscheidungsfindung gerichtet, um die Reaktionsfähigkeit der Stellwerkssysteme zu verbessern.

3.3. Verändern von bestehenden URAs

Die bestehenden Einschränkungen (z. B. es muss auf Sicht gefahren werden), die eine URA darstellen könnte, müssen von einem URA-System geändert werden können. Beispielsweise kann sich die Umweltlage ändern, sodass wieder normal gefahren werden kann, aber die Geschwindigkeit leicht eingeschränkt wird.

Ein Szenario, in dem sich die Ausdehnung, allerdings nicht die Eigenschaften einer URA ändern, ist das stückweise Freifahren einzelner Streckenabschnitte nach einer großflächigen technischen Störung.

Ebenso ist eine kombinierte Änderung von Ausdehnung und Eigenschaften einer URA denkbar, wie zum Beispiel beim Übergang einer Langsamfahrstelle in eine Fahrtrichtung einer zweigleisigen Strecke in eine Vollsperrung der Strecke für eine Baustelle.

3.4. Auflösen von URAs

Analog zu Gleissperrungen und Langsamfahrstellen im derzeitigen Betrieb wird es ebenso nötig sein, URAs aufzulösen. Hierbei ist die Unterscheidung zwischen manuellen und automatisierten Auflösungen zu treffen.

In Bezug auf Sensor-ausgelöste URAs ist eine offene Forschungsfrage, wie die Auflösung automatisch generierter URAs im finalen System idealerweise ausgestaltet werden kann. Hierbei ist insbesondere fraglich, ob Sensoren, welche potenziell gefährliche Ereignisse oder Zustände detektieren können, ebenfalls dazu imstande sind, festzustellen, dass die Gefahr vorüber ist.

Es existieren verschiedene Ansätze, um URA-Management-Systeme zu implementieren. So können sie beispielsweise in die Sicherungslogik integriert werden, um die Sicherheit von URA-Zonen zu gewährleisten. Alternativ können sie als Teil des TMS entwickelt werden, um die Planung und Steuerung von Zugfahrten zu unterstützen. Es ist auch möglich, URA-Management-Systeme als eigenständiges System zu entwickeln (siehe Abbildung 3), das die verschiedenen Anforderungen und Funktionen der URA-Handhabung umfasst.

4. Fazit und Ausblick

Die Modellierung und Integration von Usage Restriction Areas in zukünftige europäische Stellwerkssysteme stellt einen wichtigen Schritt dar, um die Sicherheit und Effizienz im Schienenverkehr zu erhöhen. Durch eine geometrische und topologische Darstellung der Streckenelemente im Rahmen des Reference CSS Architecture Kontextes lassen sich URAs als dynamische und parametrisierte Datenobjekte abbilden, die zeitnah aktualisiert und standortgenau kommuniziert werden können. Dies ermöglicht eine verbesserte Handhabung von temporären oder unvorhergesehenen Gefahrenzonen wie etwa Baustellen, Umweltgefahren oder betriebliche Einschränkungen. Die Nutzung von standardisierten Schnittstellen wie der EULYNX SCI-IO erlaubt die Integration verschiedenster sensorischer Datenquellen zur automatisierten Detektion von Gefahrenstellen. Sensoren können so zur frühzeitigen Erkennung von Ereignissen wie Lawinen, Überflutungen oder Beschädigungen beitragen und dadurch die Reaktionsfähigkeit der Stellwerkssysteme deutlich verbessern. Aktuelle Praxisprojekte für eine vollständige Systemintegration stehen zwar noch aus, zukünftige Umsetzungen, beispielsweise im türkischen Eisenbahnnetz, werden hier wertvolle Erfahrungen liefern. Ein besonderes Augenmerk liegt auf der Frage der Entscheidungsfindung: Ob die Festlegung von URAs automatisiert durch das Stellwerk oder die Sensoren erfolgt

oder weiterhin eine menschliche Kontrollinstanz notwendig ist, bleibt eine offene Herausforderung. Die Weiterentwicklung von automatisierten Schutzsystemen muss sicherstellen, dass Sicherheitsanforderungen umfassend erfüllt werden und die Interoperabilität im europäischen Bahnnetz gewährleistet bleibt. Zukünftige Forschungs- und Entwicklungsarbeiten sollten darauf abzielen, die modularen Konzepte und standardisierten Datenmodelle weiter zu verfeinern, die Schnittstellen für sensorische Integration voranzutreiben und konkrete Implementierungen mit sensorbasierten Gefahrenmeldesystemen zu realisieren. Nur durch eine enge Verzahnung von digitalen Schutzsystemen, präziser Standortbestimmung und sensorgestützter Überwachung kann den Herausforderungen des modernen Bahnbetriebs, insbesondere unter klimatischen und betrieblichen Störbedingungen, angemessen begegnet werden. •

DOI 10.61067/260834

Literatur

- [1] B. Wenzel, „RCA DigitalMap Concept.Doc.46 v1.1“, Apr. 2023, [Online]. Available: <https://ertms.be/wp-content/uploads/2023/04/RCA-DigitalMap-Concept.Doc.46-v1.1.pdf>.
- [2] railML e.V., „railML Infrastructure Schema Documentation“, Version 3.3, 2024, [Online]. Available: <https://www.railml.org/files/download/schemas/3.3/documentation/railml3.html>.
- [3] O. Gemine, A. Hougary: ERTMS/ETCS System Requirement Specification, Kapitel 4: Mode und Übergänge, Baseline 4.0.0, 2023.
- [4] X. Liu, K. Holt, Z. Zhang: „Restricted Speed Enforcement for Positive Train Control Systems“, April 2024, [Online]. Verfügbar unter: <https://railroads.dot.gov/sites/fra.dot.gov/files/2024-04/Restricted%20Speed%20PTC.pdf>. Zuletzt abgerufen am 28. Mai 2025.
- [5] UNISIG ATO WP: „ERTMS/ATO ATO-OB / ATO-TS FFFIS Application Layer“, Baseline 1.0.0, 2023, Brüssel.
- [6] Frank, S. (2022). Concept: SCI-CMD, RCA.Doc.70.
- [7] O., Gemine, A., Hougary (2023). ERTMS/ETCS System Requirement Specification, Chapter 4, Modes and Transitions, Baseline 4.0.0ff
- [8] Zhang, J., Shao, L.: „An applied study on railway safety monitoring based on internet of things“, J. Logistics, Inf. Serv. Sci., Bd. 1, H. 1, 2013, S. 1-11.
- [9] Q. Su, W. Jiang, X. X. Zhang, Y. J. Li, L. L. Yang: „An Overview of Foreign Matter Invasion Systems for High Speed Railways“, Appl. Mech. Mater., Bd. 365-366, 2013, S. 468-473, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.365-366.468.

- [10] I. Vidovic, S. Marschnig: „Optical Fibres for Condition Monitoring of Railway Infrastructure – Encouraging Data Source or Errant Effort?“, Appl. Sci., Bd. 10, H. 17, 2020, S. 6016, doi: 10.3390/app10176016.
- [11] B. Morman, „APS Concept.Doc.51 v1.0“, Sept. 2022
- [12] Railway Technology: „OKI partners with Turkish State Railways for IoT disaster prevention initiative“, Railway Technology Online, 10.09.2025, [Online]. Verfügbar unter: <https://www.railway-technology.com/news/oki-turkish-state-railways-iot/>. Zuletzt abgerufen am 13.02.2026.

Summary

Modelling of usage restrictions in modern signal boxes

The digitalization enables new methods to improve the systems and modelling usage restrictions in modern signalling systems is a crucial step to enhance safety and efficiency in rail transportation. An integrated Usage Restriction Area Management System that combines various sensor data sources can improve the handling of temporary or unforeseen hazardous areas, such as construction sites, environmental hazards, or operational restrictions, which may lead to a safer rail network.

100 JAHRE FACHWISSEN

ZU TECHNIK UND MANAGEMENT MODERNER BAHNEN



BEWERBEN SIE IHRE DIENSTLEISTUNGEN ODER PRODUKTE IN DEN RUBRIKEN

-  Fahrweg & Bahnbau
-  Fahrzeuge & Komponenten
-  Ausrüstung & Betrieb
-  Projekte & Management
-  Forschung & Entwicklung

JETZT BUCHEN



Ihren Firmeneintrag
Präsentieren Sie Ihr Unternehmen



Ihr Businessprofil
Zeigen Sie Ihre Expertise



Ihre Anzeige
Erreichen Sie Ihre Zielgruppe

Intermodale Citylogistik – Eine Chance für Verkehrsverlagerung im urbanen Raum

Die folgende Abhandlung basiert auf der Forschungsarbeit „Intermodale Citylogistik Straße – Schiene | Beitrag für die Entwicklung von Transportkonzepten zur Reduktion der negativen Umweltauswirkungen des Güterverkehrs in urbanen Räumen“. Im Fokus steht die urbane Verkehrsverlagerung auf die Schiene mit vorhandener Infrastruktur und bewährten Technologien. Die Dissertation wurde mit dem NEWOPERA PRIZE FOR RAIL FREIGHT AND INTERMODALITY 2026 ausgezeichnet.



Betrachtungsfeld intermodale Citylogistik

Während Güterverkehr einerseits zum Wohlstand einer Gesellschaft beiträgt, schadet er dieser andererseits durch seine negativen Umweltauswirkungen, insbesondere durch:

- Unfälle
- Energie- und Flächenverbrauch
- Ausstoß von Lärm sowie klima- und gesundheitsschädlichen Emissionen

Diese negativen Umweltauswirkungen werden typischerweise nicht vollständig von den verursachenden Verkehrsträgern getragen bzw. kompensiert, sondern fallen – mindestens teilweise – als externe Kosten an; sie werden also von der Allgemeinheit getragen.

Aufgrund des langfristig erwarteten bzw. angestrebten Wirtschafts- und damit verbundenen Verkehrswachstums ist in Zukunft weiterhin von einer Zunahme der negativen Umweltauswirkungen des Verkehrs auszugehen. Auch ist nicht anzunehmen, dass alternative Antriebskonzepte, wie z.B. batterieelektrische Lkw, eine weitreichende Trendumkehr verursachen. Diese Konzepte adressieren lediglich die klima- und gesundheitsschädlichen Gase beim Transport; andere externe Kosten aus Betrieb und Herstellung bleiben unberücksichtigt. Die Verkehrsverlagerung auf umweltschonende Verkehrsträger bleibt daher ein erstrebenswertes Ziel.

Besonders hohe Effekte entstehen aufgrund der hohen Verkehrs- und Bevölkerungsdichte bei einer Verlagerung in urbanen Räumen. Aufgrund der Netzbil-

dungsfähigkeit ist eine Ver- und Entsorgung urbaner Räume mit Beteiligung der Schiene allerdings nur intermodal, d. h. in Verbindung mit dem Verkehrsträger Straße möglich.

Studien aus den 1990er-Jahren sowie gegenwärtige Fachgespräche haben gezeigt, dass Ideen für intermodale Transportketten in urbanen Räumen seit mehreren Jahrzehnten existieren. Jedoch konnte sich bisher kein theoretisch-wissenschaftlich entwickeltes Konzept zur intermodalen Citylogistik dauerhaft in der Praxis etablieren. In der Regel fehlte die ökonomische Grundlage.

Verzerrter Wettbewerb

Welcher Verkehrsträger – alleine oder in einer intermodalen Transportkette – für einen Transport zum Einsatz kommt, hängt maßgeblich vom Transportpreis ab. Gewählt wird der Verkehrsträger mit dem insgesamt günstigsten Angebot. Ein weiteres Entscheidungskriterium ist die Transportqualität, welche je nach Anwendungsfall unterschiedlich gemessen und bewertet werden kann. Die logistische Praxis zeigt allerdings, dass der Transportpreis das mit Abstand relevanteste Entscheidungskriterium für die Verkehrsträgerwahl ist.

Beeinflusst werden die Transportpreise der Verkehrsträger von der Internalisierung externer Kosten. Liegt eine ungleiche Anlastung externer Kosten vor, ergibt sich zwangsläufig, dass aufgrund der resultierenden Wettbewerbsverzerrung bestimmte Verkehrsträger in geringerem Umfang zum Einsatz kommen, als es aus volkswirtschaftlichen Gesichtspunkten sinnvoll wäre. Beispielsweise weist die



Dr.-Ing. Fabian Wirth

Leiter IT und IMS-Verantwortlicher

Havelländische Eisenbahn AG,
Wustermark OT Elstal

fabian.wirth@hvle.de

Schiene in vielen Fällen geringere Umweltauswirkungen als die Straße auf, sieht sich in Deutschland jedoch – verglichen mit der Straßenmaut – mit hohen und stark steigenden Infrastrukturnutzungsgebühren konfrontiert. Zahlreiche Anzeichen deuten auf einen verzerrten Wettbewerb zwischen beiden Verkehrsträgern hin. Dies würde bedeuten, dass es auch im urbanen Raum sinnvolle, ökologische Anwendungsfälle für Eisenbahntransporte gibt, die bisher an diesem verzerrten Wettbewerb scheitern.

Es ist demnach Aufgabe der öffentlichen Hand, die Rahmenbedingungen so zu gestalten, dass allen Verkehrsträgern ihre externen Kosten im gleichen Maße angelastet werden, um faire Wettbewerbsbedingungen herzustellen. Darüber hinaus muss von den Akteuren ein Angebot intermoda-

Der hier durchgeführte Forschungsprozess sucht Lösungen, die innerhalb von fünf bis zehn Jahren realisierbar sind.



Tabelle 1: Potenzialflächen und mögliche Leistungen

Bezeichnung	Leistung
City-Terminal	Nur Umschlag Straße – Schiene
City-Güterverkehrszentrum (City-GVZ)	Terminal & Logistikgewerbegebiet
Städtische Sammel- und Verteilzentren (SSVZ)	Umschlag, Lagerung, Value Added Services
Logistics hotels	Mischnutzung Logistik & Nicht-Logistik

ler Citylogistik geschaffen werden, welches der Nachfrage unter solchen Bedingungen qualitativ und preislich gerecht wird. Zusammengefasst müssen Lösungskonzepte ökologisch, ökonomisch und qualitativ nachhaltig sein, wobei die Gegenläufigkeit dieser Ziele durch Anpassung des Marktumfeldes und geschickte Ressourcenauswahl aufzulösen ist.

Betrachtungszeitraum

Die Handlungsspielräume der Akteure hängen unter anderem von dem gewählten Betrachtungs- bzw. Projektzeitraum ab. Limitierend sind die spezifischen Planungs-, Genehmigungs- und Bau- bzw. Beschaffungszeiträume. Der hier durchgeführte Forschungsprozess sucht Lösungen, die innerhalb von fünf bis zehn Jahren realisierbar sind. Strategische Bedeutung hat der Umstand, dass sich innerhalb dieser Zeitspanne keine Verkehrswege in nennenswertem Umfang neu bauen lassen, d. h. es steht im Wesentlichen nur das Schienen- und Straßennetz zur Verfügung, welches

im Status quo bereits existiert. Maßnahmen zur Anpassung oder Reaktivierung von Infrastruktur sind dahingegen möglich; ebenso können Straßen- und Schienenfahrzeuge sowie Umschlaganlagen und Terminals neu in Betrieb genommen werden.

Räumlich-infrastrukturelle Potenziale

Vor diesem Hintergrund ergeben sich besondere infrastrukturelle Chancen für die intermodale Citylogistik aus der Historie der Industrialisierung und Deindustrialisierung von Städten sowie der damit einhergehenden Urbanisierung. In zahlreichen Städten liegen bis heute ehemalige innerstädtische Industrieflächen durch Abwanderung früherer Produktionsstandorte brach; in Einzelfällen ist jedoch die Eisenbahnanbindung dieser Flächen bis heute erhalten geblieben. Somit stehen in urbanen Räumen – selten, aber systematisch – bahnerschlossene Brachflächen zur Verfügung, die für den Aufbau von neuen, intermodalen Cityterminals genutzt werden könnten. Dieses Potenzial kann grundsätzlich in allen eu-

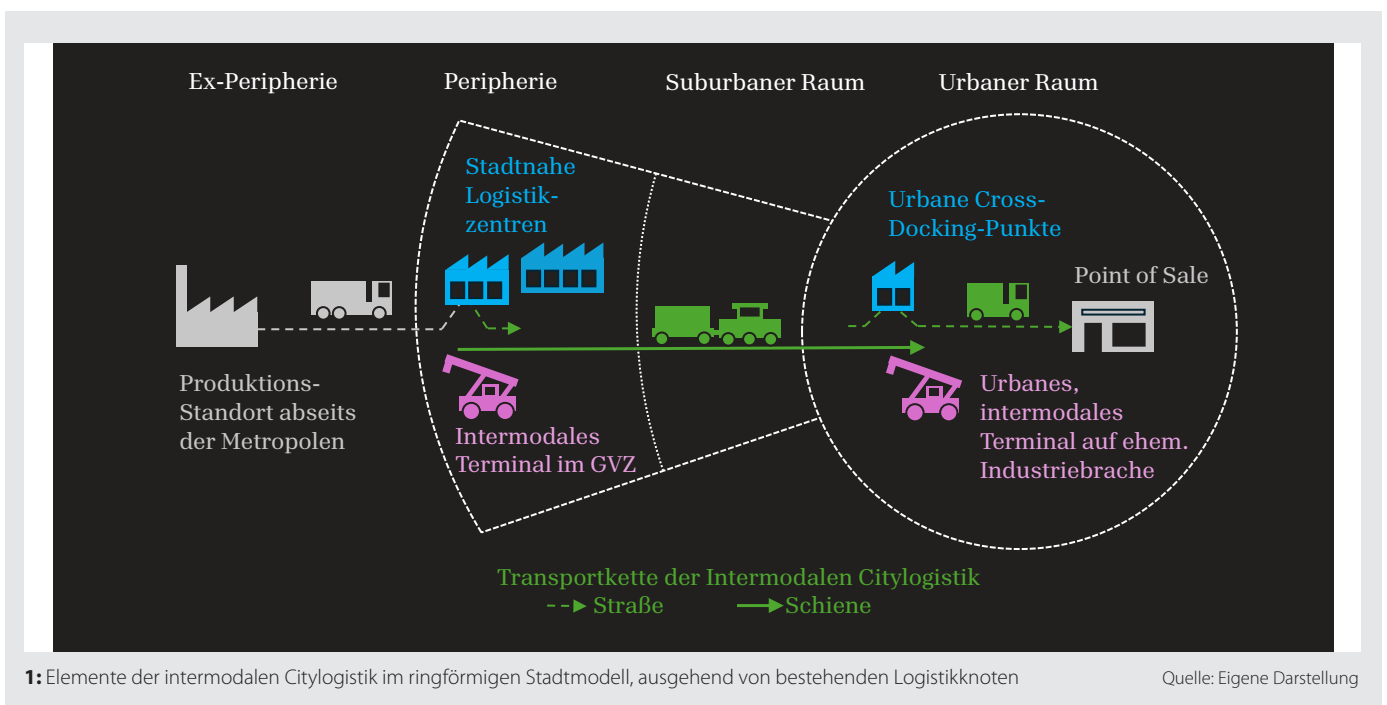
ropäischen Städten vermutet werden, die zu Zeiten der Industrialisierung von einem dichten Eisenbahnnetz durchzogen waren und anschließend die Phase der Deindustrialisierung durchlaufen haben.

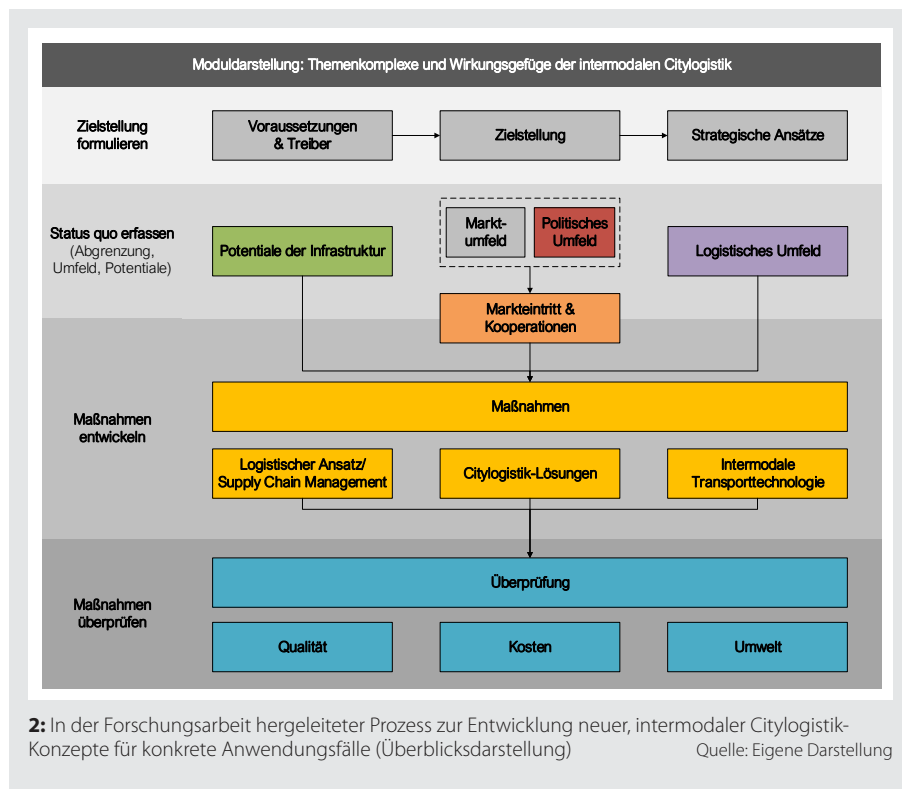
Auf solchen Potenzialflächen können unterschiedliche urbane Knoten neu errichtet werden (vgl. Tabelle 1).

Als Pendant zu den urbanen Senken bieten Güterverkehrszentren (GVZ) in der Peripherie der urbanen Räume sehr günstige Voraussetzungen als Quellen der Warenströme. GVZ sind oftmals schon heute der Ausgangspunkt für die Versorgung urbaner Räume, allerdings ausschließlich per Lkw. Die in den GVZ häufig vorhandenen Gleisanschlüsse und Terminals lassen sich für den Aufbau einer intermodalen Citylogistik ohne zusätzliche Investitionen und Baumaßnahmen nutzen. So entsteht die in Abb. 1 gezeigte Transportkette.

Maßnahmen zur Stärkung der Citylogistik

Um diese Chancen im Sinne einer nachhaltigeren Logistik zu nutzen, müssen mehrere Akteure kooperativ auf die Optimierung der Transportkette hinwirken: Verlader, Spediteure, Eisenbahnunternehmen und Terminalbetreiber. Des Weiteren üben die Vertreter der öffentlichen Hand durch die Gestaltung des Marktumfeldes einen entscheidenden Einfluss auf die Rahmenbedingungen aus. Jeder dieser Akteure hat unterschiedliche Handlungsspielräume, mit denen eine intermodale Citylogistik





entweder gefördert oder erschwert werden kann. Ein ökonomisch, ökologisch und qualitativ wettbewerbsfähiges Transportkonzept kann nur entstehen, wenn alle Akteure diese Handlungsspielräume optimal zu Gunsten der Citylogistik ausnützen.

Die diesem Artikel zugrunde liegende Forschungsarbeit entwickelt und beschreibt dafür am Beispiel der Distributionslogistik des Lebensmitteleinzelhandels ca. 60 organisatorische und technologische Maßnahmen für alle zuvor genannten Akteure. Diese sind in einen ganzheitlichen Prozess zur Planung intermodaler Citylogistik-Konzepte eingebettet (vgl. Abb. 2). Neben organisatorischen Maßnahmen und Instrumenten des Supply Chain Managements werden klassische technologische Handlungsfel-

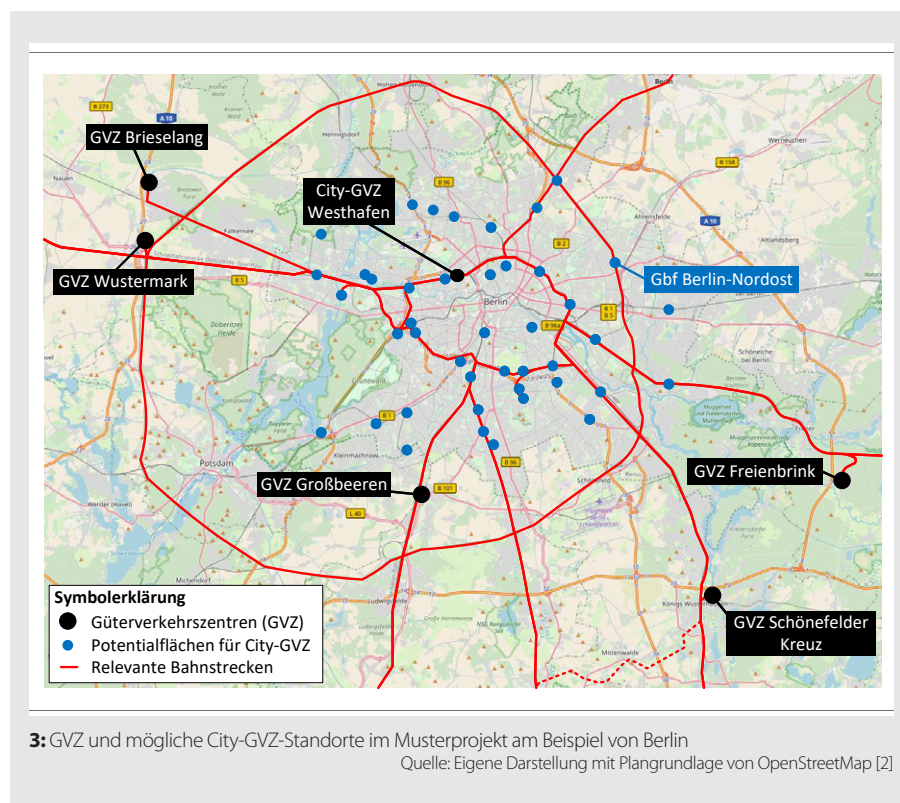
der adressiert. Ausgegangen wird von normierten Europaletten und Rollcontainern als **Ladungsträger**, die in etablierten ISO-Containern, Wechselbehältern oder Sattelauflegern transportiert werden. Eine Notwendigkeit für die Entwicklung kleinerer,

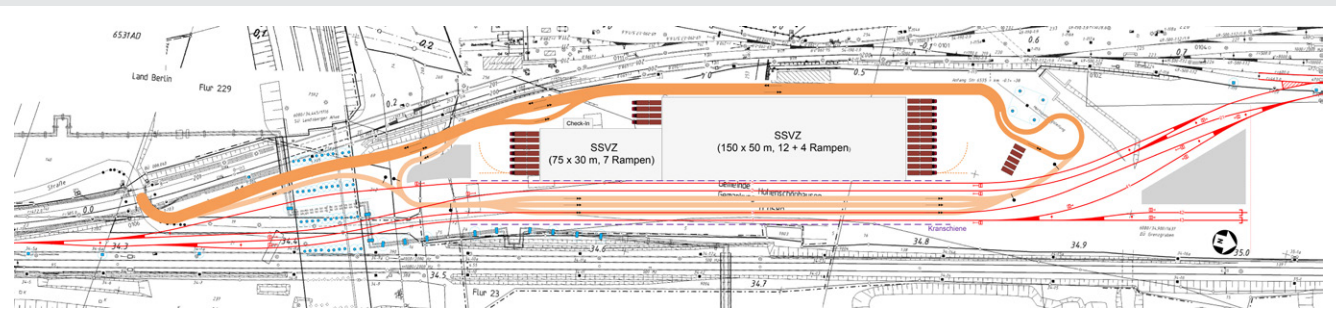
neuartiger Behälter für die Citylogistik wird aus Perspektive der Konsumgüterlogistik nicht gesehen, da die durchgeführten Analysen ausschließlich Schienen- und Straßentransport betrachten. Binnenschiffe, Tram oder Fahrradlogistik sind nicht Gegenstand der Betrachtungen.

Der **Umschlag** zwischen den Verkehrsträgern Straße und Schiene wird in Terminals durchgeführt. Er kann direkt oder mit Zwischenlagerung erfolgen. Umschlagkosten für Verkehrsträgerwechsel fallen nur in multimodalen – nicht jedoch in direkten – Transportketten an und müssen durch einen überproportional günstigen Hauptlauf kompensiert werden. Dies gelingt erst ab bestimmten Mindestentfernungen und ist der maßgebliche Grund, weshalb intermodale Transporte in der kurzlaufenden Citylogistik bisher keine Anwendung finden. Besonderes Augenmerk ist folglich auf die Umschlagtechnik zu legen. Je nach Aufkommen und Flächenverfügbarkeit können sowohl die etablierten Umschlagstechniken Reachstacker und Portalkran als auch innovative Umschlagstechniken, wie z. B. der CargoMover, die wirtschaftlichste Lösung sein.

Bei der Auswahl der Straßenfahrzeuge machen Vergleiche deutlich, welche Effekte sich aus der Umstellung von unimodalen Transporten auf intermodale Transportketten ergeben. Aus dem Einsatz der zuvor

Somit stehen in urbanen Räumen – selten, aber systematisch – eisenbahnerschlossene Brachflächen zur Verfügung, die für den Aufbau von neuen, intermodalen Cityterminals genutzt werden könnten.





4: Skizze für ein mögliches City-GVZ mit SSVZ zur Illustration der Planungsparameter (Hellblau: Bauliche Fixpunkte/ Brückenpfeiler)

Quelle: Eigene Darstellung mit Plangrundlage von DB InfraGO AG

genannten Ladeeinheiten (z. B. Wechselbehälter) ergeben sich einerseits Mindestgrößen für die Lkw und andererseits Nutzlastverringerungen durch das Leergewicht der Ladeeinheit selbst, da es bei Lkw unter 40 t keine Ausnahmeregelungen für höhere Gesamtgewichte gibt. Bei der Auswahl der optimalen Schienenfahrzeuge spielen hingegen das Last-/Längenverhältnis und die Traktionsart entscheidende Rollen.

Ziel der organisatorischen und technologischen Beschreibungen ist nicht die Herleitung eines einzelnen, vermeintlich perfekten Konzeptes, sondern die Darstellung unterschiedlicher Lösungsvarianten einschließlich der Demonstration von Wechselwirkungen zwischen bestimmten Maßnahmen.

Aus dem Spektrum an Maßnahmen kann für konkrete Einzelfälle ein bestimmtes Transportkonzept erarbeitet werden. Hier

ist der Transportpreis als wichtigstes Kriterium anzusehen, gefolgt von verschiedenen Qualitätskriterien, vorrangig der Transportzeit. Dementsprechend ist der Preis die primäre Zielgröße, auf deren Optimierung in der gesamten Forschungsarbeit hingewirkt wird. Aus dem ebenfalls hohen Stellenwert der Transportzeit ergibt sich ein qualitativer Benchmark für neue, intermodale Ansätze. Analysen des Lieferverhaltens im Status quo

Individuelle Sonderdrucke Schaffen Sie Aufmerksamkeit!

Für mehr Informationen besuchen Sie
www.eurailpress.de/sonderdrucke-rail

Wir finden mit Ihnen die beste Ergänzung zu Ihrem Marketingmix, sodass Sie Ihre Reichweite optimal ausnutzen können.

- ▶ Sowohl als Print-Sonderdrucke als auch in digitaler Form
- ▶ Individuelle Erweiterung durch zusätzliche Inhalte
- ▶ Profitieren Sie von der hohen Markenpräsenz der DVZ
- ▶ Zielgruppenspezifisches Werben durch einen nachhaltigen Kommunikationsverstärker
- ▶ Unterstützung Ihrer Kanäle durch hochwertige Fachbeiträge
- ▶ Für Online-Kongresse, Messen oder Symposien
- ▶ Kostengünstige und individuelle Content Marketing Inhalte

Ihre Vorteile:

Werben Sie
mit Ihrem
maßgeschneiderten
Sonderdruck!



DVV Media Group

Interesse? Ihre Ansprechpartnerin: Martina Seemann

lizenzen@dvvmedia.com | 040 237 14 139

DVV Media Group GmbH, Heidenkampsweg 73–79, 20097 Hamburg

ergeben beispielsweise für die Lebensmittellogistik die Forderung nach mindestens ein bis zwei Umläufen pro Tag.

Weitere Eingangsgrößen für die Konzeption des Transportangebotes sind die Arten der Güter und deren Mengen. Die im Fokus der Untersuchung stehende Konsumgüterlogistik ist von starken Mengenschwankungen geprägt. Die Art der Güter lässt sich wiederum anhand der Transportanforderungen systematisieren. Die bedeutendste Unterscheidung ergibt sich hier zwischen dem Trockensortiment und unterschiedlichen Arten von Kühlware.

Das verhältnismäßig wenig anspruchsvolle Trockensortiment ist aufgrund seines hohen Aufkommens, genormter Ladungsträger, Kontinuität und wenig volatiler Netzstruktur ein interessanter Zielmarkt für die intermodale Citylogistik. Die Distributionslogistik des Lebensmitteleinzelhandels in urbanen Räumen dient daher als Anwendungsfall für die vertiefenden Analysen einer intermodalen Citylogistik anhand eines exemplarischen Musterprojektes.

Musterprojekt Berlin

Dieses Musterprojekt illustriert und validiert das entworfene Schema der intermodalen Citylogistik am Beispiel von Berlin. Dabei wird für eine spezifische Relation in der Hauptstadtregion Berlin-Brandenburg auf theoretischer Basis ein intermodales Citylogistik-Konzept geplant. Der gewählte Ansatz zielt auf eine Verlagerung der Transporte zwischen peripheren Güterverkehrszentren (GVZ) und neuen urbanen City-GVZ ab. Im Vordergrund stehen die Planungsschritte und Zusammenhänge, weniger die tatsächliche Umsetzung in der beschriebenen Form.

In Brandenburg sind GVZ als aufkommensstarke Versand- und Empfangspunkte schon heute Brechpunkte für die Berliner Citylogistik. Mehrere dieser GVZ sind an

den Verkehrsträger Schiene angeschlossen. Urbane Logistikknoten, die als Zielpunkt für intermodale Bahntransporte nutzbar wären, existieren gegenwärtig nur im Berliner Westhafen. Darüber hinaus bestehen die eingangs abstrakt hergeleiteten Potenziale zur Errichtung weiterer, urbaner Terminals.

Anhand von Kartenmaterial und Infrastrukturdaten wurden die Standorte der peripheren GVZ sowie mögliche Standorte für neue City-GVZ untersucht, bewertet und verglichen. Im Ergebnis wurden 45 schienen- und straßenseitig erschließbare Brachflächen in Berlin identifiziert (vgl. Abb. 3 auf Seite 50), welche die zu Beginn hergeleiteten räumlichen Potenziale für eine intermodale Citylogistik bestätigen. Die Zukunftsfähigkeit urbaner Bahntransporte hängt davon ab, ob der Erhalt solcher Flächen durch die öffentliche Hand gelingt.

Erkenntnisse der Beispielrelation

In einem vertiefenden Exkurs wurde auf Flächen des Güterbahnhofes Berlin-Nordost ein neues City-Terminal mit integriertem SSVZ als Cross-Docking-Punkt geplant (vgl. Abb. 4 auf Seite 51). Basierend auf fiktiven Musterdaten wurden mehrere Varianten für Transporte zwischen dem GVZ Wustermark und dem neuen Terminal berechnet.

Alle Varianten unterstellen eigenständige Shuttle-Transporte zwischen Quell- und Zielpunkt per Schiene mit einem Vor- und Nachlauf per Straße. Den Berechnungen liegen realistische Kostensätze, Energieverbräuche und Zeitdauern zugrunde, sodass Schlussfolgerungen unter der Prämisse der exemplarischen Transportmengen belastbar sind. Es zeigt sich, dass derartige intermodale Transportketten im aktuellen Marktumfeld unter asymmetrischen Wettbewerbsbedingungen preislich nicht wettbewerbsfähig sind. Dies ändert sich erst durch die Umsetzung weitreichender Maßnahmen von Seiten der öffentlichen Hand, der Anbieter und Nachfrager.

Ein preislich wettbewerbsfähiges Angebot gelingt

- bei vergleichbaren Infrastruktur- und Umweltafgaben für Straße und Schiene,
- unter Ausnutzung weiterer ökonomischer Vorteile aufgrund optimierter Technologien auf der Angebotsseite,
- unter gelockerten zeitlichen Restriktionen auf der Nachfrageseite und
- bei einer Bündelung der Transportmengen durch Kooperation der Versender.

Qualitative Vorteile durch verkürzte Transportzeiten auf der letzten Meile können nur ausgeschöpft werden, wenn der urbane Umschlagpunkt auch als Cross-Docking-Punkt genutzt wird. Varianten, bei denen im urbanen Raum lediglich ein Terminal für den Umschlag zur Verfügung steht, weisen durchweg deutlich höhere Transportdauern auf.

Die CO₂e-Emissionen fallen bei den intermodalen Transportketten je nach Variante um ca. 33-47 % geringer aus als bei unimodalen Transporten. Die Verkehrsleistung im Straßengüterverkehr verringert sich auf 31 %; der Modalanteil der Schiene liegt somit bei 69 %. Die Variante mit dem wettbewerbsfähigsten intermodalen Transportpreis ist im Musterprojekt zugleich die Variante, bei welcher die geringsten Abgasemissionen verursacht werden. Damit zeigen die Untersuchungen, wie die intermodale Citylogistik qualitativ, ökonomisch und zugleich ökologisch wettbewerbsfähig werden kann und welche Herausforderungen es dabei zu überwinden gilt. Wichtigste Voraussetzungen sind jedem Falle der Handlungswille und die Kommunikationsbereitschaft der notwendigen Akteure. ●

DOI 10.61067/260835

Literatur

- [1] Wirth, F.: Intermodale Citylogistik Straße – Schiene, 2025, <https://doi.org/10.26127/BTUOpen-6991>, abgerufen am 17.05.2026
- [2] FOSSGIS e.V. (2021). OpenStreetMap. url: <https://www.openstreetmap.de/>

Summary

Intermodal urban logistics – An opportunity for modal shift in urban areas

Urban freight transport faces a growing conflict between economic benefits and environmental impacts. The study Intermodale Citylogistik Straße – Schiene (Wirth, F., 2025) explores shifting freight from road to rail via intermodal city logistics. It analyzes demand and supply factors and proposes a modular framework using existing infrastructure. While ecological advantages are evident, current costs limit competitiveness, requiring policy and market adjustments.

Die Variante mit dem wettbewerbsfähigsten intermodalen Transportpreis ist im Musterprojekt zugleich die Variante, bei welcher die geringsten Abgasemissionen verursacht werden.

Die digitale Bahnbaumaschine – Automatische Bremsprobe als integraler Bestandteil

Die Anforderungen an den modernen Bahnbau steigen kontinuierlich, nicht nur in Bezug auf die Leistungsfähigkeit von Bahnbaumaschinen, sondern auch in Bezug auf Sicherheitsanforderungen und Regularien. Speziell Forderungen zum Schutz der Eisenbahninfrastruktur steigen – während Bauarbeiten ebenso wie bei Überstellfahrten, geschleppt oder in Eigentraktion. Damit entwickeln sich Systeme zur Digitalisierung und Aufzeichnung von Fahrdaten sowie auch Systeme zur Unterstützung von Überprüfungsabläufen weiter. Im Bereich der Datenerfassung ist die Plasser Datamatic bereits seit vielen Jahren für Bahnbaumaschinen von Plasser & Theurer verfügbar und entwickelt sich stetig weiter. Eine potenzielle Erweiterung im Bereich der Überprüfung der Bremsen eines Zugverbandes ist die Automatische Bremsprobe des Herstellers PJM. Diese kann durch Aufbau des Systems WaggonTracker auch in Bahnbaumaschinen integriert werden und somit die Plasser Datamatic um weitere Funktionen und Messwerte ergänzen. Plasser & Theurer adressiert durch die optionale Aufrüstung vor allem das Risiko, dass bei manueller Überprüfung der Schleppbereitschaft von Bahnbaumaschinen aufgrund von menschlichem Versagen angezogene Handbremsen übersehen werden können. Die Konsequenzen einer Schleppfahrt mit angezogenen Bremsen reichen von Schäden an der Infrastruktur bis hin zu Maschinenbränden mit potenziell katastrophalen Folgen.



Automatische Bremsprobe

Das primäre Entwicklungsziel der Automatischen Bremsprobe (ABP) lag in der Etablierung eines standardisierten und grenzüberschreitenden Bremsprobenprozesses. Durch Einsatz moderner Telematik- und Sensortechnologien wird die sicherheitsrelevante Überprüfung der Bremsen im Zugverband automatisiert.

Mit dieser Innovation geht eine Weiterentwicklung des Prozesses einher: Die Durchführung der Bremsprobe wird schrittweise durch ein fahrzeugseitig integriertes, technisches System unterstützt, das auf jedem einzelnen Wagen eines Verbundes installiert ist und die betrieblichen Abläufe ergänzt.

Initiierung, Überwachung und Auswertung der Bremsprobe erfolgen digital über eine spezifische Bremsprobe-Applikation. Die softwareseitige Verknüpfung stellt sicher, dass alle Prüfergebnisse transparent, eindeutig und manipulationssicher im System hinterlegt werden. Auf diese Weise werden lückenlose digitale Dokumentationen sowie jederzeitige Reproduzierbarkeit der Prüfergebnisse gewährleistet.

Brems-Monitoring mit WaggonTracker

Die Automatische Bremsprobe sowie sämtliche Überwachungsfunktionen laufen über ein System. Der WaggonTracker erfasst kontinuierlich allgemeine Zustandsdaten und übermittelt die Datensätze per Mobilfunk an ein zentrales Web-Portal, wie in Abbildung 1 dargestellt.

Um ein vollständig energieautarkes und leistungsstarkes System zu gewährleisten, wird die benötigte Betriebsenergie primär über einen fahrzeugseitigen Achslagergenerator erzeugt. Eine zusätzliche Batterie hält die Systemfunktion auch im Stillstand des Wagens lückenlos aufrecht.

Sämtliche Monitoring-Funktionen bleiben auch im „Offline-Betrieb“ aufrecht, was im Bahnalltag der Baumaschinen ein wichtiges Kriterium ist. Das bedeutet, dass das Monitoring-System immer aktiv ist, selbst wenn die Baumaschine ausgeschaltet ist (z. B. während des Parkens oder bei der Überstellung), ebenso wie die Kombination aller Applikationen (ABP und Monitoring-Funktionen) und die Anbindung an die bestehen-



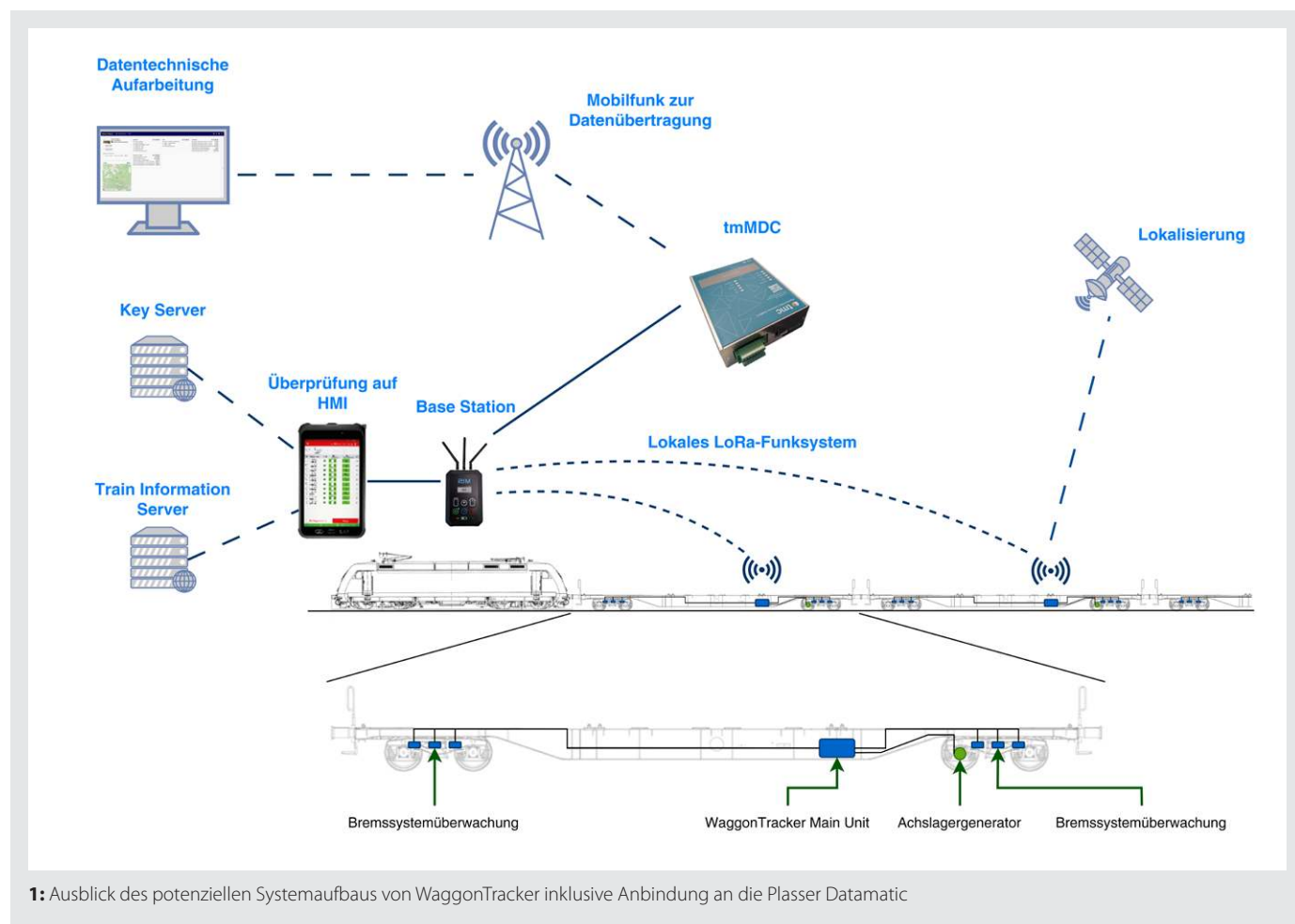
Dipl.-Ing. Fabian Aulinger
Teamleader Design Engineering,
Franz Plasser Vermietung von
Bahnbaumaschinen GmbH,
AT-Purkersdorf
fabian.aulinger@
plassertheurer.com



Fabian Steininger, M. Sc.
Produktmanager, tmc (Track
Machines Connected), AT-Linz
fabian.steininger@
tmconnected.com



Christoph Lorenzutti, B. Sc.
COO, PJ Monitoring GmbH,
AT-Graz
lorenzutti@pjm.co.at



den Datensysteme (Plasser Datamatic) der Baumaschinen.

Das Brems-Monitoring ermittelt umfangreiche Daten im Stillstand und während der Fahrt, wie Informationen zur Funktionsfähigkeit der Bremsen, zu möglichen Fehlbedienungen, zu defekten oder überlasteten Bremsen, zum Verschleiß sowie zur voraussichtlich verbleibenden Funktionsdauer. In kritischen Situationen wird eine Warnung an den Lokführer abgesetzt.

Konkret werden ermittelt: Bremsereignisse (Betriebs-, Voll- und Schnellbremsung), korrekte Funktion der Bremsanlage am Fahrzeug (Einhaltung der Druckverhältnisse HLL/C/T, Brems- und Lösezeiten, umgesetzte Bremsenergie – thermische Beanspruchung und Gesamtverschleiß), Drehgestelllasten- und Fahrzeuggewicht (Wiegeventildruck). Im Bahnalltag ist die Kontrolle der Handbremse von wesentlicher Bedeutung (gelöste Handbremse vor der Abfahrt).

Zusätzlich bietet der WaggonTracker Möglichkeiten zur kontinuierlichen Überwachung der Temperatur der Achslager, um Heißläufer zu detektieren, sowie opti-

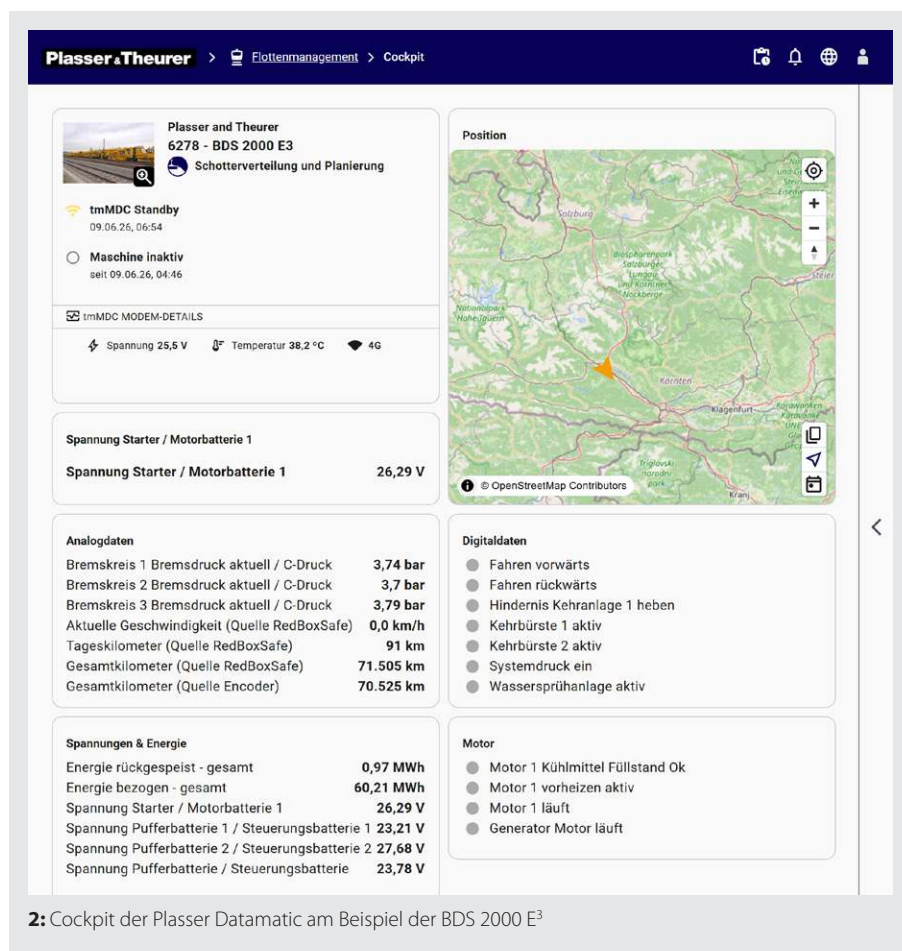
onale Auflaufstoß-Überwachung, um potenzielle Schäden am Fahrgestellrahmen durch Überbelastung zu erkennen.

Versuchsmaschinen BDS 2000 E³ und MFS 120 RC

Vorrangiges Ziel des Projekts, die Aufrüstung der Schotterverteiler- und Planiermaschine „BDS 2000 E³“ und der Materialförderereinheit „MFS 120 RC“ mit dem System WaggonTracker von PJM, ist die Minimierung des Risikos von Schleppfahrten mit angelegten oder teilweise angelegten Handbremsen. Zusätzlich wird dem Maschinenbediener oder dem Übersteller ein digitales Hilfsmittel geboten, das den Status der Bremse auch während der Schleppfahrt ohne aktives Bordnetz der Bahnbaumaschine abfragen kann. Als weitere Aufgabe übernimmt der WaggonTracker aufgrund der autonomen Energieversorgung die stetige Aufzeichnung von Brems- und Fahrdaten inklusive Temperaturüberwachung der Achslager und soll damit die Plasser Datamatic in ihrem Funktions- und Datenerfassungsumfang erweitern.

Die Plasser Datamatic ist eine Digitalisierungslösung der neuesten Generation. In Umfang und Tiefe einzigartig bei Gleisbaumaschinen, eröffnet sie äußerst wirksame Möglichkeiten, Betrieb und Wartung zu optimieren. Alle auf der Maschine gesammelten Daten werden sicher übertragen, in einer zentralen Cloud-Plattform gespeichert und sind über einen Web-Browser im Office und von unterwegs zugänglich, siehe Abbildung 2. Hier lassen sich wichtige Infos wie der Maschinenstatus live überblicken, automatisierte Berichte abrufen und akute Warnungen erkennen. Die Langzeitauswertung von Daten ermöglicht die Ableitung von Trends, Optimierungen in der Baustellenplanung und flottenübergreifendes Vergleichen der Maschinenleistung. Darüber hinaus sind auch Zusatzfunktionen wie Fernwartungsmöglichkeit über sichere Kanäle oder Auflaufstoßerkennung verfügbar. Spezialisierte Systeme wie der WaggonTracker lassen sich ebenso integrieren.

Die Schotterverteiler- und Planiermaschine BDS 2000 E³ besteht aus einer Schotteraufnahmeinheit inklusive Antriebswagen



und einer Schotterspeicher- und Verteilereinheit, die entweder direkt oder über eine/mehrere Materialfördereinheit(en), wie die MFS 120 RC, mit der Schotteraufnahmeinheit verbunden wird. Somit ergibt sich ein Zugverband von drei unabhängigen Einheiten, wie er auch im realen Baustelleneinsatz zu finden und in Abbildung 3 dargestellt ist, der optimal für Feldversuche unter Realeinsätzen genutzt werden kann. Jeder trennbare Maschinenteil verfügt über eine indirekte Bremse mit durchgehender Hauptluftleitung (HL) und Feststellbremsen mit Spindelantrieb. Zusätzlich sind zur Anpassung der Bremscharakteristik an den Beladungszustand G/P-Steller und bei der MFS 120 RC ein Wiegeventil verbaut.

Der WaggonTracker inklusive Achsgenerator und den jeweilig notwendigen Sensoren wurde somit auf jedem der drei trennbaren Maschineneinheiten aufgebaut. Am Beispiel der MFS 120 RC ergibt sich eine Erweiterung um 16 Temperatursensoren, 7 Drucksensoren und 6 Induktivsensoren, die individuell an die Maschine angepasst aufgerüstet wurden.

Abbildung 4 zeigt hierzu den bereits verbauten WaggonTracker.

Aufgrund der Nutzung des Verbandes bei sehr niedrigen Arbeitsgeschwindigkeiten wurde der WaggonTracker um eine zusätzliche Energieversorgung vom Bordnetz der Bahnbaumaschine erweitert, da die

Sonderausführungen der Achsgeneratoren erst bei höheren Geschwindigkeiten, wie sie bei Überstellfahrten anzutreffen sind, ausreichend Energie liefern.

Im Rahmen der Inbetriebnahme wurden die Bremsdruckbereiche zur Erfassung der Bremszustände definiert und zusätzlich drei unterschiedliche Fahrmodi definiert: Stillstand, Überstellfahrt oder Arbeitsbetrieb mit individuellen Übertragungsintervallen der Monitoring-Daten. Die abgefragten Daten im Rahmen der Automatischen Bremsprobe werden nach Beendigung der Überprüfung der Bremse an das Web-Portal übermittelt und können jederzeit abgerufen werden.

Erkenntnisse und Ergebnisse der Versuchsmaschinen

Von der Funktionalität der Automatischen Bremsprobe profitiert in erster Linie das Personal, das die Bremsprobe durchführen muss. Es wird anhand einer leicht verständlichen Menüführung durch den Prozess geleitet und bei jedem Schritt der Bediener durch automatische Abfragen unterstützt. Treten Abweichungen von den vorgegebenen Soll-Bereichen auf, werden diese protokolliert und die Automatische Bremsprobe kann nicht abgeschlossen werden, wie es in Abbildung 5 anhand einer eingebremsten Betriebsbremse und einem unbekannten Status der Feststellbremse der ersten Maschine der gewählten Wagenreihung dargestellt wird.

Als Hersteller von Bahnbaumaschinen liegt der Vorteil der Automatischen Bremsprobe in der erfolgreichen Vermeidung von



3: Zugverband bestehend aus der BDS 2000 E³ mit eingereihter MFS 120 RC



4: Aufbau des WaggonTracker auf der MFS 120 RC

Schäden durch geschleppte Maschinen mit angelegten Handbremsen oder defekten Bremsen und die automatisch dokumentierte Kontrolle vor Fahrtantritt.

Für Plasser & Theurer ergeben sich auf Basis der aufgezeichneten Messdaten inklusive Fernzugriff per Web-Applikation weitere Vorteile. Die aufgerüsteten Einheiten können jederzeit auch nach Überstellfahrten ohne aktives Bordnetz verortet werden und somit kann das Maschinenpersonal oder Wartungspersonal zielgenau zum Einsatzort dirigiert werden. Zusätzlich werden alle Fahrten dokumentiert, wodurch Laufleistung und Fahrtrichtung detailliert nachvollzogen werden können und besondere Umstände wie Übertemperatur der Radlager oder Überschreitung der Zulassungsgeschwindigkeit mit automatischen Benachrichtigungen per E-Mail oder direkt an das Tablet des Bedienpersonals übermittelt werden können. Zusätzlich kann Geo-Fencing eingerichtet werden, um gesonderte Überwachung für das Verlassen und Einfahren in vorab definierte Bereiche festzulegen.

Ausblick

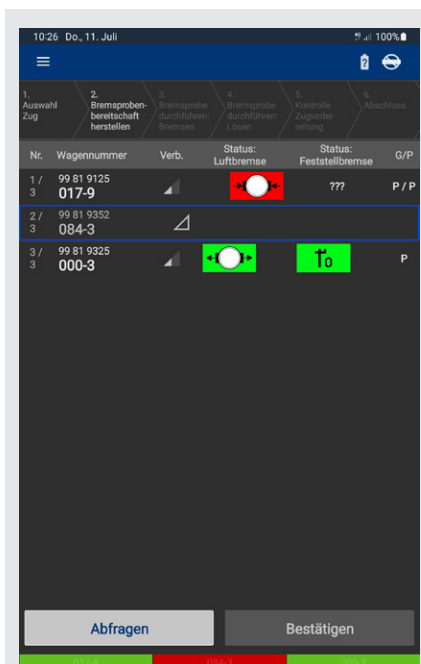
Um das volle Potenzial des Systems dem lokalen Nutzer, also dem Personal, das die Bremsprobe durchführt oder den Verschub vornimmt, bereitstellen zu können, ist eine herstellerübergreifende Nutzung eines einheitlichen Systems unumgänglich. Dafür

bietet der WaggonTracker von PJM gute Voraussetzungen.

Durch Integration des WaggonTracker von PJM bietet Plasser & Theurer eine umfangreiche Dokumentation von Fahr- und Bremsdaten, auch ohne aktives Bordnetz, inklusive der Funktionalität der Automatischen Bremsprobe an. Durch zukünftige direkte Integration der Daten des WaggonTracker in die Plasser Datamatic kann die Planung der Instandhaltung um Messdaten der Achslager und Bremsen inklusive der Funktion der Automatischen Bremsprobe erweitert werden und damit zur detaillierten Zustandserfassung und Funktionalitätserweiterung der Bahnbaumaschinen von Plasser & Theurer beitragen. •

Literatur

- [1] https://www.plassertheurer.com/fileadmin/user_upload/Mediathek/Publikationen/ETR_001-002_26_Rothschedl.pdf.
- [2] https://www.plassertheurer.com/fileadmin/user_upload/Mediathek/Publikationen/Eurail_EI_2024_003_EI_003_24_6-10.pdf.
- [3] https://pjm.co.at/wp-content/uploads/2020/12/ETR_ABP1220eBook.pdf.



5: Zwischenschritt der Überprüfung der Bremsbereitschaft im geführten Ablauf der Automatischen Bremsprobe

Summary

The digital railway construction machine – automatic brake testing as an integral component

The demands placed on modern railway construction are constantly increasing, not only in terms of the performance of railway construction machinery, but also in terms of safety requirements and regulations. As a result, systems for the digitalisation and recording of operational data, as well as systems to support inspection procedures, are developing rapidly. In the field of data acquisition, the Plasser Datamatic has been available for Plasser & Theurer railway construction machinery for many years. A potential extension in the area of checking the brakes of a train set is the automatic brake test. This can also be integrated into railway construction machinery by installing the WaggonTracker system, thereby supplementing the Plasser Datamatic with additional functions and measurement values. With this optional upgrade, Plasser & Theurer is primarily addressing the risk that, during manual checks of railway construction machinery's towing readiness, applied handbrakes may be overlooked due to human error. The consequences of towing with the brakes applied range from damage to the infrastructure to machinery fires.

Im täglichen Einsatz gegen Lärm

Seit diesem Jahr setzt die Rheinbahn in Düsseldorf eine Schienenschleifmaschine der neuesten Generation ein. Nach gut zehn Jahren löst der ‚Noisebuster‘ den Prototypen des HSG-city ab.



Um auf einer Schieneninfrastruktur mit mehr als 340 km Gleislänge, die mit Düsseldorf, Neuss, Duisburg und Krefeld gleich vier Großstädte und etwa 1,2 Millionen Einwohner miteinander verbindet, für leise Schienen zu sorgen, vertraut die Rheinbahn seit 2014 auf den HSG-city von Vossloh.

Ein Ausrufezeichen im Nahverkehr

Als das Düsseldorfer Unternehmen 2014 von Vossloh den allerersten HSG-city kaufte, setzte sie ein Ausrufezeichen in der Branche. Der Betreiber setzte auf eine im Nahverkehr völlig neue Schleiftechnologie: das High Speed Grinding (HSG). Nachdem zuvor bereits verschiedene Lärminderungsmaßnahmen sondiert, ausprobiert und wegen unzureichender oder unwirtschaftlicher Ergebnisse auch wieder verworfen wurden. Im Gegensatz dazu bot die kompakte Schleifmaschine sowohl die technologischen als auch wirtschaftlichen Voraussetzungen, ein abgestimmtes, langfristig präventiv angelegtes Instandhaltungskonzept aufzusetzen, welches der Maximierung der Schienenliegedauer dient und gleichzeitig zu einer nachhaltigen Lärmreduzierung beiträgt. Während mit dem großflächigen Einsatz des HSG-city erstmalig über einen langen Zeitraum eine gleichmäßig gute Oberflächenqualität über das gesamte Netz erzielt werden

konnte, ermöglichte der Grinder auch die notwendige Flexibilität in Bezug auf Einsatzzeiträume und -möglichkeiten (Abb. 1). In Kombination mit der favorisierten Unimog-Lösung lässt sich das Bearbeitungsziel von mindestens 60 km Strecke pro Schicht bei bis zu 30 km/h sicher erreichen.

Das regelmäßige Entfernen der hauchdünnen, aufgehärteten Randschicht (< 0,1 mm) wirkt der Entstehung von Schienenfehlern im Ansatz an Fahrkante (Head Checks) und Fahrfläche (Riffel) entgegen. Auf lange Sicht führt dieser häufigere, dafür geringere künstliche Verschleiß zu niedrigeren Lebenszykluskosten; die Verschleißreserve wird geschont und die Schienenlebensdauer verlängert. Zusätzlich wird die Schleifmaschine auf vorübergehend stillgelegten Streckenabschnitten oder nach Baustelleneinsätzen zum Reinigen sowie zum Walzhaut-Schleifen von Neuschienen eingesetzt. Der Erstlagenschliff beseitigt bauseitige Schienenfehler und ist der optimale Beginn der Prävention.

Im (Spät-)Herbst steht die Schmierfilmbeseitigung im Vordergrund. Durch Laub und Luftverunreinigungen oder nach langen Trockenfahrten entstehen bei einsetzendem Regen Schmierfilme auf der Schiene, wodurch die Betriebssicherheit beim Anfahren oder Bremsen beeinträchtigt werden kann. Das Schmierfilm-Schleifen verbessert den Kraftschluss zwischen Rad



Andreas Busch

Teamleiter Schweißen & Teamleiter Weicheninstandhaltung, Rheinbahn AG, Düsseldorf
andreas.busch@rheinbahn.de



Lukas Thomalla

Teamleiter Gleisbauwerkstatt und stellv. Abteilungsleiter Fahrwege, Rheinbahn AG, Düsseldorf
lukas.thomalla@rheinbahn.de

und Schiene und erhöht die elektrische Leitfähigkeit.

Was macht HSG effektiver gegen Schienenlärm?

Eine wesentliche Lärmwirkung geht von Schienenlängsfehlern (z. B. Riffel) aus. Riffel sind Fahrflächenirregularitäten, die aufgrund hoher dynamischer Beanspruchungen (z. B. permanentes Anfahren bzw. Bremsen) in Verbindung mit Werkstoffumwandlung und Verschleiß entstehen und üblicherweise auf der Schienenoberfläche in geraden Gleisabschnitten durch die schleifende Abnutzung oder in Bögen mit



1: HSG-city im Einsatz 2016 auf der Grafenberger Allee in Düsseldorf

Quelle: Vossloh



2: Feierliche Zeremonie anlässlich des Kaufs auf der iaf 2025 in Münster

Quelle: Vossloh

größeren Radien auftreten. Je nach Ausprägung sind die Wellen 2 bis 10 cm lang und 0,01 - 0,4 mm tief.

Für eine effektive Wellen- und Riffelbeseitigung sollte eine in die Länge gezogene Kontaktlinie Anwendung finden (Abb. 1). Nur so ergibt sich eine homogene Längskontur beim Beschleif. Die Kombination aus starrem Schleifbalken und nicht angetriebenen Umfangschleifkörpern führen bei der HSG-Technologie zu einer kontinuierlichen Verbesserung der Längswelligkeit und wirken so dem Problem der lärmproduzierenden Riffel entgegen. Mit einem gleichmäßigen und kontrollierten Materialabtrag von 0,1 mm in mehreren Überfahrten entfernen die Schleifkörper nicht nur die versprodete Oberfläche; Ansätze von Riffelbergen und Schlupfwellen werden geglättet, so dass eine Geräuschreduzierung um bis zu 10 dB (A) erzielt werden kann. Verfahrensbedingt (passiv angetriebene Schleifsteine) erzeugt HSG keine Querriefen und ein Überhitzen oder Einschleifen (Blauschleif) ist ausgeschlossen.

Ziel und Versprechen des smarten Schleifmaschinen-Upgrades ist eine Transformation der Schieneninstandhaltung durch eine höhere Transparenz im gesamten Prozess.

Der konsequente nächste Schritt

Allerdings war der Prototyp nach zehn Jahren störanfällig und Reparaturen mühselig oder gar nicht möglich, weil Ersatzteile fehlten. Schleifschichten fielen aus, die Akzeptanz sank, was intern wie extern Spuren hinterließ. Der schleiftechnische Nachholbedarf wuchs an. Also bestellte das Düsseldorfer Unternehmen einen neuen HSG-city (Abb. 2).

Die Zusammenarbeit ist sehr partnerschaftlich; die Mitarbeitenden wurden früh im Projekt eingebunden. Fahrer und Instandhalter des HSG-city waren regelmäßig bei Vossloh in Hamburg, haben am Fahrzeug mitgearbeitet und die Technik von Grund auf kennengelernt. So ist in Düsseldorf eine Art „HSG-Spezialisten-Team“

entstanden, dass das Fahrzeug nicht nur bedient, sondern sichtbar „lebt“.

Durch die gemeinsamen Workshops und intensiven Schulungen, dank der offenen Kommunikation und des direkten Technischen Supports hat sich die Zusammenarbeit über die letzten Jahre intensiviert.

Seit Februar 2026 ist der neue, liebevoll ‚Noisebuster‘ genannte HSG-city #36 im Dauereinsatz (Abb. 3) und hat bereits mehr als 1000 Kilometer im Bediengebiet erfolgreich geschliffen. Schon jetzt zeigen sich im Netz sichtbare und spürbare Verbesserungen:

- Der neue HSG-city ist wesentlich leistungsfähiger, der Abtrag effektiver und er arbeitet noch sauberer.
- Eine substantielle Schleifleistung erzielt er bereits ab Geschwindigkeiten von 8 km/h – ein entscheidender Vorteil im innerstädtischen Stop-and-Go, um z. B. auch im Bereich von Ampelanlagen eine flächendeckende Schienenbearbeitung sicherzustellen.
- Auf den ersten Streckenabschnitten wurden in sehr kurzer Zeit hochwertige Ergebnisse erzielt. Hervorzuheben ist das Neulagenschleifen auf der neuen Flughafenstrecke U81.
- Essenziell: Nach den jüngsten Einsätzen gehen die Anwohner-Beschwerden deutlich zurück.
- Und der neue HSG-city ist smart.

LRS als Gamechanger

Bislang erfolgte die Planung der Schleifeinsätze häufig auf Erfahrungswerten oder auf



3: Seit Anfang 2026 sind leise Schienen die Mission des ‚Noisebuster‘

Quelle: Rheinbahn

Zuruf, z. B. wenn sich Anwohner-Beschwerden häuften. Mit Einführung des LRS (Laser Rail Scanning) soll sich das zukünftig grundlegend ändern. Mehrere, vollständig in die kompakte Schleifmaschine integrierte Laser-Sensoren erfassen den Schienenzustand und überprüfen die Gleisgeometrie. Erfasst werden sowohl das vollständige Längs- als auch Querprofil inkl. Schienenkopfabweichung und Abnutzung (zur Ableitung der Verschleißreserve). Darüber hinaus wird die Spurweite gemessen, wobei sämtliche Zustandsdaten metergenau erfasst und eindeutig lokalisiert werden.

Das Personal der Rheinbahn wurde vollumfänglich im Umgang mit dem LRS-System geschult. Nach Abschluss der ersten kompletten Messkampagne und der intuitiven Visualisierung des Gleiszustands in Ampelfarben als gut, schlecht und kritisch in der Vossloh-Software mapl-e werden die Anlagenverantwortlichen des Betreibers wissen, wie der aktuelle Ist-Zustand aussieht und ein fundiertes Schleifkonzept aufsetzen können. Um die Verschleißentwicklung besser beurteilen zu können, werden Messkampagnen mehrmals im Jahr stattfinden – immer dann, wenn nicht geschliffen wird. Denn die hochwertige Sensorik soll nicht dauerhaft unter dem HSG-city montiert sein, sondern nach Bedarf zur Anwendung kommen. Das LRS ist innerhalb von 30 Minuten montiert – ein Kompromiss, der Sicherheit, Flexibilität und Investitionsschutz verbindet.

Herausforderung RheinTakt: Engere Intervalle, weniger Sperrpausen

Parallel zum technischen Fortschritt hat sich auch das Umfeld verändert: Mit dem RheinTakt 1 erfolgte 2024 eine umfassende Verdichtung und Harmonisierung auf vielen Bus- und Bahnlinien. Dies bedeutet neben einem Linienzusammenschluss auch eine veränderte Taktung (Straßenbahnen fahren bspw. im 10 bis 15 Minuten Abstand) für ein Anschlussversprechen. Vor Feiertagen, Wochenenden und Kirmes wird durchgefahren.

Zukunftsvision:
Der ‚Noisebuster‘ arbeitet
komplett präventiv
im Verkehr.

Für die Infrastruktur bedeutet das: weniger Zeitfenster für Arbeiten im Gleis. Starteten Schleifschichten früher häufig schon gegen 21 oder 22 Uhr, muss heute je nach Linie genau geprüft werden, wann und wo der ‚Noisebuster‘ überhaupt ins Netz kann.

Aktuell ist die Schleifgeschwindigkeit von rund 27 km/h völlig ausreichend. Pro Schicht werden ca. 110 km Schienenstrecke schleiftechnisch bearbeitet. Mittel- bis langfristig ist jedoch mit verkürzten Sperrpausen zu rechnen. Der Wunsch ist, dass der ‚Noisebuster‘ im Verkehr mitfahrend komplett präventiv arbeiten kann – idealerweise in zwei Schichten. Dies würde bedeuten:

- Ein kontinuierlich gepflegtes Netz, bei dem Schleifen nicht „Projekt“, sondern Routine ist – wie tägliches Zähneputzen.
- Eine spürbare und dauerhafte Entlastung der Anwohnenden.

- Weniger Schäden an Schiene und Unterbau, um kostenintensive Großmaßnahmen zu verhindern.

Ein Stück Identität

Der ‚Noisebuster‘ ist längst mehr als eine Schleifmaschine. Er ist Symbol für einen Kulturwandel: weg von „das war schon immer so“ hin zu einer datenbasierten, präventiven und kundenorientierten Infrastrukturpflege. Ein sichtbares Zeichen, dass die Rheinbahn das Thema Lärm nicht nur ernst nimmt – sondern aktiv gestaltet. •

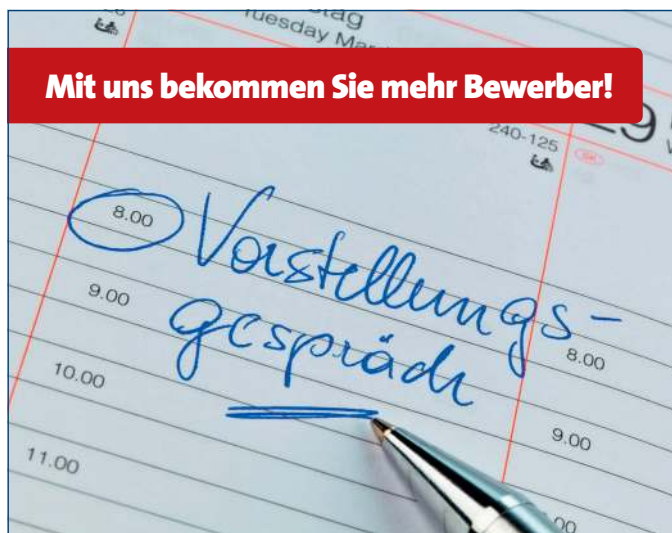
Summary

Daily operations against noise

Since this year, Rheinbahn in Düsseldorf has been using a state-of-the-art rail grinding machine.

After more than ten years, the ‚Noisebuster‘ replaces the HSG-city prototype.

Mit uns bekommen Sie mehr Bewerber!



Ihr Fachmann für Stellenanzeigen:

Tim Feindt

tim.feindt@dvvmedia.com

+49 40 237 14 220



**Eurail
press**

Die Stahlschwelle auf neuen Wegen – eine Betrachtung der Umwelt-, Kreislauf- und Resilienzanforderungen

Regierungen und Bahninfrastrukturbetreiber wollen weltweit Resilienz und Kreislaufwirtschaft fördern, CO₂-Reduktionspotenziale heben und die Wirtschaftlichkeit des spurgeführten Verkehrs weiter verbessern. Der Druck, Lösungen zur Verbesserung der Umwelt-, Kreislauf- und Resilienzanforderungen zu entwickeln, ist daher enorm. Das Umsetzen von Nachhaltigkeitsinnovationen im Bahnbau scheitert oftmals an Beschaffungsstrukturen und -regeln. Dennoch will die Deutsche Bahn zum Leitmarkt der Dekarbonisierung werden.¹⁾ Bis 2029 sollen sich die Lieferanten, die 66 % der Scope 3.1 und 3.2 Emissionen des DB-Konzerns ausmachen, zu wissenschaftsbasierten Klimaschutzziele verpflichten (sog. Supplier Engagement Target – SET)²⁾. Eine Möglichkeit, diese Bemühungen von Lieferantenseite zu unterstützen, können im E-Stahlproduktionsverfahren hergestellte Stahlschwellen sein und hierdurch Teil des Rückgrats eines dekarbonisierten Bohnoberbaues und einer Resilienz Strategie werden.



Die Stahltragschwelle ist eine seit den 1920er Jahren weltweit erfolgreich eingesetzte Querschwellenkonstruktion, in unterschiedlichsten Varianten für

1) FAIRconomics, Grüner Stahl für die Schiene: Wie die Deutsche Bahn zum Leitmarkt der Dekarbonisierung werden soll, 05.11.2025 und Drucksache 21/3018, 02.12.2025 Kleine Anfrage der Bundestagsfraktion Bündnis 90/Die Grünen.

2) BVMB, Klimaschutzanforderungen der Deutschen Bahn: Update Supplier Engagement Target (SET) - Online-Informationsveranstaltung; E-Mail 07.05.2026.

verschiedenste Einsatzzwecke, bisher jedoch stets nach dem Trogswellenprinzip. In Deutschland werden sie in der Ausführung DB St82 gefertigt und in der Regel in Längen von 2,4 m bzw. 2,6 m in Stahlgüte S275 JR eingesetzt, in anderen Längen auch als Brücken- und Weichenschwellen.

Alternativ zur Stahltragschwelle gibt es nun eine Stahlvollblockschwelle, DURSLEEPER, seit August 2025 zur Betriebserprobung durch das Eisenbahn-Bundesamt



Dr. Rolf Wendler

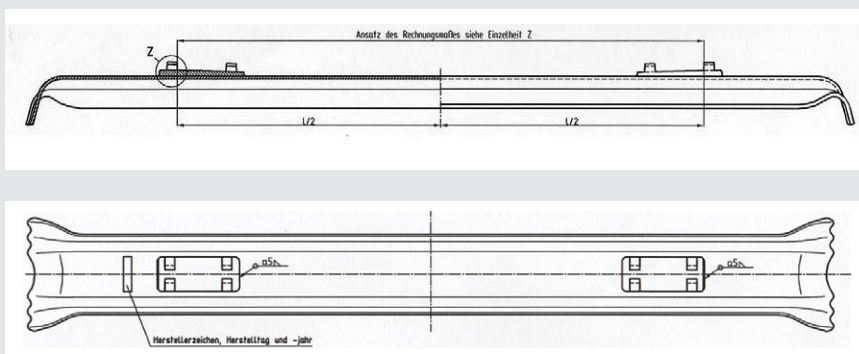
35 Jahre leitend in Stahlwerk Thüringen GmbH tätig, insbes. zuständig für Weiterentwicklung und Verkauf von Stahl Gleisoberbauprodukten, heute selbständig beratend tätig

info@rolf-wendler.com



Jörg Frenzel

Geschäftsführer HYPERION Verwaltung GmbH
j.frenzel@hyperion-ip.eu



1: Zeichnung Stahltragschwelle DB St82

zugelassen.³⁾ Die DURSLEEPER wird werksseitig zentral oder regional dezentral maschinell mit einem Schotter-Polyurethan-Compound Inlay versehen und wandelt so die konventionelle Stahltragschwelle in

3) Mit Schreiben vom 08.08.2025 – 215.2-215izoz/006-2101#002-(545/25-ZzB) - wurde der Firma HYPERION Verwaltung GmbH, Rohstorf 7, 21397 Vastorf die Zulassung zur Betriebserprobung für die DURSLEEPER Stahlschwellen mit Finnen und Schotter-Compound Inlay, erteilt.

eine innovative Stahlvollblockschwelle mit verbesserten Eigenschaften.

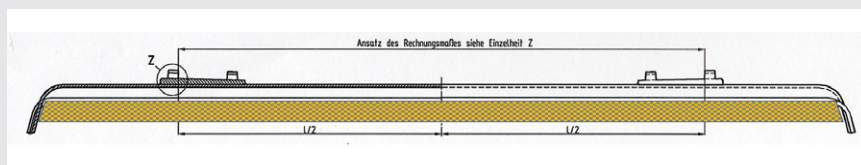
Der Trog der Stahlschwelle wird hierbei mit Gleisschotter gefüllt, dieser dann verdichtet und danach werden die Lücken zwischen den Schottersteinen dauerhaft lagestabil mit DURFOAM, einem speziellen, seit 2007 erfolgreich eingesetztem Polyurethan ausgeschäumt. Die Schottersteine werden durch DURFOAM im Trog als Schotter-Compound fixiert. Dieses Prinzip und der Werkstoff ist schon von den ebenfalls EBA-zugelassenen DURFLEX und FLEXDUR⁴⁾ Anwendungen bekannt. Es verbindet den Schotter untereinander dauerhaft und elastisch. Da die Stahltrogschwelle als Grundlage des DURSLEEPERS bereits in ihrer ursprünglichen Form eine Reihe positiver Eigenschaften gegenüber Alternativschwelen aus Beton oder Kunststoff aufweist, werden zuerst diese Vorteile zusammengefasst.

1. Eigenschaften von Stahlschwellen

Langlebigkeit: Stahlschwellen haben eine sehr lange Lebensdauer, in der Regel > 50 Jahre bis zu 100 Jahre.⁵⁾ 2025 lagen in der deutschen Eisenbahninfrastruktur Stahlschwellen aus den 20er Jahren des letzten Jahrhunderts, selbst in hoch gewichtsbelasteten Anschlussgleisen im sicheren Regelbetrieb.

Installations- und Wartungsfreundlichkeit: Stahlschwellen erreichen durch ihre lange Liegedauern eine hohe systemische Wirtschaftlichkeit. Der Wartungsaufwand ist gering, wie u. a. Veröffentlichungen aus der Schweiz, USA und Großbritannien zeigen. Sie sind resistent gegen Insektenbefall und werden regelmäßig auch in feuchtem Klima eingesetzt. Die im Walzprozess an der Oberfläche entstehende „Rostpatina“ stellt einen idealen Rostschutz dar, ein Sandstrahlen dieser Flächen ist daher nicht nötig. Lediglich im Bereich der Rippenplatten sollte die Oberfläche vor dem Schweißen beschliffen werden. Durch Verwenden wetterfester, optimierter Stähle lässt sich die Lebensdauer weiter erhöhen.

Re-Use: Nach entsprechender Begutachtung und eventueller Aufbereitung geeigneter Altschwellen können diese wieder für einen zweiten Lebenszyklus eingebaut werden. Darüber hinaus können altbrauch-



2: DURSLEEPER Stahlvollblockschwelle (Draufsicht und auf Untersicht), Jörg Frenzel, 2024
Querschnittsskizze, Huntsman, 2024



3: Bilder des Anschlussgleises, das obere zeigt den Gleisabschnitt, das untere die Schwelle mit der Jahresangabe

4) HYPERION Verwaltung GmbH, www.hyperion-ip.eu

5) Dr.-Ing. Lasse Hansen, TU Berlin, Dauerhaftigkeit von Schwellen, Punktforum „Bahnschwellen“, 07.07.2026.

Übersicht realer Formstahl- und Schrottpreise in Mitteleuropa 2001 bis 2022

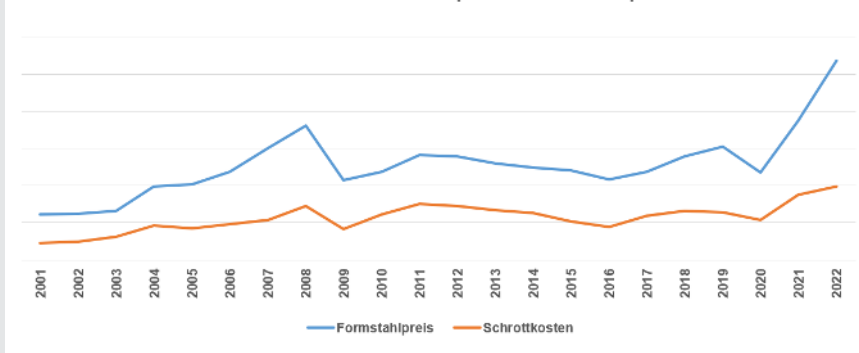


Tabelle 1: Nach R. Wendler aus Abschlussbericht zum Arbeitssymposium mit Schweizer Infrastruktur Bauunternehmen und Bahnen im Stahlwerk Thüringen Unterwellenborn 6/2024

bare Schwellen nach einer technischen Auf-/Umarbeitung auch in Gleisen mit geringerer Belastung bzw. mit schmalerer Spurweite erneut zum Einsatz kommen und haben somit eine zweite Nutzungszeit.

Recyclbarkeit: Im Gegensatz zu Beton- und Holzschwellen sind Stahlschwellen am Ende ihrer Lebensdauer vollständig recycelbar. Der Altschwellenschrott wird chargierfähig aufbereitet, im Elektrostahlwerk eingeschmolzen, zu Vormaterial gegossen und direkt wieder zu neuen Stahltragschwellen bzw. anderen Stahlprodukten gewalzt. Dieser Prozess ist beliebig oft wiederholbar.

Stahlschwellen erfüllen damit die Anforderungen zukunftsgerichteter Produkte und entsprechen den Zielen der Deutschen Bahn (SET) und unterstützen das Kreislaufwirtschaftsprogramm der Bundesregierung, mit dem das Recycling weiter gestärkt und die Abhängigkeit von Rohstoffimporten reduziert werden soll. Stahl lässt sich so vorteilhaft als Grundstoff für neue Materialien einsetzen.

1.1. Bauartbedingte Vorteile von Stahlschwellen

Ein wesentlicher Vorteil ist die geringe Bauhöhe und der daraus resultierende reduzierte Schotterbedarf. Aufgrund des hohen Querverschiebewiderstands kann die Breite der Vorkopfschotterung reduziert werden, ohne den Referenzquerverschiebewiderstand zu unterschreiten. In Kombination mit der niedrigen Bauhöhe reduziert sich dann der Gesamtschotterbedarf im Streckenneubau um ca. 1/3 im Vergleich zur Betonschwelle, der Logistikaufwand wird geringer, Schotterrohstoffvorräte werden geschont. Die notwendige Grund- und Planumsfläche ist ebenfalls kleiner, ermöglicht weitere Kosteneinsparungen (Schottermengenreduktion, kürzere Bauzeit, weniger Flächenbedarf) und ein vereinfachtes Bauen von Randwegen in beengten Bereichen bzw. eine leichtere Adaption an örtliche Begebenheiten (Gleislagen mit begrenzter Bauhöhe, z. B. Tunnel, Überwege und Unterführungen, Oberleitungsanlagen). Dieses gilt auch bei der Revitalisierung stillgelegter Strecken.

Die Längen der Stahlschwellen sind sehr einfach an den Bedarf anzupassen.

1.2. Restwert und Aufbereitungsaufwand

Stahlschrott aus Altstahlschwellen hat zum Anfall-Zeitpunkt einen Geldwert, der etwa 33 % der Kosten für die Anschaffung einer gleichartigen Neustahlschwelle entspricht und dies fast konstant, auch über lange Zeiträume betrachtet wie Tabelle 1 zeigt.

Bei alternativen Schwellenmaterialien fallen oftmals Zusatzkosten für Entsorgung und die Entsorgungsdokumentation an. Die Nachhaltigkeits- und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Stahltragschwelle beruht somit auf der CO₂-Bilanz der Herstellung, der Ressourceneffizienz im Bauprozess und dem Re-Use und der Kreislauffähigkeit am Lebensende.

1.3. CO₂-Bilanz und Kreislaufwirtschaft

Stahlschrott ist vollständig und unbegrenzt einschmelz- und recycelbar. Zudem sind Stahlschwellen seit 2022 als Green Steel Variante mit einer auf 335 kg reduzierten CO₂-Emission pro 1000 kg Stahl herstellbar. Mit ausreichender Verfügbarkeit von grünem Wasserstoff wird sich die CO₂-Bilanz von Stahl weiter verbessern – durch direkte CO₂-Reduktion und unter Verzicht des Verpressens von CO₂ in (Untertage-) Deponien/Speichern bzw. den Zukauf (nicht immer eindeutig rückverfolgbarer) negativer CO₂-Zertifikate.

Durch kontinuierliche Optimierung konnten seit 2026 die CO₂-Emissionen im Stahlwerk Thüringen um weitere 9 %, auf nun 305 kg CO₂ pro 1000 kg Stahlschwellenprofil reduziert werden.

Zu berücksichtigen ist, dass die CO₂-Bilanz von Eisenbahnschwellen in Deutschland produktionsspezifisch betrachtet wer-

CO₂ Bilanz eines DURSLEEPER Körpers DB ST82 in 2,4 bzw. 2,6 m und Schmalspur 1,8 m (Materialbetrachtung)

Bestandteil der Standard Stahlschwellenkörpers	verwendetes Material	kg CO ₂ pro 1000 kg verwendetes Material	CO ₂ e Bilanz pro Schwellenlänge in kg		
			1,8 m	2,4 m	2,6 m
Stahlschwellenprofil SW82/54	SWT Green Steel	335	15,501	20,345	21,960
Rippenplatte PRs8	Stahl S275	1080	7,322	7,322	7,322
CO₂ Bilanz Standard Stahltragschwellenkörper in kg			22,823	27,667	29,282

Tabelle 2: Die CO₂-Bilanz einer Stahltragschwelle DB ST82 und der Schmalspurvariante (Schwellenkörper ohne und mit Schienenbefestigung) (alle CO₂-Angaben nach R. Wendler aus Abschlussbericht zum Arbeitssymposium mit Schweizer Infrastruktur Bauunternehmen und Bahnen im Stahlwerk Thüringen 6/2024 bzw. Update-Berechnungen)

den muss. E-Stahlverfahren sind deutlich CO₂-ärmer als Verfahren der sogenannten integrierten Stahlherstellung. Wichtig ist, CO₂-Standards verbindlich zu definieren, damit die CO₂-Emissionsmengenangaben vergleichbar werden. Der Unterschied in den CO₂-Emissionen zwischen der Stahlproduktion im Hochofen (integrierte Werke) und E-Stahlwerken nimmt momentan eher zu, da die E-Stahlwerke in den letzten Jahren eine hohe Dynamik bei der CO₂-Emissionsreduzierung erreichen konnten. Das ist ein Vorteil des beim DURSLEEPER verwendeten Green Steels⁶⁾ mit seinen reduzierten Emissionen durch die Produktion im E-Stahlverfahren.

1.4. Betrieb und Instandsetzung

Die lange Lebenszeit dieser Oberbaukonstruktion reduziert Sperrpausenbedarfe, dem Fahrbetrieb wird eine bessere Nutzung der Gleise ermöglicht, Effizienz und Fahrkomfort steigen. Profil und gekappte Spatenenden der Stahlschwelle interagieren mit dem Schotterbett; dies ermöglicht eine stabile Gleislage durch guten Querverschiebewiderstand. Auf Brücken bewirkt der flachere Schotteraufbau und das geringe Stahltrogschwelligengewicht ein geringeres Brückeneigengewicht. Befestigungen und Ausrüstungen lassen sich an Stahlschwellen nachträglich, ohne Aufwand im Gleis anschweißen oder verschrauben.

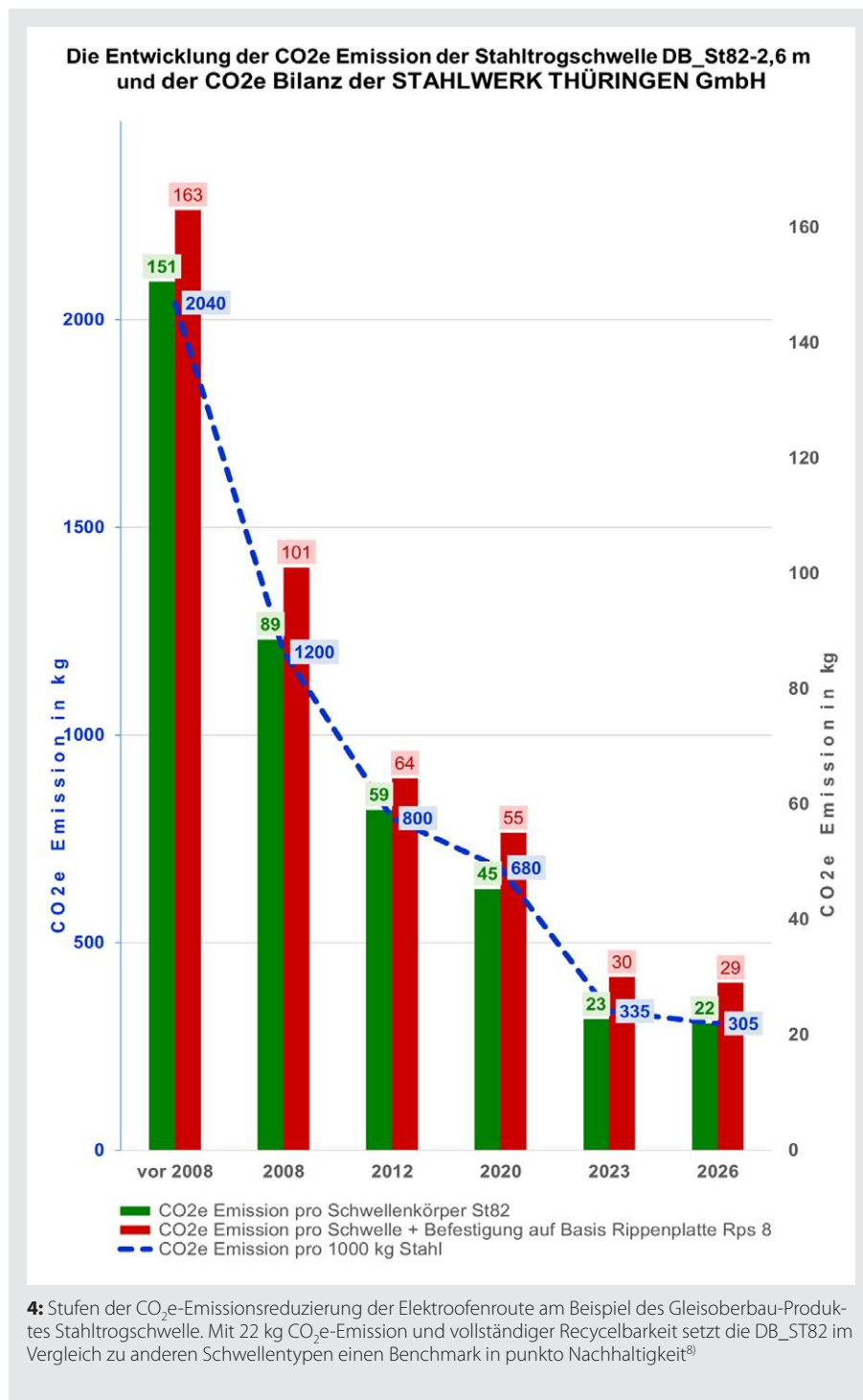
2. Die DURSLEEPER

Die DURSLEEPER Stahlschwelle entsteht durch die innovative Ausbildung der konventionellen Stahltrogschwelle zu einer Stahlvollblockschwelle und vereint so die bekannten Vorteile der Stahltrogschwelle mit neuen der DURSLEEPER. Die Stopfbarkeit, Geräuscentwicklung und der Querverschiebewiderstand der konventionellen Stahltrogschwelle werden bei der DURSLEEPER Stahlvollblockschwelle weiter optimiert.

2.1. Systemische Lebensdauererhöhung

Das PU-Schotter-Compound Inlay sichert die qualitäts- und anforderungsgerechte gleichmäßige Füllung des Schwellentrog und verhindert somit Hohlräume, welche bei einem unzureichenden Stopfprozess konventioneller Stahltrogschwellen ansonsten entstehen können, insbesondere

6) Stahlwerk Thüringen, Green Steel®



an den Schwellenenden. Entgegen des Bonmots⁷⁾ „Die Schwelle sitzt im Schotterbett wie der Fakir auf dem Nagelbett“ Prof. Riessbergers liegt die DURSLEEPER durch das PU-Schotter-Compound Inlay wohl eingebettet im Schotter und „nicht darauf“. Die Patina und der Gleisschotter wird so ge-

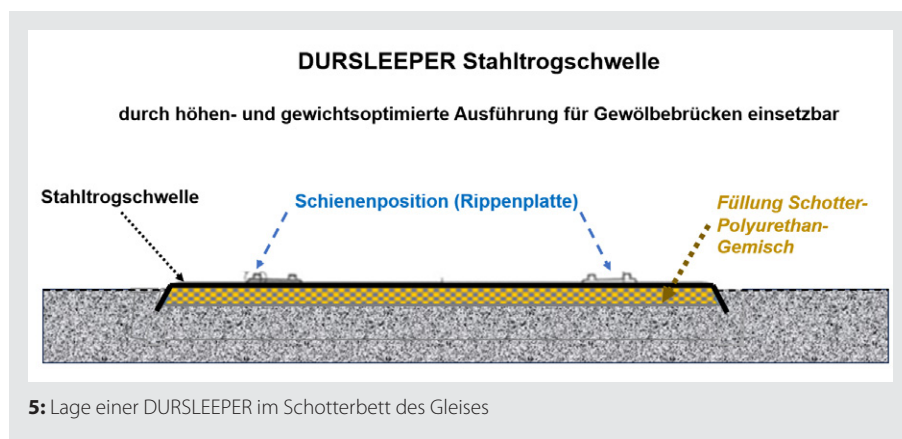
7) Zitat Prof. Klaus Riessberger, Emeritus der TU Graz gem. Dr. Walter Stahl, Akademischer Direktor TU-M Verkehrswegbau, 07.07.2026, Punktforum „Bahnschwellen“.

schützt und erhöht die Nutzungsdauer von Schwelle und Gleisschotter weiter.

2.2. Verwenden von Sekundärrohstoffen

Anstelle des regelmäßig eingesetzten Gleisschotters kann STEELAVIT^{4ail} teilweise oder vollständig verwendet werden – bei mindestens vergleichbaren Eigenschaften

8) aus Kundeninformationsbroschüre Stahlwerk Thüringen, www.stahlwerk-thueringen.de



wie Hartgesteine. Es handelt sich hierbei um einen hochwertigen, nachhaltigen mineralischen Sekundärbaustoff aus reiner, aufbereiteter E-Ofenschlacke. Durch den Stahlschwellentrog abgedeckt, kann dieser nun erstmalig im Gleisbereich eingesetzt werden. Das Gewicht des DURSLEEPERS ist durch diesen innovativen Ansatz variabel zwischen 140 kg und > 250 kg skalierbar, ohne die Grundform der Standardstahltragschwelle bzw. des Befestigungssystems zu verändern.⁹⁾ Der DURSLEEPER Stahltragschwellenkörper bleibt in der au-

9) Materialdatenblatt STEELAVIT 4rail www.stahlwerk-thueringen.de/unternehmen/verantwortung/umwelt-und-nachhaltigkeit/ (Absatz Kreislaufwirtschaft).

ßeren Form stets gleich. Alle international verfügbaren Stahltragschwellen können verwendet werden, auch altbrauchbare.

2.3. Verbesserte Stopfbarkeit

Die Gleisstopfung im maschinellen Arbeitsgang wird bei der DURSLEEPER durch den Vollblock gegenüber der Trogschwelle vereinfacht und beschleunigt. Es werden nur 2 anstelle 3 Stopfgänge benötigt. Gleichzeitig ist die Stopfqualität durch das Schotter-PUR-Compound Inlay dauerhaft und gleichbleibend ab Werk. Eventuell während des Hebens und Richtens beim Stopfen auftretende Hohlräume im Trog unter der konventionellen Stahltrags-

schwelle werden so beim DURSLEEPER von vornherein vermieden. Es ist möglich, die vollständige richtlinienkonforme Verfüllung, Schwelle für Schwelle, seriell im Werk umzusetzen und hierdurch die Langlebigkeit und Qualität der Gleislage zu optimieren, auch bei Handstopfungen wie Praxistests zeigten.

2.4. Qualität der Schotter-Einbettung, Verringerung der Geräusentwicklung

Das PU Compound befindet sich im Trog und bildet dauerhaft eine Einheit mit dem Schotterkörper. Es bewirkt zum einen eine neue Qualität der Einbettung durch Verzahnung mit dem Schotterkörper und eine schlag-/druckdämpfende Wirkung auf den Schotterkörper. Dieser Effekt ist vergleichbar mit der bekannten Schwellenbesohlung und wirkt schotterschonend. Somit ist die Bauart DURSLEEPER auch die erste besohlte Stahlschwelle. Der Schwingungsübergang von der Stahlschwelle zum Schotterbett wird hierdurch stark reduziert. Die Schallabstrahlung an der DURSLEEPER Schwelle verringert sich in den bisherigen Einsätzen hörbar und deutlich. Durch das beschleunigte Stopfen werden auch die Arbeitsemissionen reduziert. So kann sowohl die Dauerhaftigkeit der Schwelle als auch deren Elastizität entsprechend der Anforderungen optimiert werden.

CO2 Bilanz eines DURSLEEPER Körpers DB ST82 in 2,4 bzw. 2,6 m und Schmalspur 1,8 m (Materialbetrachtung)

Bestandteil der Standard Stahlschwellenkörper	verwendetes Material	kg CO2 pro 1000 kg verwendetes Material	CO2e Bilanz pro Schwellenlänge in kg		
			1,8 m	2,4 m	2,6 m
Stahlschwellenprofil SW82/54	SWT Green Steel	335	15,501	20,345	21,960
Rippenplatte PRs8	Stahl S275	1080	7,322	7,322	7,322
CO2 Bilanz Standard Stahltragschwellenkörper in kg			22,823	27,667	29,282
		kg CO2 pro 1000 kg verwendetes Material			
Gleisschotter		4	0,220	0,294	0,318
Polyurethanschaum		2200	5,379	7,172	7,770
DURSLEEPERFÜLLUNG			5,599	7,466	8,088
CO2 Bilanz DURSLEEPER-Körpers in kg			28,422	35,133	37,370
CO2 Bilanz der Schienenbefestigung (DB St82) in kg			9,394	9,394	9,394
CO2 Bilanz des DURSLEEPERS DB St82 + Schienenbefestigung in kg			37,816	44,527	46,764

Tabelle 3: CO₂-Bilanzen von DURSLEEPER Schwellen mit und ohne Schienenbefestigungen alle CO₂-Angaben nach R. Wendler aus Abschlussbericht zum Arbeitssymposium mit Schweizer Infrastruktur Bauunternehmen und Bahnen im Stahlwerk Thüringen 6/2024 bzw. Update-Berechnungen). Zur weiteren Optimierung der CO₂-Bilanz wird die Verwendung von Green Steel auch bei den verwendeten Rippenplatten geprüft

Vergleich Betonschwelle B70_DB und DURSLEEPER auf Basis DB_ST82_SWT

Bezeichnung	Betonschwelle B70_DB (Deutsche Bahn)	DURSLEEPER, Basis St82 mit Stahltrög - Inlay aus Schotter -Polyurethan- Gemisch
Abbildung Seitenansicht		
Abbildung Vorderansicht		
Abbildung Draufsicht		
Länge	2600 mm (und 2400 mm)	2600 mm (und 2400 mm)
Gewicht in [kg] /in Abhängigkeit vom Füllmaterial	280	140 (Gleisschotter) ; > 250 (Steelavit)
Schwellenabstand / Schwellenanzahl pro km	600 mm / 1667 Stück pro km	600 mm / 1667 Stück pro km
empfohlener Gleisschotter für 1 km Gleis in [t]	3580,5	2194,5
CO2e Emission pro Schwelle in kg		37,37
CO2e Emission pro Schwellenbesohlung in kg		Eigenschaften der Schwellenbesohlung bereits durch das Inlay vorhanden und berücksichtigt
CO2e Emission pro Schwelle mit Besohlung in kg		37,37
CO2e Emission in [t/km/a] pro Schwelle ohne Gleisschotter		2,41
CO2e Emission in [t/km/a] des Gleisschotters	3,20	1,96
Eigenschaften	Betonschwelle B70_DB (German rail)	ST82_DURSLEEPER (Schotter oder Steelavit)
Recyclingfähigkeit Besohlung/ Polyurethanfüllung		100%
Recyclingfähigkeit Schwellenkörper, Kreislaufwirtschaft		100%
Recycling Bürokratie und Dokumentation		gering
Geldwert der Altschwellen nach Ende des Lebenszyklus		Schrottwert entspricht ca.33 % des Stahlpreises für neue Stahlschwellen
Liegezeit in Jahren		>50 bis 100
empfohlener Schotterbedarf in m3 / m	2,17	1,33
Schotterlogistik und CO2 Bilanz		geringere Co2 Bilanz im Zusammenhang mit Schotter Logistik und Produktion
Gewichtsskalierbarkeit der Schwellen		modulare Fertigungstechnologie, Schwellengewicht ist einfach skalierbar ; 70 kg (ohne Füllung), 140 kg (Schotterfüllung), >250 kg (Steelavit Füllung)

Tabelle 4: Vergleich von Beton- zu Stahltrög- bzw. Stahlvollblockschwellen (alle CO₂-Angaben nach R. Wendler aus Abschlussbericht zum Arbeitssymposium mit Schweizer Infrastruktur Bauunternehmen und Bahnen im Stahlwerk Thüringen 6/2024 bzw. Update-Berechnungen)

Anm.: Sämtliche hier genannten CO₂-Bilanzen zu Stahlschwellen beruhen auf Material EPD der Benchmark Stahlhersteller. Basis ist die Environmental Product Declaration (EPD) nach ISO 14025 und EN15804+A2. Eingeschlossen sind: product stage A1, A2 und A3. Für Rippenplatten wurde ein Branchen CO₂-Emissionswert herangezogen. Die CO₂-Bilanz des im Text erwähnten Polyurethanschaumes entspricht den Angaben des Herstellers.

Angaben zur CO₂-Bilanz von Eisenbahnschwellen, die momentan auf Basis anderer Materialien (Beton, Sulfur-Beton, Kunststoff und Kunststoffrezyklaten usw.) veröffentlicht werden,

wurden zum Teil auf anderer Datenbasis berechnet. Um eine bessere Vergleichbarkeit und Bewertung aller Schwellenprodukte zu gewährleisten, ist eine einheitliche EPD-Bewertung der gefertigten verkaufsfähigen Schwelle frei Baustelle (z. B. Lieferbasis 300 km) bzw. bis zur Gleisabnahme anzustreben. Dabei könnte als erster Schritt eine Schwelle vergleichbar einer 2,6 m Schwelle für die Schiene S60 die Basis bilden. Die Differenzierung auf unterschiedliche Längen und Spuren lässt sich dann in der Regel ableiten.

2.5. Erhöhung des Querverschiebewiderstands (QVW)

Stahlwerk Thüringen und HYPERION haben in einem internen Entwicklungsprojekt die TU München mit der Untersuchung des Querverschiebewiderstands der DURSLEEPER im Gleis beauftragt. Durch die Positionierung neuartiger Finnen im optimalen Verdichtungsbereich des Gleisschotters unter der Schwelle (in Längsrichtung zur Schiene) zeigte sich durch die Untersuchung, dass sich der Querverschiebewiderstand noch einmal deutlich gegenüber Schwellen ohne Finnen erhöhte. Es wurden Querverschiebewiderstände von 20,6 [N/mm] Mittelwert des QVW je Schwelle durch die TU-M gemessen. Die im Versuch gemessenen Werte bestätigen und vervollständigen die Ergebnisse einer umfassenden Studie¹⁰⁾, die den Querverschiebewiderstand von Beton-, Holz-, Stahl- und Kunststoffschwellen aktuell vergleicht. Auch in jener Studie übertraf die Stahlschwelle bei allen gemessenen Verschiebungen die Leistungen der Betonschwellenvarianten deutlich und somit auch den von Holz- und Kunststoffschwellen. Die sehr hohen QVW-Werte der Stahltrog- und DURSLEEPER Schwellen sind von entscheidender Bedeutung für die Gewährleistung der Gleisstabilität und Resilienz des Gleises. Diese Eigenschaft ist zentral, um Auswirkungen extremer, wetterbedingter Versagensmechanismen zu mindern. Aufgrund des Klimawandels und auftretender Wetterphänomene sind diese häufiger zu erwarten.

10) Jacob W. Whittle et al; Investigating the effect of railway track ballast and bed conditions on the lateral resistance of timber, concrete, steel, and composite sleepers using a novel test methodology; Engineering Structures Vol. 340, 1 Oct. 2025, 120769.

Das innovative Baukastenprinzip der Finnenvarianten erlaubt es, den Querverschiebewiderstand, entsprechend der geforderte Gleisstabilität, durch Form, Anordnung und Materialausführung der Finnen anzupassen ohne nachträglich zu installierender Schwellenanker, die die maschinelle Instandhaltung beeinflussen.

Anwendungsbezogen wurden in der Untersuchung durch die TU-M unterschiedliche Finnenvarianten (L, U und T-Finnen-Formen), alle in Green Steel Ausführung, untersucht. Die Ausführung von Finnen und Schwellenkörper in einer einheitlichen Stahlgüte ermöglicht die größtmögliche Effizienz bei der Fertigung und sichert niedrige CO₂e-Bilanzen des Schwelle-Finnen-Compound Systems. Betreiber können hierdurch die technische Ausführung an Belastung, Geschwindigkeit, Baugrund und Risikoanforderungen anpassen. Die positiven Effekte, die durch Besohlung der Betonschwelle erreicht werden, sind beim DURSLEEPER durch die PUR Compound Füllung bereits integriert.

3. CO₂-Bilanz und Kreislaufwirtschaft

Stahlschrott ist vollständig und unbegrenzt erneut einschmelz- und recycelbar. Die Altschwellen werden ausgebaut und können direkt an Schrotthändler bzw. an Stahlwerke mit Stahlschwellenbrechern verkauft werden. Somit fallen für die Infrastrukturunternehmen weder Deponie- noch Aufbereitungskosten an. Durch Optimierung des Herstellungsprozesses und des Stahlschrotteinsatzes im Elektrostahlwerk kann ein Altschwellen-Neuschwellen-Kreislauf etabliert werden. Das bedeutet, dass Altstahlschwellen in der Regel 2-mal gebrochen (zerkleinert) im Elektrostahl-

werk direkt dem Materialfluss zugeführt und eingesetzt werden können. Stahlteile der Schienenbefestigung (Rippenplatte, Hakenschrauben, Stahlmutter, Unterlegscheiben und Spannklemmen) müssen hierbei nicht vom Stahlschwellenkörper getrennt werden, sondern lediglich evtl. noch vorhandene Kunststoffzwischenlagen (Zws) sind zu entfernen. Auch andere anfallende schwere Stahlschrotte (Stahlträger, Schienen etc.) können in diesen Materialkreislauf integriert werden. Auf Anfrage der Fachkoordination Nachhaltigkeit der SBB, Schweizerische Bundesbahnen, wurde die Auswirkung eines Altschwellen-Neuschwellen-Kreislaufes auf die CO₂-Emissionen untersucht. Es konnte eine Ausbringersverbesserung und die Reduzierung der CO₂-Emissionen um - 9 % (im konkreten Fall auf 305 kg CO₂e-Emissionen pro 1000 kg Stahltrogswellenprofil) erreicht und gemäß den EPD-Regeln dokumentiert werden. Die beschriebenen Prozesse haben sich in der Zusammenarbeit zwischen Stahlwerk Thüringen und Schweizer Eisenbahn Oberbaulieferanten als praktikabel erwiesen, sind erprobt und etabliert.

Der DURSLEEPER ST82_DUR wird analog der DB InfraGo bekannten Recyclingverfahren für Stahlschwellen und Recycling der Polyurethan-Schotter-Verbünde, PURE_X durchgeführt. Das Verwertungsgebot des Kreislaufwirtschaftsgesetzes, KrWG wird erfüllt. Es wurde durch Gutachter bestätigt, dass durch das PURE_X Verfahren der PUR-Anteil des beim Recycling von Polyurethan Schottercompound anfallenden Gleisschotters entfernt wird. Damit besteht die Möglichkeit, nicht nur den Gleisschotter zu verwerten, sondern auch den PUR-Schaum grundsätzlich dem Prozess wieder zirkulär zuzuführen. Die PUR Compound

DIGITALE FACHMEDIEN

KOSTENLOS FÜR STUDIERENDE

Unverzichtbar im Studium

In wenigen Schritten zur erstklassigen Fachliteratur:

1. Probeabonnement bestellen
2. Studienbescheinigung vorlegen
3. Sechs Monate vollumfänglich nutzen. Das Abonnement endet automatisch.

Jetzt kostenlos anfordern:

www.eurailpress.de/studi26

Füllung kann im Rahmen eines möglichen Recyclingprozesses leicht wieder entfernt werden. Im Ergebnis erhält man mittels PURE_X drei zirkulär nutzbare Rohstoffe:

- **Stahl** Der Stahlschwellenkörper (St82) ist beliebig oft zu 100 % recycelbar, Ein Up-cycling altbrauchbarer Stahlschwellen ist möglich.
- **Schotter** Korngröße gem. Ril, somit dem Gleisbau oder zum Einsatz in neuen DURSLEEPER wieder zuführbar.
- **Polyurethan** der Produktion neuen Polyurethans wieder zuführbar.

Durch das skalierbar höhere Gewicht der DURSLEEPER erhöht sich sowohl Lagestabilität als auch Niederhaltekraft der Schwelle. Damit werden höhere Fahrtgeschwindigkeiten gegenüber der Standardstahlschwelle möglich. Die vorliegende EBA-Zulassung des DURSLEEPERS (mit Gleisschotterfüllung) zur Betriebserprobung berücksichtigt diesen Fakt bereits für Fahrgeschwindigkeiten bis 160 km/h. Einsatzmöglichkeiten für Strecken mit >160 km/h und engeren Radien als bisher sind vorstellbar und im Feldtest zu verifizieren.

Die verwendete Ausgangsbasis „Stahl-trogschwelle DB_ST82“ kann beim DURSLEEPER durch weitere Stahltragschwellenformen ersetzt werden (Schweiz und Österreich SBB1, TrackNet-Stahlschwellen (TN25, TN22, TN21); Großbritannien Stahlschwellen BS 202/ 300/ 402/ 436/ 600; USA/Canada Stahlschwellen z. B. Profile M8/ M10/ H10/ H12; Brazil UIC28-UIC865; sowie alle sonstigen vergleichbaren Stahltragschwellen). Bei diesen Schwellen kann das PUR Compound Inlay werkseitig oder dezentral nachgerüstet werden. Für Anwendungen, bei denen besonders hohe

Tragkräfte bzw. Achslasten gefragt sind, ist die international verwendete UIC28 besonders geeignet. Sie hat eine Höhe 90 mm (UIC28 ist eine der flachsten Stahltragschwellen bei gleichzeitig hoher Tragkraft), der Deckel ist 5 mm breiter bei identischem Fuß zur ST82, die Schwelle hat ein Metergewicht von 28,46 kg/m und wird in den Deckelstärken 10 bzw. 12 mm gefertigt. Die UIC 28 kommt auch außerhalb des klassischen Bahnoberbaues für gleisgeführte Krananlagen und im Anlagenbau zum Einsatz. Aufgrund der Bauhöhe ist sie ebenfalls zur Verlegung in Unterführungen und Tunneln geeignet. In letzter Zeit erlebt die UIC28 Trogschwelle aufgrund positiver wirtschaftlicher und technischer Eigenschaften (kann in beliebigen Längen, auch als DURSLEEPER und mit und ohne Finnen hergestellt werden) eine Renaissance und kommt als Weichenschwelle zum Einsatz. Alle zugelassenen Schienenbefestigungen für Trogschwellen können auch für DURSLEEPER verwendet werden.

Resilienzerhöhung durch DURSLEEPER

Die DURSLEEPER hat durch das PU Compound und den Einsatz von Finnen einen sehr hohen Querverschiebewiderstand. Die Gefahr von Gleisverwerfungen wird gegenüber Beton-, Holz- und Kunststoffschwellen minimiert. Trotz Beibehalten der flachen Bauart der Ausgangsbasis Stahltragschwelle kann die DURSLEEPER auf das Gewicht der Betonschwellen skaliert werden und somit Verformungs-/Verwerfungsgefahren des Gleises durch extreme Temperaturen reduzieren.

Die erhöhte Kontaktfläche zum Schotter beeinflusst Schotterqualität, Sauberkeit, Verdichtung und Tragfähigkeit über die Lebensdauer positiv und reduziert das Entstehen von A&E Feinstäuben, Vibrationen, Emissionen und Drainageeinschränkungen im Schotterhaufwerk. So kann sowohl die Dauerhaftigkeit der Schwelle als auch de-

ren Elastizität entsprechend den Anforderungen optimiert werden. Im Vergleich zu spröderen Materialien besitzen DURSLEEPER bei Havarien und Entgleisungen potenziell günstigere Notfalleigenschaften; das Gleissystem wird schneller wieder nutzbar, es gibt keine Anhängigkeiten von volatilen globalen Lieferketten; Schwellenmaterial, Fertigung und Recycling erfolgt innerhalb der EU/Deutschlands.

Die Verlegegeschwindigkeit von Stahlvollblockschwellen ist hoch, das Stopfen unkompliziert - auch in kritischen Situationen und bei begrenzter Maschinenverfügbarkeit. Es besteht keine Bruchgefahr bei robuster Verlegung.

Stahlschwellen sind einfach zu lagern, zu transportieren und können andere Schwellentypen aufgrund ihrer Bauform und Eigenschaften ersetzen. Zudem sind sie 100 % recycelbar.

Summary

New Approaches to Steel Sleepers – A Consideration of Environmental, Circular Economy and Resilience Requirements

This article focuses on the steel sleeper variants: steel trough sleepers and solid steel block sleepers. It aims to contribute to the discussion on the potential applications of different railway sleeper materials, in order to identify appropriate approaches in line with growing environmental, circular economy and resilience requirements. By highlighting different production processes, the aim is to identify verifiable potential for CO₂ reduction and to regulate the implementation of environmental and sustainability innovations in railway construction – including through procurement – ensuring that future evaluations in tendering procedures are based on standardised and transparent criteria. A long service life, robust construction, environmental friendliness and circular economy principles should pave the way for a new future for the solid steel sleeper.



DURSLEEPER

Stark. Effizient. Nachhaltig.



Die innovative Stahlvollblockschwelle mit Schottercompound setzt neue Maßstäbe im Bahnbau.



Hybridveranstaltung

26. SIGNAL+DRAHT-Kongress



12. – 13. November 2026,
Maritim Hotel, Fulda

**Jetzt
anmelden**

Einfach. Machen. Unter diesem Motto greift der 26. Signal+Draht-Kongress erfolgreiche Beispiele für eine konsequente und schnelle Umsetzung von LST-Projekten auf. Im Fokus steht neben den Erfolgsfaktoren die Frage, welche Ansätze sich für einen schnelleren Rollout neuer Technologien auch außerhalb einzelner Projekte übertragen lassen.

Konkrete Beispiele sind die ETCS-Einführung auf der Wiener Stammstrecke, die Digitalisierung bei S-Bahn und U-Bahn in Hamburg, der Pilot zur Remote Train Operation bei der S-Bahn München, der Wiederaufbau der Ahrtalbahn. Unter dem Stichwort „lessons learned“ werden außerdem Ansätze zur Beschleunigung des ETCS-Rollouts, Erfahrungen aus der ETCS-Fahrzeugumrüstung und die Verprobung der neuen Guidelines zum Cyber Resilience Act vorgestellt.

Ein weiterer Themenschwerpunkt ist die Künstliche Intelligenz: Konkrete Anwendungsfälle

im Wissensmanagement bei Betreibern und Industrie sowie in der Zugdisposition zeigen exemplarische Entwicklungen im Bahnsektor auf. Ein Innovationsthema sind Stellwerke unter Nutzung von Cloud-Technologie. Von hoher Relevanz ist die Resilienz des Bahnsystems generell und im Lichte der Anforderungen für Military Mobility. Und zur kontroversen Diskussion stehen Optionen für die Einführung eines neuen Zugfunksystems.

Erstmals wird auf dem diesjährigen Signal+Draht-Kongress ein Young Achievement Award verliehen, mit dem junge Talente geehrt werden, die innovative Projekte im Bereich der Leit- und Sicherungstechnik vorangebracht haben. Neben der Präsenzteilnahme vor Ort in Fulda mit der Gelegenheit zum Austausch und persönlichen Gesprächen mit den rund 300 Teilnehmenden ist alternativ auch die digitale Teilnahme am Livestream möglich.

Jetzt anmelden unter: www.eurailpress.de/sdk2026

Organisation

Olga Freund
+49 (0) 40 237 14-351
olga.freund@dvvmedia.com

Ausstellung

Silke Härtel
Tel: +49 (0) 40 237 14-227
E-Mail: silke.haertel@dvvmedia.com

Veranstalter

**Eurail
press**

26. SIGNAL+DRAHT-Kongress Einfach. Machen.

Donnerstag, 12. November 2026		Referent/in
10:30	Begrüßung	Manuel Bosch, DVV Media Group GmbH
10:35	Einleitung	Reinhold Hundt / August Zierl, SIGNAL+DRAHT
10:40	Neues zur Organisation und Finanzierung der Digitalisierung des Schienenverkehrs in Deutschland	angefragt
11:10	Einführung von ETCS ohne Signale auf der Wiener Schnellbahn-Stammstrecke	Ramo Begic, ÖBB Infrastruktur
11:40	Digitalisierung der Betriebsführung und ATO over ETCS bei der S-Bahn Hamburg	Christoph Gonçalves Alpoim, S-Bahn Hamburg
12:05	Pilot zur Remote Train Operation in der Betriebswerkstatt der S-Bahn München	angefragt
12:30	Mittagessen	
13:40	Review: Erfolgreiche Inbetriebnahmen	
13:45	Wiederaufbau Ahrtalbahn – was können wir aus der Rekordgeschwindigkeit in der Krise lernen?	Benjamin Lück, DB InfraGO Dominik Oyen, Scheidt & Bachmann
14:10	Beschleunigung des ETCS-Rollouts: Übertragbarkeit erfolgreicher Projektansätze	Markus Talg, Siemens Franz Jost, Quattron
14:35	Praktische Erfahrungen für den Serienrollout: ETCS-Fahrzeugumrüstung im Digitalen Knoten Stuttgart	angefragt
15:00	Kaffeepause	
15:30	Erkenntnisse aus der Praxisverprobung der europäischen Guidelines zum Cyber Resilience Act	Oliver Knapp, DB InfraGO
16:00	Digitalisierung und Automatisierung im Stadtbahnbetrieb – Einführung von GoA 2 in Frankfurt	Dr. Thomas Hempe, Verkehrsgesellschaft Frankfurt
16:30	Kontroverse: Optionen zur Ablösung von GSM-R - wie weiter mit FRMCS?	Christian Sagmeister, ÖBB Infrastruktur Emini Driton, Deutsche Telekom
17:15	SIGNAL+DRAHT-Young Achievement Award 2026	Manuel Bosch, DVV Media Group GmbH Reinhold Hundt, SIGNAL+DRAHT August Zierl, SIGNAL+DRAHT
18:30	Abend der Kommunikation	
Freitag, 13. November 2026		Referent/in
9:00	Keynote: Künstliche Intelligenz	angefragt
9:30	Wissensmanagement und Entstörung mit KI-Unterstützung - Erste Schritte, Probleme und Herausforderungen	Anke Wiedenroth, DB InfraGO Thomas Honisch, DB InfraGO
9:40	Die ehrliche KI: Hochqualitative Antworten für Sicherheitsanwendungen	Saskia Cordier, Siemens
9:50	Von Basic Integrity zur Zukunft der sicheren KI im Bahnsektor	Joel Mwaka, Hitachi
10:00	Entwicklung eines CTMS mit KI-Unterstützung	Moritz Heimes, DB InfraGO
10:30	Kaffeepause	
11:00	Realisierung von Stellwerken mit Cloud-Technologie	Fabian Scherer, SBB
11:25	Resilienz im Bahnsystem ganzheitlich gedacht	Patric Birr, Incyde
11:50	Resilienz im Bahnsystem - ein Bericht aus der Praxis	Alexander Pavlenko, Ukrainian Railways
12:20	Abschluss	Reinhold Hundt / August Zierl, SIGNAL+DRAHT
12:30	Ende der Veranstaltung	

Gleisüberhöhung heruntersetzen?

Beim Einsatz von Zügen mit Neigetechnik könnte sich die Möglichkeit bieten, die Gleisüberhöhungen in Bögen zu vermindern, um somit zu geringerem Gleisverschleiß auf Strecken mit Mischbetrieb beizutragen. Diesem Vorschlag des Autors [1] soll anhand eines Beispiels nachgegangen werden.



1. Gleisbogen in einer Mischbetriebsstrecke

Aus der fast unendlichen Vielzahl möglicher Gleisbögen wird hier einer mit folgenden Parametern gewählt:

- $R = 1000 \text{ m}$
- Überhöhung $\ddot{u}$ (in EN 15273 = D) 150 mm
- Überhöhungsfehlbetrag $\ddot{u}_f$ (in EN 15273 = I) 140 mm

für konventionelle Reisezüge ohne Neigetechnik

- Überhöhungsfehlbetrag für Neigezüge 300 mm
- Überhöhungsüberschuss $\ddot{u}_0$ (in EN 15273 = E) 80 mm für Güterzüge

Mit diesen Parametern werden die für die Trassierung zulässigen Werte praktisch

ausgeschöpft. Reisezüge konventioneller Bauart können diese Kurve mit 160 km/h befahren, für Güterzüge beträgt die zulässige Geschwindigkeit 80 km/h. Neigezüge können hier 195 km/h fahren.

Nun soll überprüft werden, wie sich die Geschwindigkeiten in diesem Gleisbogen ändern, wenn die Überhöhung von 150 mm auf 100 mm zurückgenommen wird (Tabelle 1).

Durch die Reduzierung der Überhöhung in Gleisbögen verringert sich also die zulässige Geschwindigkeit sowohl der Neigetechnikzüge als auch der konventionellen Züge. Die Auswirkungen auf die Fahrzeitverlängerung im Schienen-Personenfernverkehr (SPFV) sind natürlich von den Kurven auf einer Strecke von etwa 250 bis 350 km, der mittleren Reiseweite im Fernverkehr, abhängig. Dazu bedarf es detaillierter Untersuchungen. Tendenziell



Prof. Dr.-Ing. Eberhard Jänsch

Apr. a. D., Schöneck
Ehemaliger Leiter
Systemkoordination
HGV (DB)
eb@hsr-jaensch.de

werden die Prognosewerte für Neitech-Zugverkehr nicht ganz erreicht und für konventionelle Züge ohne Neitech ist ein Verkehrsrückgang zu erwarten.

2. Kraftwirkungen quer zum Gleis im Bogen

Nun zu den auf die Schienen einwirkenden Kräften. Diese hängen von den Radsatzlasten und bei Fahrt im Gleisbogen von den Überhöhungsfehlbeträgen (I) oder Überhöhungsüberschüssen (E) ab. In Tabelle 2 sind mittlere Werte genannt. Die Radsatzlast von Güterzugwagen errechnet sich aus dem durchschnittlichen Güterzug mit 1000 t Bruttogewicht einschließlich Lokomotive. Dieser Zug hat 80 Achsen. Herangezogen wurden Auswertungen für die Strecken Göttingen–Kassel und Frankfurt–Mannheim (Riedbahn) aus den Jahren 1998 bis 2007. Zusätzlich sind Schwerlastzüge berücksichtigt, die allerdings nur auf speziellen Routen unterwegs sind, wie Erzzüge von Hamburg Hansaport nach Beddingen (Salzgitter) mit 6-achsigen Wagen, jeder mit 150 t Bruttogewicht.

Die Herabsetzung der Gleisüberhöhung reduziert also bei Güterzügen die nach bogeninnen gerichtete Querkraft je Radsatz deutlich, was sich positiv auf den Verschleiß der Innenschiene auswirken wird. Für Reisezüge ändert sich naturgemäß nichts, da ihr Überhöhungsfehlbetrag I gleich bleibt.

Tabelle 1: Geschwindigkeiten bei verschiedenen Überhöhungen in Gleisbögen

Zugtyp	V (km/h) bei D = 150 mm	V (km/h) bei D = 100 mm	I oder E (mm)
ICE mit Neigetechnik	195	184	I=300
IC, ICE, Doppelstockzüge wie TGV 2 N ohne Neigetechnik	160	140	I=140
Güterzüge	80		E=75
Güterzüge		80	E=25

Tabelle 2: Querkraft je Radsatz, auf das Gleis wirkend bei Fahrt im Gleisbogen

Zugtyp	Radsatzlast (t)	Querkraft je Radsatz bei D=150 mm (kN)	Querkraft je Radsatz bei D=100 mm (kN)	I oder E (mm)
ICE 3 ohne Neigetechnik	14,5	13,5	13,5	I = 140
ICE 3 mit Neigetechnik	14,5	29	29	I = 300
ICE-T	16,5	33	33	I = 300
Güterzüge	12,5	6,25	2,1	E = 75 bzw. 25
Schwerlastzüge	25,0	12,5	4,2	E = 75 bzw. 25

3. Übertragbarkeit bisheriger Erfahrungen

Die je Radsatz auf das Gleis ausgeübte Querkraft ist bei Neitech-Zügen vier bis fünf mal größer als die im normalen Güterverkehr ausgeübte Querkraft nach bogeninnen. Dennoch soll nach [1] zur Reduzierung des Schienenverschleißes an der Innenschiene die Gleisüberhöhung in allen Bögen des ICE-Kernnetzes verringert werden. An der Außenschiene ändert sich nichts, dort treten erheblich größere Kräfte auf als im bisherigen konventionellen Bahnbetrieb. Insbesondere sind die Spurkränze und die Fahrkanten der Schienen betroffen. Dort tritt Bohrschlupf auf, der zu abrasivem Verschleiß führt, im Extremfall auch zu Rollkontaktermüdung (RCF). Abhilfe verschaffen könnte Spurkranzschmierung an allen Rädern; diese gibt es derzeit nur bei Lokomotiven.

In [1] wird aus den Erfahrungen des Neitech-Betriebs auf der Strecke Hof – Nürn-

berg berichtet. Dort fahren Regionaltriebwagen der Baureihe VT 610, 2-teilige Einheiten mit 160 km/h Höchstgeschwindigkeit und 13,5 t Radsatzlast. Wie in [1] berichtet, war ein erhöhter Rad- und Schienenverschleiß wider erwarten nicht zu verzeichnen. Diese erfreuliche Erkenntnis wird auf den Neitech-Betrieb mit Hochgeschwindigkeitszügen im ICE-Kernnetz übertragen, im Bereich bis nahe 300 km/h. Wenn sich das so realisieren lässt wie vorgeschlagen, wäre es ein großartiger Erfolg. Dann staunt der Laie, und der Fachmann wundert sich. •

Literatur

[1] Breimeier, R.: Einsatz der Neigetechnik im ICE-Kernnetz dank überlegener Wirtschaftlichkeit. ETR – Eisenbahntechnische Rundschau, 5/2026, S. 67-74.

Summary

Reducing the track cant?

Of behalf of future tilting train operation, in ETR 5/2026 Dr. Breimeier suggests to lower the track cant on major lines of DB's network for to reduce the wear of the inner rail caused by freight trains. The result of this idea is shown at an example, a curve of 1000 m radius. Lowering the cant reduce also the speed of conventional and tilting trains in the curve either, as the lateral wheelset force of the tilting trains directed to the outside of the curve remain as high as before, being about four times higher as those of freight trains directed to the inside of curves. The article mentioned above says that on a 160 km/h cross-country line no increase of track maintenance due to tilting train operation was reported. We hope this will become true also when a large number of 300 km/h tiling ICE operate of DB's core network.



**Bleiben
Sie in der Spur!**

Mit dem Newsletter von

**Eurail
press**

**Jetzt
anmelden!**

[www.eurailpress.de/
anmeldung](http://www.eurailpress.de/anmeldung)

Simulationsgestützte Untersuchung des Schwallverhaltens in Tanks

Beim Transport von Flüssigkeiten in Tanks kommt es zu Schwalleffekten, die zusätzliche Kräfte auf das Fahrzeug ausüben. In dem vom DZSF geförderten Forschungsprojekt wurde das Schwallverhalten und dessen Wirkung auf die Entgleisungssicherheit von Schienenfahrzeugen untersucht. Insbesondere wurden die Regelwerks-Anforderungen an Schwallwände für verschiedene Tankarten und Füllungsgrade überprüft.



Die DB Systemtechnik GmbH wurde vom Deutschen Zentrum für Schienenverkehrsforschung (DZSF) mit dem Projekt „Simulationsgestützte Untersuchungen zum Schwallverhalten in Tanks“ beauftragt. Ziel war es, ein grundlegendes Verständnis des Schwallverhaltens in Tanks unter verschiedenen Betriebsbedingungen zu erhalten.

Neben den Wechselwirkungen zwischen Schwallverhalten und Fahrtechnik sollten ebenfalls der Einfluss der Ladungscharakteristik (Füllungsgrad, Dichte, Viskosität) sowie der Tankart (z. B. Tankcontainer, Kesselwagen) untersucht werden. Hintergrund ist die Regulierung des Füllungsgrades für den Transport von flüssigem

Gefahrgut in Tankcontainern [1]. Hiernach sind bei Füllungsgraden zwischen 20 - 80 % Schwallwände vorgeschrieben, wenn das Tankvolumen 7,5 m³ übersteigt.

Gerade für den Einsatz von besonders großen Tankcontainern im Schienengüterverkehr, die nicht für den intermodalen Verkehr vorgesehen sind, ergibt sich rechtlicher Klärungsbedarf. Kesselwagen im Schienengüterverkehr sind von solchen Beschränkungen ausgenommen. Diese dürfen unabhängig von ihrem Fassungsvermögen zu beliebigen Füllungsgraden befördert werden. Der Ursprung für die Regulierung bei Tankcontainern ist unklar, weshalb diese mithilfe von Simulationen untersucht werden sollte.



Dipl.-Ing. Clemens Höppe

Stellv. Abteilungsleiter
Simulation Gesamtfahrzeug
DB Systemtechnik GmbH
Clemens.hoeppes@
deutschebahn.com



Denis Ehrhardt, M.Sc.

Simulation Gesamtfahrzeug
DB Systemtechnik GmbH
Denis.Ehrhardt@
deutschebahn.com



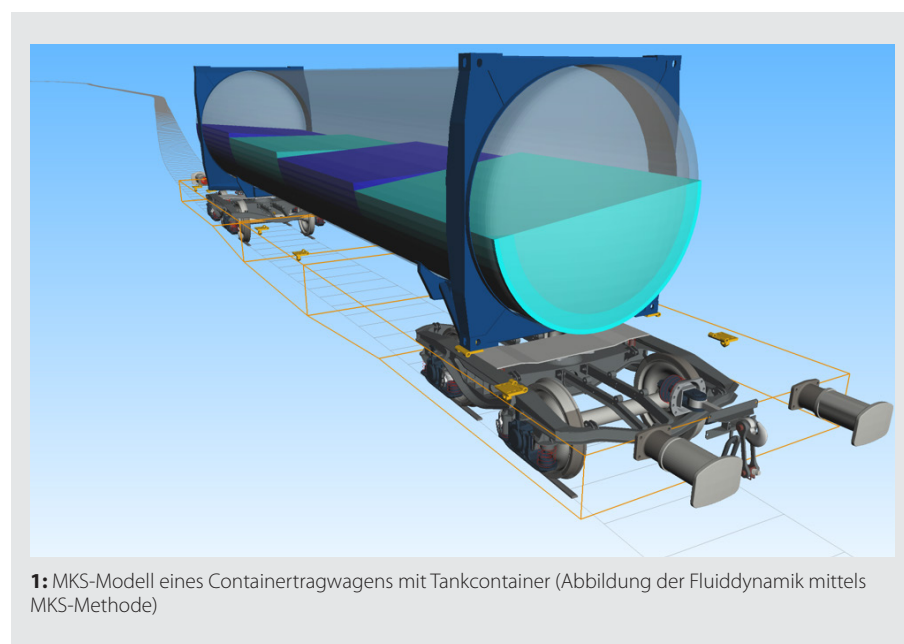
Simon Stüwe, M.Sc.

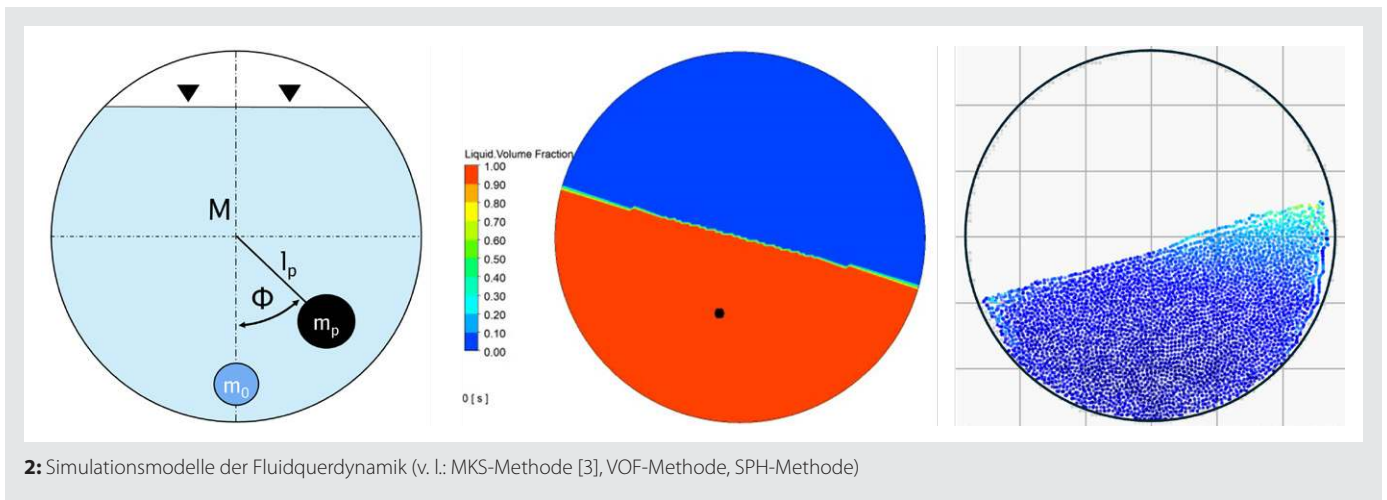
Simulation Gesamtfahrzeug
DB Systemtechnik GmbH
Simon.Stuewe@
deutschebahn.com



Dipl.-Ing. Michael Hieke

Technikkompetenz Aerodynamik
und Klimatechnik
DB Systemtechnik GmbH
Michael.hieke@deutschebahn.com





Modellierungsmethoden für Fahrdynamik und Fluiddynamik

Zur Simulation der Fahrdynamik ist die Nutzung kommerzieller Mehrkörpersimulationsprogramme (MKS) seit vielen Jahren gängige Praxis. Für die Untersuchung wurde das MKS-Programm SIMPACK genutzt und ein parametrisches Schienenfahrzeugmodell aufgebaut, welches mit Y25 Drehgestellen ausgestattet ist (vgl. Abbildung 1). Es eignet sich für Untersuchungen nach [2]. Außerdem lässt sich durch Steuergrößen das Fahrzeugmodell in den Parametern Drehgestellabstand, Tankgröße (Durchmesser und Länge) und Tankposition (bei Containertragwagen) verändern, um so umfangreiche Parametervariationen einfach zu ermöglichen.

Die Flüssigkeitsbewegung wurde in der durchgeführten Untersuchung durch drei unterschiedliche Methoden abgebildet (vgl. Abbildung 2) und hinsichtlich Rechengenauigkeit, Rechengeschwindigkeit und Integrierbarkeit in das bestehende Fahrzeugmodell analysiert.

MKS-Methode

In der Literatur ist eine Vielzahl von Untersuchungen zur vereinfachten Berechnung des Schwallverhaltens in Behältern zu finden. Eine bewährte Methode ist die Abbildung der Flüssigkeit als Pendelmodell oder Feder-Masse-Modell [3,4]. Dabei wird ein Teil der Flüssigkeit als starr mit dem Tank verbunden angenommen, ein anderer Teil ist gefedert bzw. pendelnd aufgehängt. Federsteifigkeit / Pendellänge hängen vom Füllungsgrad und Größe des Tanks ab.

VOF-Methode

Bei der klassischen Berechnung von Strömungen wird ein Berechnungsnetz über das Berechnungsgebiet gelegt und der Strömungszustand in jedem Knoten bestimmt (Volume of Fluid, VOF) [5]. Für die Berechnungen wurden kommerzielle CFD-Programme genutzt, wobei die Eignung zunächst im Rahmen der Recherche ermittelt wurde.

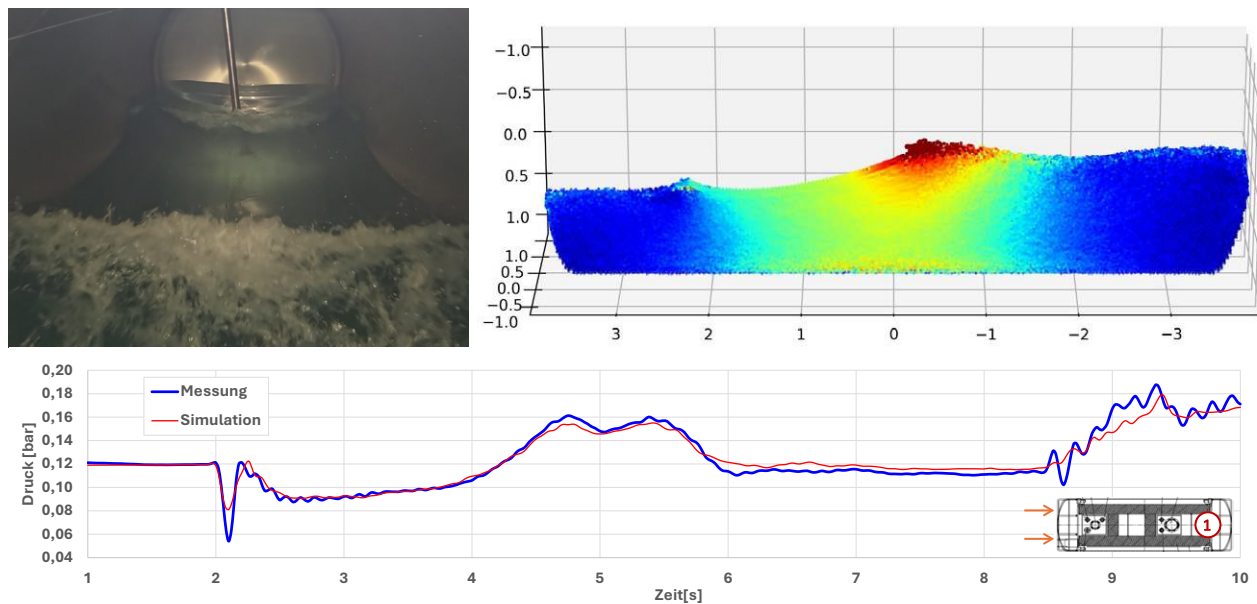
SPH-Methode

Die SPH-Methode (Smooth Particle Hydrodynamics) ist ein neuerer Ansatz, der sich besonders für die Berechnung von Flüssigkeiten mit freier Oberfläche eignet [6]. Die Flüssigkeit wird dabei als Partikelströmung abgebildet, wobei die Partikeldichte den lokalen Druck der Flüssigkeit beeinflusst. Die genutzte Software erwies sich bei Tests als sehr leistungsfähig, um auch stark verwirbelte Strömungen in komplexen Tankgeometrien zu berechnen (z. B. Schwallwände).

Bis auf die Abbildung der Schwallbewegung mittels MKS-Methode werden die Berechnungen zur Fluidodynamik in anderen Programmen als die Simulation der Fahrzeugdynamik durchgeführt. Es ist daher notwendig, die Programme miteinander zu koppeln, um die Auswirkungen des Schwallverhaltens auf die Fahrdynamik zu berechnen oder auch die Auswirkungen der Fahrdynamik auf das Schwallverhalten. Die Analysen zeigen, dass sich die auf den Tank wirkenden Beschleunigungen im Schienenverkehr im Wesentlichen durch



3: Links: Versuchsfahrzeug mit einem 45-Fuß-Tankcontainer für Auflaufstoßversuche und Fahrversuche durch einen engen S-Bogen. Rechts: Versuchsfahrzeug mit zwei 26-Fuß-Tankcontainern mit und ohne Schwallwände für Auflaufstoßversuche



4: Auflaufstoßversuch: Die Ergebnisse der Versuche (oben links) können optisch überzeugend durch die SPH-Simulation (oben rechts) abgebildet werden. Auch der numerische Vergleich der im Versuch und in der Simulation gemessenen Drücke (unten) zeigt eine sehr gute Genauigkeit

die Trassierung und Fahrzeuggeschwindigkeit ergeben und nur zu einem kleinen Teil durch die in Bewegung gebrachte Flüssigkeit. Daher lässt sich die Gesamtsimulation mit hinreichender Genauigkeit durch eine dreistufige sequenzielle Berechnung durchführen:

- Stufe 1: Berechnung der Beschleunigungen durch eine MKS-Fahrzeugsimulation und starrer Flüssigkeit
- Stufe 2: Berechnung des Schwallverhaltens mit der VOF- oder SPH-Methode und Bestimmung der Schwallkräfte
- Stufe 3: Erneute MKS-Fahrzeugsimulation unter Berücksichtigung der Schwallkräfte

Für die in dieser Untersuchung angestrebten Parametervariationen wurden Fahrscenarien gewählt, die eine starke Anregung des Tankinhalts erzeugen.

Für die Anregung in Querrichtung wurde ein doppelter Gleiswechsel modelliert, wie er bei der Ein- und Ausfahrt eines Güterzugs in und aus dem Bahnhof in der Regel vorkommt. Durch geschickte Wahl der Parameter kann das Fahrzeug dabei periodisch in Querrichtung angeregt werden.

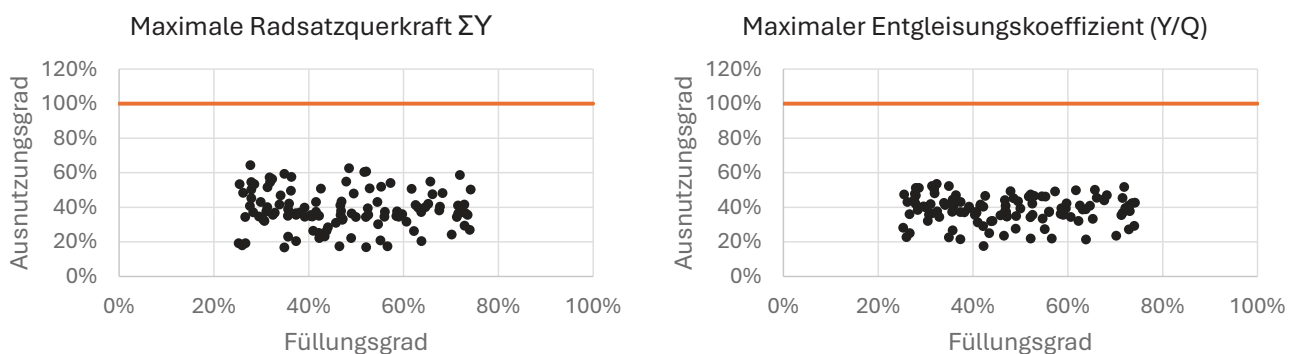
Das Schwallverhalten in Längsrichtung wurde anhand eines Auflaufstoßszenarios analysiert, wie es bei der Zugbildung von Güterzügen vorkommt. Das stoßartige Aufeinandertreffen der Güterwagen sorgt

dabei für eine impulsartige Anregung der Flüssigkeit im Tank.

Validierung der Simulationsmodelle durch Versuche

Für die Validierung der Simulationsmethoden fanden 1:1-Versuche auf dem Versuchsgelände der DB Systemtechnik GmbH in Minden statt.

Mit einem großen 45-Fuß-Tankcontainer wurden Fahrversuche durch einen engen S-Bogen zur Untersuchung des Querschwallverhaltens und Auflaufstoßversuche zur Untersuchung des Längschwallverhaltens durchgeführt. Bei den



5: Ergebnis der Parameterstudie für die Fahrversuchssimulation mit doppeltem Gleiswechsel. Die jeweilige Auswertgröße ist im Verhältnis zum Grenzwert nach [2] aufgetragen

Auflaufstoßversuchen wird ein 80 Tonnen schwerer Schüttgutwagen von einer Rampe abgelaufen und trifft mit niedriger Geschwindigkeit auf das Versuchsfahrzeug.

Zudem fanden Auflaufstoßversuche mit zwei 26-Fuß-Containern statt, von denen einer mit Schwallwänden ausgestattet war, um auch den schwallhemmenden Einfluss dieser Konstruktionselemente bewerten zu können. Die Versuchsfahrzeuge sind in Abbildung 3 dargestellt. Alle Versuche fanden mit Wasser als Fluid statt.

Beide Versuchsszenarien eigneten sich durch ihre Nähe zu den Simulationslastfällen sehr gut, um Aussagen über die Qualität der einzelnen Simulationen zu treffen. Insgesamt wurden für die Versuchskampagne 54 verschiedene Messkanäle für Radkräfte, Beschleunigungen, Dehnmessstreifen und Tankdrucksensoren aufgezeichnet.

Die Ergebnisse zeigten gute Übereinstimmung mit den Berechnungsergebnissen der Simulationsmodelle, sowohl bei Tanks ohne Schwallwände als auch bei Tanks mit Schwallwänden (vgl. Abbil-

dung 4). Sie bestätigen, dass auch das einfache Feder-Masse- bzw. Pendel-Modell das Schwallverhalten und die wirkenden Kräfte in Tanks ohne Schwallwände hinreichend genau abbildet. Das Modell eignet sich daher besonders für umfangreiche Parametervariationen.

Die Simulation des Schwallverhaltens in Tanks mit Schwallwänden ist hingegen nur mit der SPH-Methode mit hinreichender Genauigkeit und akzeptabler Rechenzeit möglich.

Parametervariation

Nach Abschluss der Validierung wurden umfangreiche Parametervariationen durchgeführt, um das Gefährdungspotenzial eines schienengebundenen Tankfahrzeugs durch das Schwallverhalten in Tanks ohne Schwallwände bewerten zu können. Variiert wurden:

- Füllungsgrad
- Flüssigkeitsdichte

- Viskosität
- Tanklänge
- Tankvolumen
- Drehgestellabstand
- Fahrzeuggeschwindigkeit
- Position des Containers auf dem Tragwagen.
- Bei den Untersuchungen zur Querdynamik wurden zudem die Weichengeometrie (Radius und Länge der Zwischengrade) variiert.

Ermittelt wurden die fahrtechnisch relevanten Auswertegrößen Radentlastung, Radsatzquerkraft, Entgleisungskoeffizienten aller Radsätze und Räder nach [2] sowie Pufferkräfte und Kräfte zwischen Container und Untergestell.

Alle Varianten wurden zunächst mit dem im Fahrzeugmodell integrierten vereinfachten Feder-Masse- bzw. Pendel-Modell berechnet. Zur Absicherung der Ergebnisse wurden anschließend stichpunktartig Simulationen zu Varianten mit den höchsten erzielten fahrtechnischen

Technische und wirtschaftliche Fachinformationen für Bahn-Professionals

**Eurail
press**

DER
EISENBAHN
INGENIEUR

ETR
EISENBAHNTECHNISCHE ZEITSCHRIFT



bahn
manager

Rail
BUSINESS

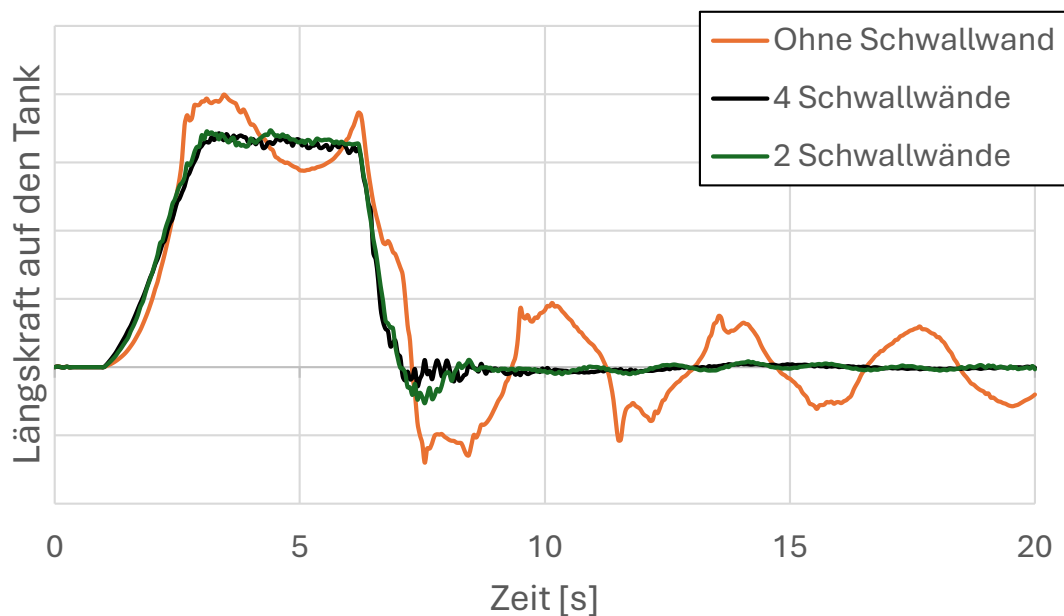
**Eurail
press**

Archiv



**JETZT
INFORMIEREN!**

www.eurailpress.de



6: Berechnung eines Bremsmanövers mit der SPH-Simulation. Eine Reduktion der Fahrdynamik beeinflussenden Längskräfte auf den Tank und damit auf das Fahrzeug lässt sich deutlich erkennen

Größen mit den genaueren Multiphysics-Modellen berechnet.

Für jede Auswertegröße wurde zudem ein quadratischer Regressionsansatz zur vereinfachten Beschreibung der Abhängigkeit von den oben genannten Parametern erstellt. Das Ergebnis ist eine Koeffizientenmatrix, mit der auch ohne Simulationsrechnung abgeschätzt werden kann, ob eine Parameterkonfiguration zu einem fahrtechnisch kritischen Zustand führen kann. Das Verfahren ist für eine Grobabschätzung geeignet, ersetzt die Simulation für detaillierte Untersuchungen aber nicht. Im Ergebnis zeigt sich, dass im untersuchten Parameterraum keine kritischen Fahrzustände zu erwarten sind (vgl. Abbildung 5). Eine Aufhebung der Beschränkung der Füllungsgrade gemäß [RID] [1] bei Tankcontainern wäre damit im Schienenverkehr möglich.

Untersuchungen zum Straßenverkehr

Obwohl im Schienenverkehr Schwallwände in Kesselwagen und Tankcontainern nach diesen Ergebnissen nicht erforderlich sind, sollte im Rahmen des Forschungsprojekts ebenfalls die Wirkung von Schwallwänden genauer untersucht werden, um damit auch einen Erkenntnisgewinn für den Straßenverkehr zu liefern. Neben Grundsatzuntersuchungen (z. B. zwei verschiedene Schwallwand-Geometrien, periodische

Anregung des Tanks) wurden insbesondere durch Regelwerke vorgegebene Szenarien des Straßenverkehrs simuliert (Bremsen, Überholmanöver). Da im Straßenverkehr die Beschleunigungen größer und auch die Richtungswechsel häufiger sind, kommt es zu deutlich ausgeprägterem Schwallverhalten bei mittleren Füllungsgraden als im Schienenverkehr. Die dämpfende Wirkung der Schwallwände reduziert hier die Schwallkräfte deutlich und stabilisiert damit das Fahrverhalten des Lkw (vgl. Abbildung 6). Folglich ist ein Verzicht auf Schwallwände im Straßenverkehr nicht möglich.

Zusammenfassung

In dem vom DZSF geförderten Forschungsprojekt wurde das Schwallverhalten von Flüssigkeiten in Tanks untersucht und dessen Wirkung auf die Rad/Schiene-Kräfte bewertet. Die Validierung der erstellten Simulationsmodelle erfolgte durch umfangreiche 1:1-Versuche. Die Ergebnisse zeigen, dass im Schienenverkehr auf Schwallwände in Tanks aus fahrdynamischer Sicht verzichtet werden kann. Die Untersuchungen zu typischen Fahrscenarien im Straßenverkehr belegen hingegen, dass Schwallwände die Kräfte in Fahrtrichtung signifikant verringern (Bremsvorgang) und daher unverzichtbar sind.

Literatur

- [1] Verordnung: Übereinkommen über den internationalen Eisenbahnverkehr (COTIF) Anhang C – Ordnung für die internationale Eisenbahnbeförderung gefährlicher Güter (RID), OTIF, 2025.
- [2] Norm: Bahnanwendungen – Versuche und Simulationen für die Zulassung der fahrtechnischen Eigenschaften von Eisenbahnfahrzeugen – Fahrverhalten und stationäre Versuche: Deutsche Fassung EN 14363:2016+A1:2018+A2022, Berlin, 2022.
- [3] R. Ranganathan, Y. Ying und J. B. Miles, „Analysis of fluid slosh in Partially filled tanks and their impact on the directional response of tank vehicles“, Section 2: Journal of Commercial Vehicles, Bd. 102, pp. 505-511, 1993.
- [4] R.A. Ibrahim, V.N. Pilipchuk, „Recent advances in liquid sloshing dynamics“, Appl. Mech. Rev., Bd. 54, pp. 133-199, 2001.
- [5] C. W. Hirt and B. D. Nichols, „Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries“, Journal of Computational Physics, vol. 39, no. 1, pp. 201-225, 1981.
- [6] <https://dual.sphysics.org/>; Abruf: 26.03.2025, 13:57:26

Summary

Simulation-based study of surge behaviour in tanks

A simulation-based investigation of surge behaviour in tanks was carried out within a DZSF-funded research project. The influence of sloshing on wheel-rail forces was assessed using validated numerical models supported by extensive full-scale tests. The results indicate that slosh baffles are not required for rail transport, whereas for typical road driving scenarios they are essential to significantly reduce longitudinal forces during braking.

Happy Birthday ETR!

Liebe Leserinnen und Leser,

seit nunmehr 75 Jahren steht die ETR – Eisenbahntechnische Rundschau als Wissensplattform für Impulse, Orientierung und Austausch zu allen technischen Fragestellungen des Systems Bahn. Die ETR begleitet seit jeher wichtige Entwicklungen, setzt Akzente und verbindet als Fachtitel mit Systemgedanken diejenigen, die unsere Branche mit ihrem Wissen und ihrer Leidenschaft gestalten.

Die Vielfalt der Beiträge zu Infrastruktur, Rollmaterial und Betrieb hat sich gegenüber früheren Jahren nicht verringert – im Gegenteil: Neue Fragestellungen kommen laufend hinzu. Die grundlegende Technik bleibt und wird kontinuierlich optimiert, doch das System muss effizienter, digitaler und attraktiver werden, neue Technologien müssen schneller ihre Wirkung für die Bahnkundinnen und -kunden entfalten. Zugleich stellen die zunehmende Digitalisierung, Automatisierung und der Einsatz von KI neue Anforderungen und bringen neue Akteure in den Markt.

Einen kompakten Überblick über bedeutende Innovationen der zurückliegenden Jahrzehnte sowie einen Ausblick auf die

digitalen Zukunftsfelder der Bahn bieten wir Ihnen auf den folgenden Seiten in zwei exklusiven Jubiläumsbeiträgen. Damit zeigen wir exemplarisch, wie sich das System Bahn in der Vergangenheit stetig weiterentwickelt hat – und wie der dynamische technologische Fortschritt in der Digitalisierung auf diesem Fundament nun auch im Schienenverkehr nachvollzogen werden muss. Den Bestand erhalten und den heutigen Betrieb zuverlässiger machen, zugleich Innovationen zügig ins Feld zu bringen: Dieser Spagat wird in den kommenden Jahren eher größer als kleiner. Die anstehenden Herausforderungen können nur gemeinsam gemeistert werden – von den vielen Talenten, Macherinnen und Machern, die unsere Branche prägen. Als etablierte, sektorübergreifende Wissensplattform wird die ETR auch künftig ihren Beitrag dazu leisten.

Unser herzlicher Dank gilt an dieser Stelle allen Leserinnen und Lesern, Mitwirkenden und Partnern, die der ETR seit so vielen Jahren ihr Vertrauen schenken und sie mit ihrem Engagement unterstützen. Denn wie die Branche, so lebt auch diese Publikation von der Mitwirkung vieler engagierter Köpfe. Ihnen allen und der ETR herzlichen Glückwunsch zu einem Dreivierteljahrhundert Bahnwissen!



Manuel Bosch

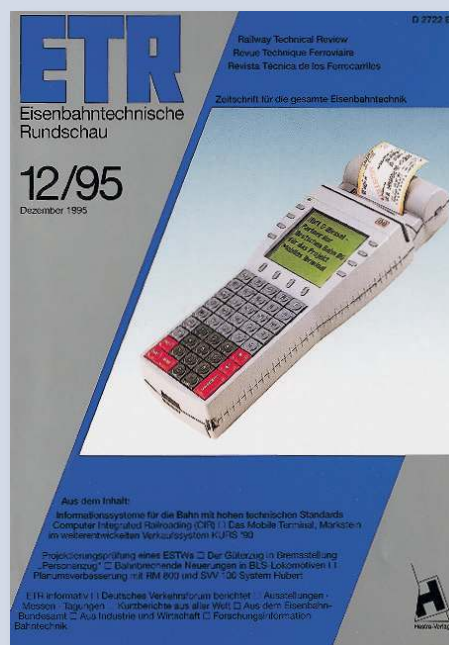
Verlagsleiter DVV Media



Ursula Hahn

Chefredakteurin ETR

Wie Layouts unsere Zeit spiegeln



Gesagt. Getan. Geholfen.



Ihr stellt die Weichen für Deutschland und wir für Eure Absicherung

Mit Produkten und Angeboten für die
Mitarbeitenden der Bahnbranche.

Mehr Informationen findet Ihr unter **www.devk.de**.
Für eine persönliche Beratung sind wir vor Ort und
telefonisch unter **0800 4-757-757*** rund um die Uhr für
Euch da.

*gebührenfrei aus dem deutschen Telefonnetz

DEVK

Innovationen, die die Bahn verändert haben

Im Spätsommer 1951 konzipierten findige Köpfe in Darmstadt eine neue Zeitschrift zu Fragen des Bahnsystems – die ETR – Eisenbahntechnische Rundschau. Im Januar 1952 erschien das erste Heft. So können wir auf 75 Jahre Berichterstattung zurückblicken – und auf eine Zukunft schauen, die viele Neuigkeiten bereithält.



Die Vielfalt der Themen wurde insbesondere in der Jubiläumsausgabe der ETR vom Oktober 2021, zum 70. Jahrgang der ETR, ausführlich dargestellt [1]. In den fünf Jahren bis heute hat sich der Schwerpunkt etwas verlagert. Stand früher die Eisenbahntechnik und deren Innovationspotential im Vordergrund, so befasst sich die ETR seitdem auch mit theoretischen Überlegungen zur Kapazität des Netzes, Fahrplankonstruktionen und deren Auswirkungen, Anwendung von digitalen Methoden und Künstlicher Intelligenz (KI) in Planung und Betrieb, Verbesserung der Pünktlichkeit und vieles andere mehr. Implementierung von ETCS in höheren Levels, Fahrerassistenzsysteme und das Automatische Fahren (ATO) im Nah- und Güterverkehr gesellen sich hinzu. Ein besonderes Kapitel ist die Digitale Automatische Kupplung (DAK), die große Hoffnung für den Einzelwagenverkehr.

Begonnen hat das alles wahrscheinlich mit dem Lokomotivbauprogramm 1950, das ein Jahr vor Gründung der ETR im Technischen Gemeinschaftsbüro (TGB)

der deutschen Lokomotivindustrie in einer soliden Baracke im Wald oberhalb des Bahnhofs Kassel-Wilhelmshöhe auf Wunsch der Bahn ausgearbeitet wurde. Die Triebfahrzeuge der Bahn bestanden damals nur aus Vorkriegsbeständen, neue Fahrzeuge waren dringend nötig. Das TGB entwickelte mehrere Dampflokomotiven, von denen die Baureihe 23 (Abb. 1, aus [2]) mit 105 gebauten Exemplaren wohl die erfolgreichste war. Doch nun setzte der so genannte „Strukturwandel“ in der Triebfahrzeugtechnik ein: Diesellokomotiven und Elektroloks ersetzen die Dampflokomotiven. Die letzten Dampflokomotiven fuhren 1977 mit 4000 t schweren Erzzüge von Emden ins Ruhrgebiet. Im Personenfernverkehr dominierte die Baureihe 103 (Abb. 2), die schon 1965 anlässlich der Internationalen Verkehrsausstellung in München planmäßig mit 200 km/h die Strecke München–Augsburg befuhr. Beispielhaft für den Güterverkehr steht die Lok-Baureihe 145, eine Mehrsystemlokomotive für den grenzüberschreitenden Verkehr (Abb. 3). Diese Ganzzüge benötigen kei-

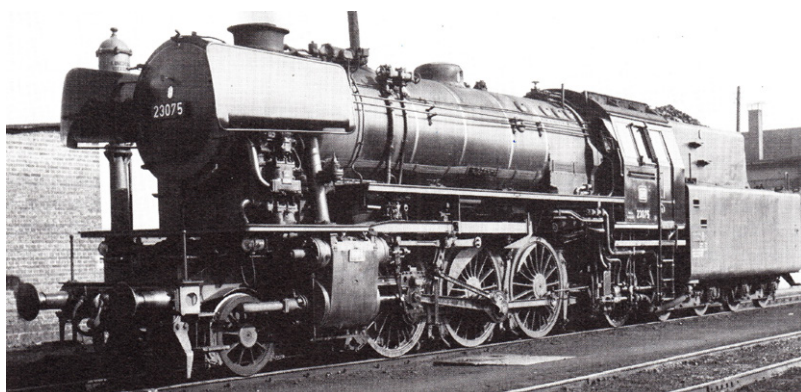


Prof. Dr.-Ing. Eberhard Jänsch

Apr. a. D., Schöneck
Ehemaliger Leiter
Systemkoordination
HGV (DB)
eb@hsr-jaensch.de

nen Rangierbahnhof, anders als der Einzelwagenverkehr. Für diesen entstand von 1970 bis 1984 der gewaltige Rangierbahnhof Maschen, südlich von Harburg gelegen: 7 km lang, 700 m breit, 300 km Gleise, 750 Weichen (Abb. 4). Seine elektronischen Stellwerke wurden inzwischen auf neueste Technik gebracht. Im Rangierbetrieb wird bei der DB seit 2011 unter anderem die Baureihe 261 eingesetzt (Abb. 5), bei der DB allerdings im üblichen Rotanstrich.

Zur Zeit der Gründung der ETR war die Stellwerkstechnik noch völlig veraltet. Mechanische Hebelstellwerke wie das auf Abb. 6 sind sogar heute noch im Einsatz; sie erfüllen ihren Zweck zuverlässig, benö-



1: Dampflokomotive Baureihe 23, aus [2]



2: Lok Baureihe 103 vor IC-Zug (Nostalgiefahrt 2008)

Quelle: DB



3: Zug der Ruhrkohle AG (RAG) mit Mehrsystemloks Baureihe 145

Quelle: DB



4: Rangierbahnhof Maschen



5: Rangierlokomotive Gravita 10BB

Quelle: Voith Turbo



6: Mechanisches Stellwerk, aus [2]



7: Elektronische Betriebszentrale

Quelle: ETR

tigen aber auch viel geschultes Personal. Moderne Stellwerkstechnik arbeitet selbstverständlich mit Computern, und jeder Fahrdienstleiter hat gleich mehrere unter seiner Aufsicht (Abb. 7).

Im Personennahverkehr gab es mit dem Ausbau der S-Bahn-Systeme ständig Neues zu berichten. Ausgangspunkt war die S-Bahn Berlin, die schon in den Jahren 1925-1933 auf Stromschienenbetrieb mit 750 V Gleichstrom umgestellt worden war. Es folgt die Umstellung der S-Bahn Hamburg, die zunächst nur aus der elektrischen Vorortbahn Blankenese-Ohlsdorf bestand, von 6,3 kV/25 Hz Oberleitung auf 1200 V Stromschiene, was von 1939 bis 1955 dauerte. In München wurde zur Olympiade 1972 ein neues S-Bahn-System mit etwa 380 km Länge in Betrieb genommen, fast durchweg Strecken im Mischbetrieb mit Regional- und Fernzügen, mit Ausnahme des innerstädtischen Tunnels. Später kam auch der Anschluss des Flughafens hinzu (Abb. 8).

Über Neuigkeiten im Regionalverkehr konnte die ETR mit Beginn der 1990er Jahre berichten: Der Neigetechnik-Dieseltriebwagen VT 610 war einsatzbereit und

bewies seit Sommerfahrplan 1992 auf den Strecken Nürnberg-Bayreuth/Hof seine Fähigkeit, durch kürzere Fahrzeiten erheblichen Mehrverkehr auf die Bahn zu ziehen. Das führte zu umfangreichen Planungen für Neitech-Verkehr in ganz Deutschland und auch zu Nachfolgeentwicklungen für Neitech-Züge, zunächst für Nahverkehr (Abb. 9), schließlich auch für Fernverkehr mit dem 230 km/h schnellen ICE-T, wobei das „T“ für Tilting steht, dem englischen Ausdruck für die Neigetechnik (Abb. 10).

Ähnlich wie die Fahrzeugtechnik entwickelte sich auch die Oberbautechnik mit großer Geschwindigkeit. Zur Gründungszeit der ETR war schon der Einsatz von sogenannten „Kraftstopfern“ bei der Gleisinstandhaltung ein Fortschritt (Abb. 11). Diese Art der Handarbeit wurde dann sukzessive durch den Einsatz von großen Stopf/Richtmaschinen abgelöst, die schnell und sehr präzise die richtige Gleislage wieder herstellen (Abb. 12). Bei grundlegender Erneuerung des Schotteroberbaus werden zunehmend die alten Betonschwellen durch solche mit Schwellensohlen ersetzt, was die Instandhaltungsintervalle verlängert. Für spezielle Anwendungsfälle, das sind insbe-

sondere Hochgeschwindigkeitsstrecken, bietet sich die Feste Fahrbahn an. Seit dem ersten Anwendungsfall 1971 in einem mit 200 km/h befahrenen Gleis im Bahnhof Rheda hat sich auch die Feste Fahrbahn weiterentwickelt; Abb. 13 zeigt die Feste Fahrbahn „Rheda 2000“ auf der Neubaustrecke Nürnberg-Ingolstadt, hier noch vor dem Verfüllen mit Ortbeton. Außerdem kam auf dieser Strecke der Plattenoberbau der Fa. Max Bögl zur Anwendung.

Ohne Weichen ist ein Bahnbetrieb nicht möglich. Anfänglich gab es nur Weichen mit gelenkig gelagerten Zungen. In Abb. 14 oben ist ein besonders eindrucksvolles Beispiel zu sehen, insbesondere hier eine Weiche mit deutlichem Anlaufwinkel an der Zungenspitze. Moderne Weichen haben diesen nicht, und sie verfügen über Zungenroller, die das ständige Weichenschmieren überflüssig machen (Abb. 14 unten).

Für den Personen-Fernverkehr (SPFV) konnte die ETR im Laufe der letzten 75 Jahre immer wieder Neues verkünden. Dieser war zunächst Domäne der lokomotivbespannten Züge, mit ständig verbessertem Angebot. Dem Intercity '71 (Deutschland



8: S-Bahn München, ET 420



9: Neitech-Zug VT 612



10: ICE-T Rollout, April 1998

Quelle: Autor

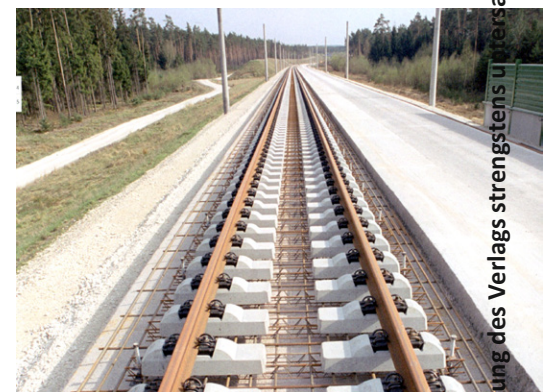


11: Kraftstopfen, aus [2]



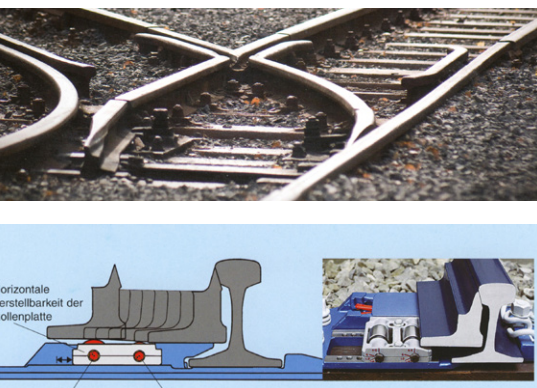
12: Stopfexpress 09-3X mit dynamischem Gleisstabilisator

Quelle: Plasser & Theurer



13: NBS Nürnberg – Ingolstadt, Rheda 2000

Quelle: Pfeleiderer/RailOne



14: Weichen alt (oben) und neu (unten)

Quelle: Schiwag



15: Intercity Experimental (RS-VD)

16: ICE-T in einem Bw, Radsatzunter-
suchung

Quelle: D

im 2-Stunden-Takt) folgte der Intercity '79 (Jede Stunde, jede Klasse), ergänzt 1988-2003 durch das beliebte Interregio-System (4-Stunden-Takt, mehr Zwischenhalte im mittleren Entfernungsbereich). Mit der Inbetriebnahme der ersten beiden Neubaustrecken (NBS) Hannover – Würzburg und Mannheim – Stuttgart im Jahr 1991 begannen dann ICE-Triebzüge mit Spitzengeschwindigkeiten von 250 bis 280 km/h einen wesentlichen Anteil der Verkehrsströme im SPFV zu übernehmen.

Vorangegangen war die Entwicklung eines „Rad/Schiene-Versuchs- und

Demonstrationsfahrzeugs“ (R/S-VD) im Rahmen des vom Bundesminister für Forschung und Technologie (BMFT) geförderten Programms zur Erforschung der Grenzen des Rad/Schiene-Systems. Diese sah man im Geschwindigkeitsbereich bis 350 km/h, und dafür wurde das R/S-VD ausgelegt (Abb. 15). Der 5-teilige Triebkopfbzug wurde noch während seines Baus in „Intercity Experimental“ (ICE) umbenannt. Er erreichte auf dem 1988 schon fertiggestellten Südbauabschnitt der NBS Hannover – Würzburg am 1. Mai eine Rekordgeschwindigkeit von 406 km/h.

Noch höhere Geschwindigkeiten waren für die parallel zur R/S-Forschung vorangetriebenen Magnetbahn geplant; dort sollten die Fahrgäste mit 450 km/h im täglichen Betrieb befördert werden. Auf der Transrapid-Versuchsanlage im Emsland (TVE) wurden bei Publikumsfahrten regelmäßig mehr als 400 km/h erreicht. Über die verschiedenen Magnetbahnplanungen hat die ETR ausführlich berichtet. Schließlich wurden nach dem Scheitern des Projekts Hamburg – Berlin (2002) und der Flughafenanbindung München (2008) die Bemühungen um Magnetbahnen im schnellen SPFV eingestellt.



17: ICE 3 auf der Mainbrücke Nantenbach



Quelle: DB 18: Digitale Automatische Kupplung (DAK)

Die aus dem Experimentalzug entwickelten Serienzüge wurden im Sommer 1991 erstmals im Regelbetrieb eingesetzt, nun unter dem Namen Intercity Express (ICE). Rechtzeitig zur Inbetriebnahme der ersten beiden NBS war auch das erste Instandhaltungsbetriebswerk, das ICE-Bw Hamburg-Eidelstedt, fertig geworden. Eine wesentliche Aufgabe dieses und aller weiteren ICE-Betriebswerke ist die Inspektion, insbesondere der Laufwerke (Abb. 16).

Nach den Triebkopfzügen der ersten Generation (ICE 1 und ICE 2) entschied sich die DB zusammen mit der Herstellergemeinschaft zum Umschwenken auf Triebwagentechnologie. Dabei werden alle Antriebselemente im Unterflurbereich untergebracht; so bleibt mehr Platz für die Fahrgasträume. Außerdem verteilt sich die Traktionsenergie auf mehrere Antriebsachsen; beim ICE sind es 16 von 32 Achsen im 200 m langen Zugverband. Die Höchstgeschwindigkeit erreicht nun 320 km/h, was auf der französischen Neubaustrecke von Straßburg nach Paris auch täglich gefahren wird; in Deutschland sind es 300 km/h auf den NBS Köln–Rhein-Main und Nürnberg–Ingolstadt. Abb. 17 zeigt einen ICE 3 auf seiner Fahrt Frankfurt–Würzburg–Nürnberg–München auf der Mainbrücke bei Nantenbach.

Digitalisierung und Automatisierung sind große Ziele, die derzeit in vielen ETR-Beiträgen angesprochen werden. Building Information Modeling (BIM) und KI unterstützen den Systementwurf und die Implementierung. Noch ist allerdings das meiste Theorie, aber hier sehen fast alle Autoren die glänzende Zukunft für eine pünktliche, hochleistungsfähige, störungsfreie und attraktive Eisenbahn der Zukunft. Die nächs-

tem fünf Jahre werden zeigen, ob sich die großen Erwartungen erfüllen. Vielleicht erscheint dann auch ein Bericht anlässlich der Umrüstung des 100.000sten Güterwagens auf die DAK (Abb. 18).

Literatur

- [1] Jubiläumsausgabe 70 Jahre ETR, Oktober 2021.
- [2] J.P. Blank, Th. Rahn (Hrsg.): Die Eisenbahntechnik – Entwicklung und Ausblick. Hestra-Verlag, Darmstadt, 1982.



Digitale Zukunftsfelder der Bahn

Um die Bahn weiter voranzubringen, sind auch zahlreiche Digitalisierungs-
vorhaben notwendig. Diese erstrecken sich quasi auf alle Bereiche. Die ETR gibt
im Folgenden einen kurzen Abriss über die wichtigsten Vorhaben.



1. Digitalisierung der Strecken: ein langer Prozess

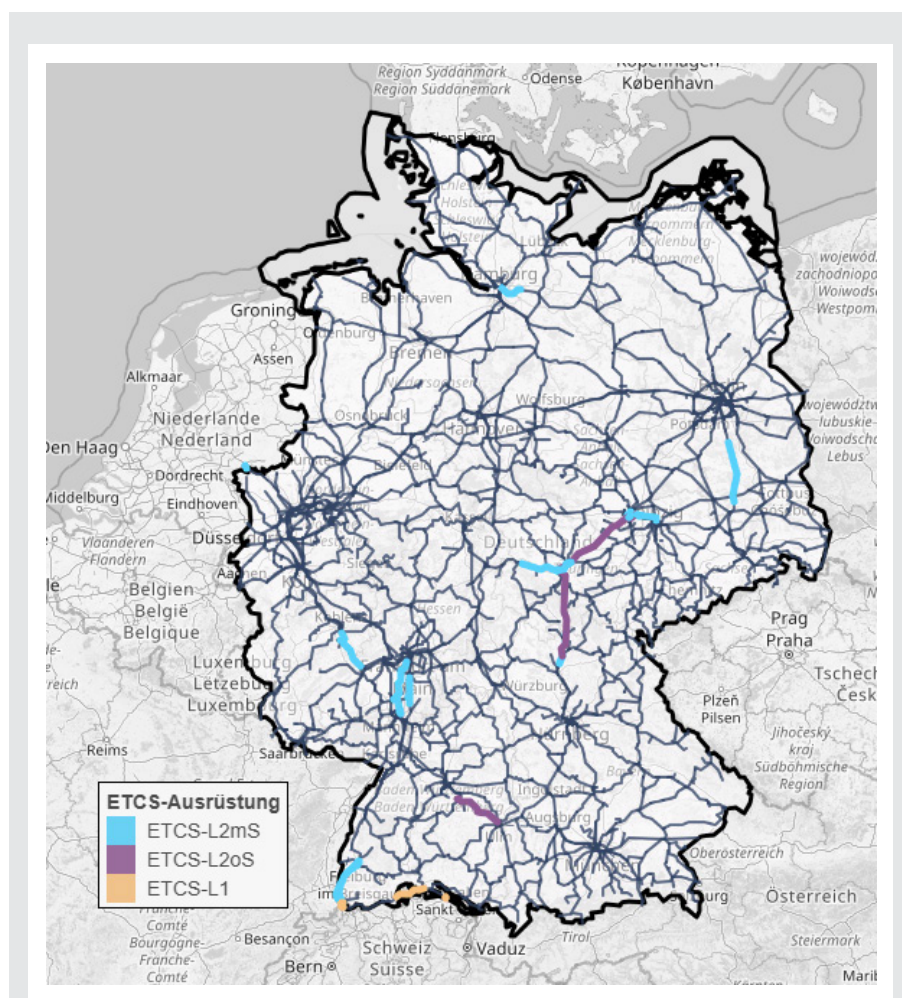
Schon früh hat sich die Europäische Union der Interoperabilität auf dem Bahnnetz verpflichtet. Eine entscheidende Maßnahme war die Entscheidung für ein einheitliches Zugsicherungssystem – genannt ERTMS (European Rail Traffic Ma-

nagement System) mit ETCS (European Train Control System) und dem Bahnfunk als jeweilige Teillösung. Von Anbeginn gab es dabei unabhängig von der eingesetzten Software verschiedene Level. Auch wenn ETCS selbst auf den wichtigen Korridoren bislang nicht umgesetzt ist, ist die Interoperabilität trotzdem weit vorangekommen.



**Christoph Müller,
Dipl.-Ing.**

Freier Redakteur
Christoph.Mueller.extern@
dvvmedia.com



1: DB-Streckenkarte mit dem ETCS-Bestand, die Ausbauplanungen für die Inbetriebnahmen 2029, 2030 und 2031 sind folgendem Link zu entnehmen: <https://www.dbinfra.go.com/web/schienen-netz/etcs/etcs-migrationsstrategie-11089586>

Quelle: DB InfraGo

Noch sieht die aktuelle Verordnung der EU-Kommission vor, das Kernnetz von TEN-T (Transeuropean Network Transport) im Umfang von rund 64.500 km bis 2030 komplett mit ERTMS auszustatten. Nun zeigen Unterlagen der Kommission von Anfang Juli auf, dass bis zu dem Termin wahrscheinlich erst um die 36.600 km, entsprechend 57 Prozent ausgestattet sein dürften. Parallel würden bis zu dem Termin darüber hinaus rund 8000 km Strecke außerhalb des TEN-T ausgerüstet sein. In der EU sind die Länder Luxemburg und Belgien Vorreiter, auch Tschechien ist derzeit aktiv in der Umrüstung. Nun will die Kommission in einer neuen Verordnung die Umstellung zeitlich strecken. So soll nun nur das „erweiterte Kernnetz“ bis 2040 umgestellt sein, alle Strecken des TEN-T (120.000 km) erst bis 2050.

Laut EU-Kommission waren in Europa Ende 2024 erst 16 Prozent des TEN-T-Kernnetzes und damit um 10 Prozent des Gesamtnetzes TEN-T im Umfang von 200.000 km auf ERTMS umgestellt. Nach den (teils nicht mehr aktuellen) der Kommission vorliegenden Planungen der Mitgliedsstaaten sollen zwischen 2025 und 2027 insgesamt rund 14.000 km neu mit ERTMS/ETCS ausgestattet werden – nicht nur im TEN-T; zwischen 2028 und 2030 stehen sogar 21.000 km Strecke in den Plänen. So ist beispielsweise der dort noch hinterlegte „National Implementation Plan“ von Deutschland/Deutsche Bahn bereits veraltet.



2: Advanced TrainLab in der Prignitz bei Tests zu 5G und FRMCS

Quelle: alle Fotos C. Müller

1.1. DB: ETCS-Migration mit neuem Zeitplan

Anfang Juli hat die DB InfraGo der Deutschen Bahn ihre neue Migrationsstrategie für ETCS vorgelegt. Der neue Plan erwähnt nur noch die Strecken, die ETCS Level 2 ohne Signale (ETCS L2oS) mit Umstellung Dezember 2031, sowie Strecken, die bis zu dem Datum ein Upgrade der ETCS-Systemversion bekommen werden.

Nach dem bisherigen Plan sollten Ende 2028 die ersten Strecken mit ETCS L2oS in Betrieb gehen – dies erfolgt nunmehr ein

Jahr später. Zudem werden nicht wie bisher geplant bis Ende 2031 – dem Ende der aktuellen Migrationsstrategie – wichtige Korridore auf ETCS L2oS umgestellt. So fehlen u.a. die Magistralen Hamburg–Bremen, Bremen–Hannover, Hamburg–Hannover, die Schnellfahrstrecke Köln–Rhein/Main (KMR), Magdeburg–Halle sowie Bebra–Erfurt.

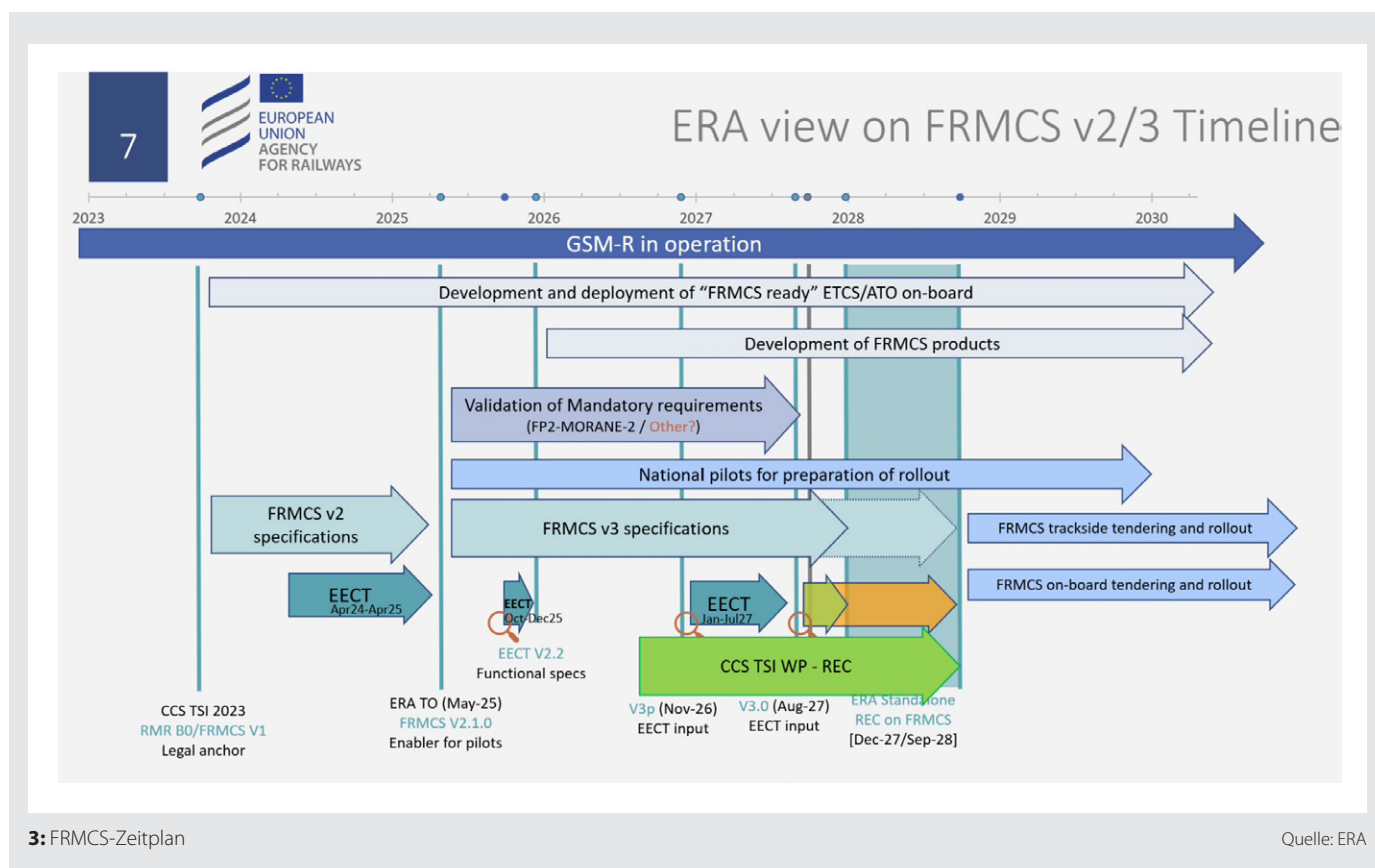
Derzeit sind laut Allianz pro Schiene in Deutschland nur 1,6 % des Netzes überhaupt mit ETCS ausgestattet.

Nun sollen bis Ende 2031 neun Strecken(abschnitte) erstmals mit ETCS

L2oS ausgestattet werden, parallel wird das bisherige System PZB abgeschaltet:

- Lüneburg–Dannenberg (53,0 km), Inbetriebnahme (IBN) 6/2029
- Hamburg-Hammerbrook – Hamburg-Neugraben (S-Bahn; 20,8 km); IBN 12/2029
- Wolmirstedt–Demker der Strecke Stendal–Magdeburg (35,54 km); IBN 6/2030
- Bad Schandau Grenze CZ – Bad Schandau Ost (7,14 km); IBN 12/2030
- Kläden–Wieren der Strecke Stendal–Uelzen (77,37 km); IBN 12/2030
- Hamburg-Klein Flottbek – Hamburg-Blankenese–Wedel (S-Bahn; 13,24 km); IBN 12/2030
- Bad Schandau Ost–Pirna (25,8 km); IBN 12/2031
- Kohlscheid–Wickrath (48,21 km); IBN 12/2031
- Leipzig-Engelsdorf–Riesa (54,25 km); IBN 12/2031
- Leipzig-Engelsdorf–Borsdorf (4,27 km); IBN 12/2031 und
- Grafing–Rosenheim (24,81 km); IBN 12/2031.

Darüber hinaus ist die Umstellung im DKS (Digitaler Knoten Stuttgart) im Baustein 3 in den beiden Planbereichen 1 (Böblingen)





4: Versuchsweiser automatischer Abstellbetrieb nach GoA4 ohne Fahrer in Hamburg Bergedorf

und 2 (Waiblingen) aktuell für Ende 2031 geplant mit dem Hinweis der Überprüfung wegen der bereits verschobenen Inbetriebnahme von ETCS in den Bausteinen 1 und 2. Weiter soll die VDE 8.1/8.2 Leipzig/Halle–Erfurt–Bamberg in zwei Phasen ein Baseline-Upgrade auf die ETCS-Systemversion 2.1 (Baseline 3 R2; Software-Release 3.6.0) erhalten. Hier bleiben die Signale, die derzeit installiert sind, erhalten. Mit zwei Ausnahmen bekommen alle Strecken die Systemversion 2.1, nur Grafing–Rosenheim wird mit 2.0 (Baseline 3 MR1; Software-Release 3.4.0) ausgestattet. Für den DKS ist bereits die Version 2.3 (Baseline 4; Software-Release 4.0.0) vorgesehen.

Parallel zu ETCS L2oS sollen die Strecken der S-Bahn Hamburg und die Strecken vom DKS mit der ATO-Technik für den automatisierten Betrieb ausgestattet werden.

Die Ausrüstung der Nebenstrecke nach Dannenberg ist als Zulassungsprojekt für die neue Generation von Siemens ESTW bzw. DSTW und RBC vorgesehen. Für diese Maßnahme erfolgte bereits im März 2026 ein Abruf aus dem Volumenvertrag zur Digitalisierung der Leit- und Sicherungstechnik, Auftragnehmer sind Siemens Mobility und Leonhard Weiss.

Bis Ende 2030 will die DB InfraGo eine ETCS-Migrationsstrategie vorstellen, „die bis weit in die 2030er-Jahre reicht“. Basis soll die vom Bundesverkehrsministerium angekündigte Förderrichtlinie zur Ausstattung von Fahrzeugen mit ETCS-Bordtechnik sein.

1.2. LST: PDI löst DSD-Partnerschaft ab

Parallel zur neuen Migrationsstrategie haben die DB InfraGo und der Verband der Bahnindustrie (VDB) im Juni in Fulda ein „Leitlinienpapier zur Digitalisierung der Infrastruktur“ unterzeichnet. Details sind bislang nicht bekannt, es soll aber die neue Partnerschaft zur Digitalisierung der Infrastruktur (PDI) begründen. Ziel sei es, LST-Projekte schneller zu planen, in Betrieb zu nehmen und technische Probleme vor den Projekten auszuräumen. Ein Thema seien dabei Kommunikationsprobleme, sagte Patrick Steinebach, InfraGo-Vorstandsbeauftragter Digitale Infrastruktur und Kommunikationstechnik sowie Leiter der LST-Plattform.

PDI wird als Nachfolger der DSD-Partnerschaft verstanden. Dieses Bündnis zur Digitalisierung der Infrastruktur habe laut Steinebach die Erwartungen nicht erfüllt. Bei PDI wurde der Overhead reduziert. Basis der PDI sind nun sieben Arbeitsgruppen, die jeweils auf ein Thema spezialisiert sind – darunter Technikgrundsätze, Deregulierung, OT Security und stabile Projektdurchführung. Parallel soll PDI die Entscheidungsbefugnisse vor Ort „unmittelbar am Projekt“ stärken. Die sieben Arbeitsgruppen haben in diesem Jahr bereits ihre Arbeit aufgenommen.

2. FRMCS: 2G wird abgelöst

Essenzieller Bestandteil von ERTMS/ETCS ist der Zugfunk. Seit Einführung des digitalen Funks GSM-R basiert dieser auf der 2G-Technologie. Inzwischen wird diese im öffentlichen Mobilfunknetz kaum mehr angewandt. Die 1992 eingeführte Technik wird 2028 von den Mobilfunkbetreibern abgeschaltet. Im Bahnsektor soll hier FRMCS (Future Railway Mobile Communication System) die Nachfolgelösung sein, deren Entwicklung aktuell als europäisches Gemeinschaftsprojekt läuft. Es basiert auf dem aktuellen Funkstandard 5G.

Beim europäischen FRMCS-Erprobungsprojekt Morane 2 ist nun die Halbzeit erreicht und nun steht die entscheidende Phase der praktischen Feldtests an. Bis zum Projektabschluss im September 2027 sollen zunächst alle relevanten Komponenten bei Ericsson in Düsseldorf, Nokia in Budapest sowie bei Kontron in Wien unter Laborbedingungen ihre Tauglichkeit hinsichtlich Konnektivität im Zusammenspiel mit GSM-R sowie bei der



5: Der Versuchszug Sensor4Rail war mit vielen Sensoren zur Umfelderkennung ausgestattet

herstellerübergreifenden Interoperabilität unter Beweis stellen. Auch die dann anschließenden Feldtests mit der Erprobung realer Szenarien in Spanien, den Niederlanden, Deutschland und Schweden sind vorbereitet und im Plan. Die endgültige Spezifikation für FRMCS, Version 3 (V3), soll mit der nächsten TSI ZZS (Technische Spezifikation Interoperabilität – Zugsteuerung, Zugsicherung und Signalgebung) verbindlich definiert werden. Die Spezifikationen für V3 sollen bis November 2026 vorliegen und bis September 2027 dann getestet werden. Die Europäische Eisenbahnagentur ERA will der EU-Kommission dann zwischen Dezember 2027 und September 2028 eine Empfehlung für die neue TSI ZZS vorlegen. Dies muss dann noch von den Mitgliedsstaaten verabschiedet werden.

Offen bleibt noch beispielsweise die Rückfallebene von FRMCS. Das System nutzt die Frequenzen 900 MHz (n100) und 1900 MHz (n101), die ausschließlich den Bahnen vorbehalten sind. Zu klären ist aber noch, ob und wie die Rückfallebene über die örtlichen Mobilfunknetze ausgestaltet wird. Verbindliche Aussagen gibt es bisher dazu nicht. Möglich ist eine harmonisierte gesamteuropäische oder eine nationalstaatliche Lösung.

3. Der lange Weg zum automatischen Fahren

Das fahrerlose Fahren ist seit vielen Jahren Wunsch vieler Bahnbetreiber – aber auch bei den Beteiligten im Automotive-Sektor. Dabei hat die Bahnbranche deutlich bessere Startchancen wegen der Spurführung.



6: Der erste Zug, bei dem Waggon und Lok mit dem DAK ausgerüstet sind

Daher sind die ersten Anwendungen des fahrerlosen Fahrens (ATO GoA4) auch im Bahnsektor umgesetzt worden – im Bereich der U-Bahnen auf abgeschlossenen Netzen oder „People-Mover“-Systemen. Das anspruchsvollste Netz ist dabei die U-Bahn in Nürnberg mit offenen Bahnsteigen und Mischbetrieb mit manuellem und automatischem Betrieb auf der gleichen Strecke. Das System „Rubin“ läuft seit 2008.

Ein nächster Schritt war der Ansatz, im Depot in einem zwar begrenzten, aber offenen Bereich autonom zu fahren. Dies wurde und wird zunächst im Straßenbahnsektor umgesetzt. So hat ein Konsortium um Siemens Mobility im Herbst 2019 in Potsdam das Projekt AstriD („Autonome Straßenbahn im Depot“) vorgestellt. Be-

reits 2018 wurde das Fahrzeug für einen automatisierten Betrieb auf der Strecke mit mehreren Lidar-, Radar- und Kamerasensoren ausgerüstet. Das Projekt endete 2022 – zur Anwendung kam es aber bisher nicht.

In jüngerer Zeit arbeitet Skoda Transportation an einem „Smart Depot“ für Straßenbahnen mit dem zentralen Element des komplett autonomen Betriebes der Fahrzeuge im Depot. Im „Smart Depot“ erfolgt nicht nur die vollautomatische Bewegung der Fahrzeuge nach GoA4 (Abstellung, Bereitstellung etc.), sondern auch die automatisierte Überwachung des Fahrzeugzustandes. Herzstück dieser Funktionalität ist das Kollisionsvermeidungssystem ACS von Škoda, das sich auch zur Fahrerunterstützung auf öffentlichen Strecken nut-

Seit 80 Jahren geben wir Signale.



Mit dem elektrischen Makrofon EM 660/370 ist eine Funktionsprüfung mit reduzierter Lautstärke möglich. So sorgen wir für mehr Sicherheit, weniger Lärm und eine einfache Installation ohne Druckluft.

www.zoellner.de // rollingstock@zoellner.de

InnoTrans

Halle 25 // Stand 570
Schauen Sie vorbei!



zen lässt. ACS nutzt eine Kombination aus hochauflösenden Karten und intelligenten Sensoren, insbesondere einem hochpräzisen Lidar.

Im Vollbahnbereich wurde der autonome und automatische Betrieb in Deutschland erstmals 2021 Realität. Zum ITS World Congress wurde in Hamburg „ATO over ETCS“ mit der Automatisierungsstufe GoA2 und die vollautomatische Abstellung nach GoA4 vorgestellt. Für die Abstellung gab es eine Einzelzulassung, parallel wurde eine temporäre 5G-Funkinfrastruktur aufgebaut. Bei ATO over ETCS erfolgte erstmals die Integration in ein bestehendes Systemumfeld (ESTW, Fahrzeug BR 474) mit einer Sicherheitsverantwortung. Eine Teilstrecke der S-Bahn Hamburg wurde dafür mit ETCS L2mS ausgestattet.

Ein Projekt zur Umfelderkennung war auch Sensor4Rail. Mittels zahlreicher Sensoren erfasste der Zug ohne Balisen mittels Odometrie und Sensoren Landmarken und wertete diese für einen Vergleich mit den hinterlegten 3D-Karten aus. Dies erfolgte ohne Sicherheitsverantwortung. Je Fahrzeugkopf wurden sechs Lidar von Ibeo Automotive, vier Kameras (Infrarot Long-Range-, Mid-Range- und Stereokamera) sowie vier Radar jeweils von Bosch Engineering eingebaut. Eine besondere Herausforderung im Vergleich zur Straße sind die sehr langen Bremswege und damit die Forderung einer hohen Reichweite der verwendeten Sensortechnologien.

Sehr konkret wird das automatisierte und autonome Fahren im DKS (Digitaler Knoten Stuttgart). Der Knoten und sein Umfeld wird weitgehend mit ETCS L2oS ausgestattet. Im Projekt „AutomatedTrain“ werden die vollautomatisierten, fahrerlosen Bereit- und Abstellfahrten einschließlich des automatischen Auf- und Abrüstens nachgewiesen. Dafür werden zwei Fahrzeuge parallel umgerüstet: ein Mireo von Siemens und eine S-Bahn aus Stuttgart (BR 430), gebaut von Bombardier (Alstom). Jeder Zug bekommt an jedem Frontend sechs Lidar-Sensoren, einen Radarsensor, acht Ultraschallsensoren sowie eine Kamera. Zu Forschungszwecken sind zudem jeweils sechs weitere Kameras und eine Ultraschall-Kamera installiert.

Die Versuche mit dem Mireo erfolgen im Prüf- und Validierungszentrum Wegberg-Wildenrath, die mit der S-Bahn im S-Bahn-Depot in Plochingen.

Inzwischen wurden die Digitalisierungsprojekte im DB-Konzern neu aufgeteilt, dies betrifft auch ATO. Die DB InfraGo

wird weiterhin ATO bis zur Automatisierungsstufe GoA2 bearbeiten, im Konzern sind nun aber die Projekte für die Stufe GoA4 angesiedelt.

4. DAK: Die große Hoffnung des Güterverkehrs

Schon seit Jahren wird das Vorhaben zum automatischen Kuppeln der Waggonen im Schienengüterverkehr vorangebracht. Noch ist der große Durchbruch nicht ersichtlich, der vorerst letzte große Meilenstein ist aber kürzlich erreicht worden. Das Anfang 2020 vom Bundesverkehrsministerium (BMV) aufgelegte nationale Projekt DAC4EU wurde Ende Juni 2026 abgeschlossen. Abschluss war der erste kommerzielle Einsatz eines kompletten Zuges mit der Digitalen Automatischen Kupplung (DAK); der Einsatz erfolgte bei der Westfälischen Landes-Eisenbahn (WLE). Bislang war bei Testeinsätzen mit der DAK der elektronische Teil mit der Datenübertragung noch nicht mit eingeschlossen. Den größten Aufwand dabei macht der Einbau der Hybridkupplung in die Lokomotive. Es erfolgte nicht nur eine Zunahme der Lokmasse, es erfolgten auch der Einsatz (noch) nicht zugelassener Hardware im sicherheitsrelevanten Bereich. Bei der WLE konnte mit der Landeseisenbahnaufsicht (LEA) eine Lösung gefunden werden – allerdings verliert die Lokomotive während des Testeinsatzes ihre Zulassung für die Strecken der DB InfraGo. Das Konsortium DAC4EU bestand aus Ermewa, GATX, VTG, DB, Rail Cargo Austria (ÖBB) und SBB, die Umsetzung erfolgte größtenteils durch die DB Systemtechnik.

Der nächste große „europäische“ Schritt ist der kommerzielle Einsatz der DAK in ausgewählten Bereichen. Diese „PioDAC“ genannten „Pionierzüge“ des DAK-Einsatzes sollen ab April 2027 auf sieben Relationen rollen:

- IT: Mailand – Bologna – Rom – Marcianise (Mercitalia Rail/FS)
- AT-HU: Wien/Albem – Hegyeshalom (Rail Cargo Austria/ÖBB)
- LU-DE: Belval – Ehrang (CFL mit Nexrail)
- DE-PL: Bernburg – Brzeg Dolny (DB Cargo)
- NO: Oslo – Bergen (Onrail)
- SL: Koper – Celje (SŽ) und
- SE: Borlänge – Lulea (Green Cargo).

Über 70 Wochen, bis Ende Oktober 2028 sollen die Züge rund 6000 km pro Umlauf bei rund 21 Umläufen die Woche zurücklegen. Insgesamt werden Laufleistungen von

rund 9 Mio. km erwartet. 300 Wagen und elf Lokomotiven sollen umgebaut werden – als erstes hat DB Cargo bereits die Ausrüstung von 90 Wagen mit der DAK ausgeschrieben.

Einige Verkehre stellen besondere Anforderungen an die DAK: wiederkehrende Temperaturunterschiede bis zu 30 °C (NO), Schrottverladung mit herunterfallenden Teilen (LU-DE), Ladegut Steinsalz mit hoch korrosiver Staubbildung (DE-PL) sowie Verladung von Heißstahlbrammen in sehr heißer Beladeumgebung (SE). Auch der DAK-Testzug der WLE soll nun Teil von PioDAC und weiterhin eingesetzt werden.

Das Finanzvolumen für die europäischen Pionierzüge beträgt rund 50 Mio. EUR, die Hälfte davon kommt aus dem EU-Topf CEF. Dieses europäische Förderprogramm wird durch das deutsche Programm PioDAC ergänzt. Dies umfasst 36,1 Mio. EUR bis 2029, mindestens 50 Prozent davon soll direkt für den Betrieb der Züge bereitstehen.

Trotz dieser Beschlüsse sind noch lange nicht alle Entscheidungen und Probleme rund um die DAK gelöst. Größtes Thema ist nach wie vor die galvanische Daten- und Stromkupplung; über die 400 V-Leitung mit der maximalen Stromstärke von 10 A. Damit trotz Störungen bei den Kupplungsübergängen eine Stromversorgung möglich ist, werden zusätzliche Achsdeckel-Generatoren zur Diskussion gestellt. Auch für die Datenübertragung wird eine Redundanz diskutiert. Zusätzlich zur galvanischen Kupplung/Übertragung mittels Ethernet Train Backbone könnten auch funkbasierte Übertragungstechniken (NFC, Funkstrecke, WLAN) zum Einsatz kommen. Völlig offen ist aber weiterhin die Migration der DAK. Wie, wo, wann und mit welchen Finanzmitteln etc. sind weiterhin ungeklärt. ●

Summary

Digital areas of the future for the railways

To drive the railways forward, numerous digitalisation projects are also required. These cover virtually all areas. Below, ETR provides a brief overview of the most important projects.

PJM startet digitale High-Tech-Fertigung

WaggonTracker | Systemanbieter PJ Monitoring (PJM) hat für die Fertigung des digitalen Gesamtsystems WaggonTracker, das die Automatische Bremsprobe und tiefgehendes Monitoring relevanter Güterwagen-Komponenten kombiniert, eine hochmoderne Produktion in Betrieb genommen. Mit der erweiterten Fertigungshalle wird die Produktionskapazität deutlich erhöht und ein neuer Standard in der Qualitätssicherung gesetzt. Die bisherige Produktionshalle wird für die Entwicklung und den Prototypenbau umgewidmet.

Mit dem WaggonTracker-System, das mit intelligente Zugfunktionen sowie dem bislang einzig zugelassenen Automatisierte Bremsprobe-System den Schienengüterverkehr in eine digitale Ära geführt hat, ist PJ Monitoring technologieführend. Nun hat das Unternehmen auch in der Fertigung des digitalen Gesamtsystems am Grazer Produktionsstandort neue Maßstäbe gesetzt. Die wichtigsten Pfeiler der neuen Produktion:

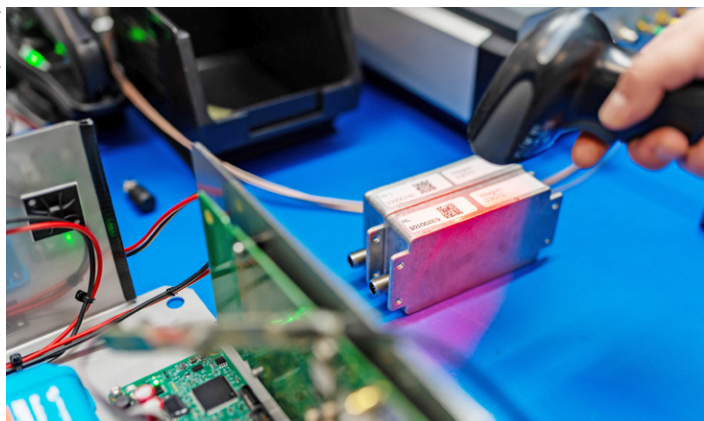
- Durchgängige Qualitätssicherung: Jede einzelne Komponente wird mittels digitaler Arbeitsanweisungen und Bewertungen jedes Fertigungsschrittes in das WaggonTracker-System eingebaut.
- Digitale Wagenakte: Jede einzelne WaggonTracker-Box ist über den gesamten Produktlebenszyklus rückverfolgbar.
- 100 % Qualitätskontrolle: Jede einzelne WaggonTracker-Box wird mittels 48-Stunden-Ausgangstest gecheckt, bei dem sämtliche Betriebszustände des Wagens durchgespielt werden.
- Skalierbare Kapazitäten: Die Produktionskapazitäten können einfach und schnell erhöht werden.
- Modularer Aufbau: Durch den modularen Aufbau kann die Fertigungslinie rasch adaptiert werden, auch zwischen mehreren Projekten. Die Rüstzeit der Anlagen ist sehr kurz.
- Bei der Inbetriebnahme per Tablet und QR-Code wird die WaggonTracker-Box mittels digitalem Inbetriebnahme-Protokoll freigegeben.

„Der Ausbau von Kapazität und Qualität war der nächste logische Schritt für das Unternehmen. Der WaggonTracker hat sich zu einer vielseitigen Plattform entwickelt, die den Bahntransport spürbar optimiert – ein Mehrwert, den immer mehr



Am Grazer Standort wurde eine neue, moderne Produktionshalle in Betrieb genommen

Quelle aller Bilder: Manuel Hanschitz (für PJM)



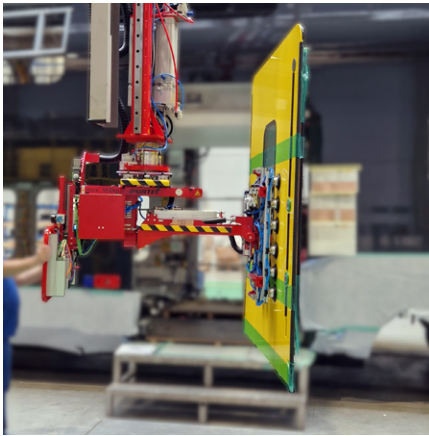
Digitale Wagenakte: Jedes WaggonTracker-System ist über den über den kompletten Produktlebenszyklus hinweg rückverfolgbar

Wagenmieter und -halter für sich nutzen. Unsere neue, hochmoderne Produktionsstätte schlägt dabei die Brücke zwischen digitaler Fertigung und den harten Realitäten des Schienenalltags. Flankiert wird dieses Wachstum durch eine gezielte personelle Aufstockung: In den vergangenen 18 Monaten haben wir unsere Kapazitäten vor allem in den kritischen Bereichen der Software- und Safety-Entwicklung substanziell ausgebaut“, fasst Günter Petschnig, CEO von PJ Monitoring zusammen. PJM hat auch die Teampower verstärkt: „Das Entwicklungsteam ist in den letzten 1,5 Jahren vor allem in den Bereichen Software- und Safety-Entwicklung gewachsen. Wir freuen uns, dass wir ein super Team mit viel Esprit und Erfahrung haben – und mit einer großen Leidenschaft, den Schienengüterverkehr durch Digitalisierung und Automation zu transformieren. Ein größeres Team bedeutete auch, dass wir unsere Bürofläche erweitern mussten. Glücklicherweise haben wir in unmittelbarer Nähe im sogenannte Science Tower zusätzliche Büros gefunden“, führt Günter Petschnig aus.

Der WaggonTracker ermöglicht die umfassende Digitalisierung von Güterwagen durch die Integration von Funktionen wie der automatisierten Bremsprüfung (ABT), der Ladungsüberwachung, der Echtzeit-Zustandsüberwachung, der funkbasierten Zugkommunikation sowie einer autonomen Stromversorgung in ein einziges System. Das System vernetzt alle Komponenten sowohl auf sicherheitsrelevanter als auch auf nicht-sicherheitsrelevanter Ebene und ist kompatibel mit Standardkupplungen und zukünftigen DAK-Lösungen. Außerdem ist das System für alle Güterwagen-Typen geeignet und skalierbar mit kundenspezifischen Anwendungen. „Unser WaggonTracker-System schafft eine einmalige Datenqualität über den Güterzug und ersetzt bei der sicherheitsrelevanten Überprüfung der Bremsen den wortwörtlichen Hammer durch ein Tablet. Das erhöht die Sicherheit, die Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit der Bahnlogistik und reduziert Kosten, wertvolle Zeit und Ressourcen und optimiert die Instandhaltung – entscheidende Faktoren im umweltfreundlichen Schienengüterverkehr“, so Günter Petschnig.

(uh) •

SET4FUTURE Innovation Award 2026 zeichnet Lösungen aus



PURTEC RailGlide: Ergonomisches Handhabungssystem für die effiziente Fenster- und Türmontage in Doppelstockzügen Quelle: PURTEC Engineering

Preisträger | Bereits zum siebten Mal zeichnete das Innovationscluster SET4FUTURE wegweisende Produkte, Technologien und Geschäftsmodelle aus, die die Bahntechnik von morgen prägen. Die diesjährigen Preisträger PURTEC Engineering, RAILBETON HAAS und CAEmate wurden auf dem Sommerfest des Bahnindustrievereins Rail.S e. V., Träger des Innovationsclusters SET4 FUTURE, am 24. Juni in Dresden geehrt.

PURTEC Engineering gewinnt den 1. Platz

PURTEC Engineering GmbH aus Königswartha setzt mit PURTEC RailGlide, einem ergonomischen Handhabungssystem für die Montage von Fenstern und Türen in Schienenfahrzeugen, neue Maßstäbe in der Endmontage von Schienenfahrzeugen. Die Innovation ermöglicht erstmals den Einbau von Fenster- und Türelementen in Doppelstock-Wagenkästen mit Lasten von bis zu 160 kg und einem Gesamthub von 3,3 m – und das durch nur eine Bedienperson. Möglich wird dies durch die Kombination aus einem mehrachsigen Vakuumgreifer für Fahrzeugscheiben und einem Wechseladapter für Türen. Die Bedienung erfolgt zweistufig: Während die Vorpositionierung per Fernbedienung erfolgt, übernimmt die Bedienperson die anschließende Feinpositionierung manuell geführt und unterstützt durch eine pneumatische Gewichtskompensation. So lassen sich die Bauteile präzise, sicher und ergonomisch positionieren. Für Schienenfahrzeughersteller bedeutet dies eine deutliche Effizienzsteigerung in der Endmontage: Der Personalbedarf sinkt, Montagezeiten wer-

den verkürzt und Qualitätsrisiken beim Einbau, z.B. durch das vorzeitige Aushärten von Klebstoffen, reduziert. Gleichzeitig entlastet RailGlide die Mitarbeitenden von körperlich belastenden Hebevorgängen. Nach der erfolgreichen Inbetriebnahme bei Alstom Polska befindet sich das System bereits im produktiven Einsatz.

RAILBETON HAAS gewinnt den 2. Platz

Mit BETOcros® hat RAILBETON HAAS GmbH aus Chemnitz ein modulares Bahnübergangssystem entwickelt, das speziell für schiefwinklige Bahnübergänge konzipiert wurde. Die Innovation zeichnet sich durch ihre modulare Systemarchitektur und ein montageoptimiertes Schnellmontagekonzept aus. Dank der schwellen- und schienenfußgelagerten Konstruktion sowie der vertikalen Einbringung der Belagsplatten lassen sich selbst komplexe Gleisgeometrien mit deutlich geringerem Montageaufwand realisieren. Gleichzeitig sorgt eine weiterentwickelte Betontechnologie für eine hohe Widerstandsfähigkeit gegenüber mechanischem Verschleiß, Witterungseinflüssen sowie Frost- und Tausalbeanspruchung. Eine optimierte Oberflächenstruktur verbessert zudem die Griffbarkeit, erhöht insbesondere bei Nässe die Verkehrssicherheit und reduziert zugleich die Lärmemissionen.

Für Infrastrukturbetreiber bringt BETOcros® spürbare Vorteile im Bau- und Instandhaltungsprozess. Das modulare Baukastensystem verkürzt Montage- und Sperrzeiten und reduziert den Wartungs- und Instandhaltungsaufwand. Gleichzeitig verlängern die hohe Materialbeständigkeit sowie die Möglichkeit, einzelne Systemkomponenten auszutauschen, die Lebensdauer des Bahnübergangs.



BETOcros®: Modulares Bahnübergangssystem für effizienteren Bau und nachhaltigere Instandhaltung Quelle: RAILBETON BETOcros

CAEmate gewinnt den 3. Platz

CAEmate S.r.l. aus Bozen überzeugt mit WeStatiX SHM, einer modelbasierten Digital-Twin-Plattform für Infrastrukturmonitoring. Die Innovation kombiniert physikbasierte Finite-Elemente-Simulationen mit Echtzeit-Sensordaten und erstellt kontinuierlich aktualisierte digitale Zwillinge von Brücken, Viadukten, Tunneln und weiteren Infrastrukturbauelementen sowie geologischen Anwendungen. Im Gegensatz zu herkömmlichen Monitoring-Systemen, die



WeStatiX SHM: Modelbasierte Digital-Twin-Plattform für das prädiktive Monitoring kritischer Verkehrsinfrastrukturen Quelle: CAEmate

lediglich Rohdaten (z. B. Grenzwerte und historische Daten) visualisieren, ermöglicht WeStatiX SHM erstmals eine physikbasierte Echtzeitbewertung des tatsächlichen strukturellen Zustands und der Betriebssicherheit. So erhalten Infrastrukturbetreiber eine verlässliche Entscheidungsgrundlage für den Betrieb ihrer Anlagen. Gleichzeitig können Ingenieurbüros mithilfe des integrierten Twin Builders digitale Zwillinge effizient und skalierbar erstellen. Wartungsmaßnahmen können vorausschauend geplant, Schäden frühzeitig erkannt und die Lebensdauer von Bauwerken um bis zu 30 % verlängert werden. Die Technologie wurde erfolgreich auf über 400 Infrastrukturobjekten validiert. Dank ihres skalierbaren Software-as-a-Service (SaaS)-Ansatzes und der nahtlosen Integration bestehender Simulationsmodelle und Sensorsysteme bietet WeStatiX SHM großes Potenzial für den Einsatz im Infrastrukturmanagement. Für die drei Preisträger geht der Wettbewerb nun auf europäischer Ebene im Rahmen des ERCI Innovation Awards weiter. 29 Unternehmen aus ganz Europa sind nominiert. Die Preisverleihung wird im Rahmen der InnoTrans, am 23. September am Rail.S-Gemeinschaftsstand (Halle 7.2b) in Berlin ausgerichtet.

(uh) ●

Italo Holding bestellt Velaro-Hochgeschwindigkeitszüge

Siemens | Siemens Mobility hat einen Vertrag mit dem italienischen Hochgeschwindigkeitsbahnbetreiber Italo Holding unterzeichnet. Dieser umfasst die Lieferung von 26 achteiligen Velaro-Mehrsystem-Hochgeschwindigkeitszügen mit einer Option auf 14 weitere Fahrzeuge sowie einen 30-jährigen Full-Service-Vertrag. Die Fertigung der Velaro-Züge erfolgt am Siemens-Mobility-Standort Krefeld. Der Auftragswert für Siemens Mobility liegt bei rund 3 Mrd. Euro.

Die Velaro-Züge bestehen aus acht Wagen und bieten jeweils rund 440 Sitzplätze. Sie erreichen Geschwindigkeiten von bis zu 320 km/h. Dank ihrer Mehrsystemtechnik können die Züge unter vier unterschiedlichen Stromsystemen verkehren: mit 1,5 und 3 kV Gleichstrom sowie 15 und 25 kV Wechselstrom. Die neuen Züge werden mit integrierten Starlink-Antennen ausgestattet und ermöglichen den Fahrgästen so eine leistungsfähige satellitengestützte Internetverbindung.

Der 30-jährige Full-Service-Vertrag umfasst die Instandhaltung der Flotte im eigenen Depot von Siemens Mobility in Dortmund. Digitale Services, darunter die Railigent X-

Plattform und Lösungen zur Flottenüberwachung, unterstützen während des gesamten Lebenszyklus eine vorausschauende Instandhaltung und einen effizienten Betrieb. (uh) ●



Velaro-Hochgeschwindigkeitszüge für den privaten Betreiber Italo

Quelle: Siemens

Prof. Wulf Schwanhäußler verstorben

Nachruf | Am 6. Mai 2026 ist Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wulf Schwanhäußler im Alter von 91 Jahren verstorben. Er studierte von 1953 bis 1958 Bauingenieurwesen an der Technischen Universität München. Nach dem Abschluss absolvierte er von 1958 bis 1961 das Baureferendariat bei der Deutschen Bundesbahn. Bereits 1961 trat er in den höheren technischen Dienst der Deutschen Bundesbahn ein und war dort bis 1976 beschäftigt; während dieser Zeit war er von 1962 bis 1963 wissenschaftlicher Assistent am Lehrstuhl für Verkehrswirtschaft, Eisenbahnbau und betrieb der RWTH Aachen unter Prof. Nebelung. 1972 wurde er zum Bundesbahndirektor ernannt. 1974 promovierte er an der RWTH Aachen; in seiner Dissertation „Bemessung der Pufferzeiten im Fahrplangefüge der Eisenbahn“ entwickelte er ein Verfahren, das bis heute die Basis für die Berechnung von Leistungsfähigkeit und Betriebsqualität von Eisenbahnstrecken und -knoten bildet.

Im Jahr 1976 folgte er dem Ruf an die RWTH Aachen und war dort bis zu seiner Emeritierung im Jahr 2000 Professor am



Lehrstuhl für Verkehrswirtschaft, Eisenbahnbau und betrieb. Ab 1993 war er Advisory Professor an der Jiaotong University in Peking, und von 1994 bis 1996 fungierte er als Dekan der Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen der RWTH Aachen.

Die Schlagworte „Mindestzugfolgezeit“, „Folgeverspätungen“, „Betriebsqualität“

und nicht zuletzt „STRELE“ sind untrennbar mit seinem Namen verbunden; das Verkehrswesen verdankte ihm zudem Impulse in den Teilgebieten „kombinierter Verkehr“ und „spezifischer Energieeinsatz“.

Auch nach seiner Emeritierung blieb er wissenschaftlich aktiv und verfolgte die aktuellen Entwicklungen. Herr Professor Schwanhäußler war aus Überzeugung Wissenschaftler, gab sein großes Fachwissen engagiert an die Studierenden und Doktoranden weiter und widmete sich besonders der Eisenbahnbetriebswissenschaft.

Neben seinen zahlreichen beruflichen Verpflichtungen fand er auch noch die Zeit, sich seinen Hobbys zu widmen. Als Liebhaber des New Orleans Jazz spielte er über viele Jahre bei der Band SUN LANE LTD die Klarinette. Im Winter zog es ihn in seine bayerische Heimat oder nach Österreich zum Ski fahren.

Seine Ausstrahlung als Wissenschaftler und als Mensch wird allen mit ihm beruflich oder privat Verbundenen unvergesslich bleiben. (red) ●

Messen Kongresse Konferenzen			
01.09.2026-02.09.2026	Giessen (D)	Kongress Infrastruktur digital planen und bauen 4.0	www.bim-kongress.de
18.09.2026-20.09.2026	Diverse Orte	Tag der Schiene	https://tag-der-schiene.de/
22.09.2026-25.09.2026	Berlin (D)	InnoTrans 2026	https://www.innotrans.de/de
05.10.2026-06.10.2026	Berlin (D)	2. ÖPNV-Sicherheitskonferenz	https://www.nana-online.de/veranstaltungen/detail/oepnv-sicherheitskonferenz2026.html
04.11.2026-05.11.2026	Kassel (D)	BSN-Fachtagung 30 Jahre Regionalisierung	https://www.schienenbahnverkehr.de/bsn-fachtagung-30-jahre-regionalisierung/
12.11.2026-13.11.2026	Fulda (D)	26. SIGNAL+DRAHT-Kongress	https://www.eurailpress.de/veranstaltungen/detail/26-signal-draht-kongress-2026-hybrid.html
25.02.2027-26.02.2027	Berlin (D)	29. Jahresfachtagung der Eisenbahn-Sachverständigen	https://www.eurailpress.de/veranstaltungen/detail/29-jahresfachtagung-der-eisenbahn-sach-verstaendigen.html
20.04.2027-21.04.2027	Bonn (D)	6. Fachtagung Eisenbahnrecht und Technik	https://www.eurailpress.de/veranstaltungen/detail/6-fachtagung-eisenbahnrecht-und-technik.html

Mehr Termine und Details im Internet: <https://www.eurailpress.de/veranstaltungen/branchentermine.html>



Für Ihre Werbeplanung

die kommenden Ausgaben im Überblick



9/2026

- Offizielle Messeausgabe mit großem Ausstellervorbericht
- Neuentwicklungen und Trends: Digital – Nachhaltig – Sicher
- Planen, Bauen, Überwachen, Instandhalten von Infrastruktur
- Fahrzeuge: Konzepte und Entwicklungen für das Gesamtfahrzeug und alle Baugruppen
- IT, Leit- und Sicherungstechnik
- Mit ETR-Austria 3/2026

Erscheinungstermin: 12.09.2026
Anzeigenschluss: 13.08.2026
Druckunterlagenschluss: 19.08.2026

10/2026

- Digitalisierung und Automatisierung
- Elektrifizierung
- Verkehrswegetechnik/ Stellwerkstechnik
- Zusammenwirken Rad/Schiene
- Bahntechnik im Einsatz in Indien
- Service und Logistik für die Schiene
- Mit ETR-Swiss 2/2026

Erscheinungstermin: 15.10.2026
Anzeigenschluss: 11.09.2026
Druckunterlagenschluss: 16.09.2026

Tim Feindt • 040/23 714-220 • tim.feindt@dvvmedia.com



ETR

EISENBAHNTHECHNISCHE RUNDSCHAU

ETR – Eisenbahntechnische Rundschau erscheint in 2026 im 75. Jahrgang, ISSN 0013-2845 | Internet: www.eurailpress.de/etr

HERAUSGEBER

Stefan Dernbach, Präsident des Eisenbahn-Bundesamtes, Bonn
Rolf Härdi, Chief Technology Innovation Officer, Deutsche Bahn AG, Berlin
Dipl.-Ing., Dipl.-Wirtsch.-Ing. Steffen Knappe, Stellv. Vorstandsvorsitzender Bundesfachabteilung Eisenbahnoberbau im Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V., Berlin
Prof. Dr.-Ing. Nils Nießen, Institutsleiter, Verkehrswissenschaftliches Institut der RWTH Aachen (VIA)
Prof. Dr.-Ing. Corinna Salander, Vice President Locomotives für den Bereich Central and Northern Europe, Alstom, Berlin
Dipl.-Ing. Martin Schmitz, Geschäftsführer für den Bereich Technik im Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV), Köln
Sarah Stark, Hauptgeschäftsführerin des Verbands der Bahnindustrie in Deutschland e.V. (VDB), Berlin
Ass.Prof. Dr. techn. Bernhard Rüger, EURAIL-ING, Technische Universität Wien, Institut für Verkehrswiss., Forschungsbereich für Spurgebundene Verkehrssysteme, Herausgeber ETR Austria
Prof. Dr.-Ing. Thomas Sauter-Servaes, Studiengangleiter, Verkehrssysteme* ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, School of Engineering, CH-Winterthur, Herausgeber ETR Swiss

FACHBEIRAT

Dr. Thomas Anton, Vice President Center of Competence Brake Control, Knorr-Bremse Systeme für Schienenfahrzeuge GmbH, München
DI Dr. Christine Bauer-Vasko, Wiener Linien GmbH & Co KG, AT-Wien
Prof. Dr.-Ing. Michael Beiteltschmidt, Professur für Dynamik und Mechanismentechnik, Technische Universität Dresden
Prof. Dr.-Ing. Beate Bender, Fachgebietsleiterin Schienenfahrzeuge, Institut für Land- und Seeverkehr, Technische Universität Berlin
Dr. Michael Bernhardt, Vorsitzender der Geschäftsführung der Rail Power Systems GmbH, Berlin
Prof. Dr.-Ing. Martin Cichon, Institut für Fahrzeugsystemtechnik (FAST), Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Marcel de la Haye, Technical Director, Community of European Railway and Infrastructure Companies (CER), B-Brüssel
Prof. Dr.-Ing. Björn Dickenbrok, Professor für Bahningenieurwesen, Technische Hochschule Mittelhessen, Gießen
(DlR)-Ing. Nils Dube, Leiter Business Line Engineering, DB Systemtechnik GmbH, München
Johann Dumser, Director of Marketing and Communications, Plasser & Theurer, AT-Wien
DI Judith Engel, MBA, MSc, MSc, Vorständin, ÖBB-Infrastruktur AG, AT-Wien
Carsten Fischer, Site Engineering Director, Alstom Transport Deutschland GmbH, Salzgitter
Prof. Dr.-Ing. Stephan Freudenstein, Lehrstuhl Verkehrswegebau, Technische Universität München
Dr. Peter Füglistaler, Public Transport Solutions, CH-Wabern

Jan Furnivall, Chief Operating Officer, Vossloh AG, Werdohl
Dr.-Ing. Karsten P. Gruber, Geschäftsführer Obermeyer Infrastruktur GmbH & Co. KG, Düsseldorf
Dr.-Ing. Stefan Gutschling, Geschäftsführer Fachverband Elektrobahnen und -fahrzeuge, ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V., Frankfurt a. M.
Jan C. Harder, President Region West, North and RoW, Skoda Group, München
Rudolf F. Heidt, Ph.D., Assistant Professor, Head of Railway Experts Group, CTU in Prague, Faculty of Transportation Sciences, CZ-Praha
Dipl.-Ing. Roland Heinisch, ehem. Mitglied des Vorstandes der Deutschen Bahn AG, Idstein
Dr. Michael Holzapfel, Senior Vice President Business Unit Rail – Industrial Europe, Schaeffler Technologies AG & Co. KG, Schweinfurt
Dr. Sven Jenne, Director Engineering & Development Gütehoffnungshütte Radsatz GmbH, Oberhausen
Prof. Dr.-Ing. Ulrich Kleemann, München
Dipl.-Ing. Markus Köppel, Abteilungspräsident Infrastruktur, Eisenbahn-Bundesamt, Bonn
Harald Kreft, Geschäftsleitung Hamburg Port Authority, Hamburg
Jens-Günter Lang, Vorstand Ressort Technik und Sprecher des Vorstands, Hamburger Hochbahn AG
Dr. Martin Lange, Dr. Lange-Beratung, Hagen
Maria Leenen, Geschäftsführende Gesellschafterin, SCI Verkehr, Hamburg, Köln und Berlin
Dr. Manfred Lerch, Lerch Management GmbH, Heidenheim
Prof. Dr.-Ing. Jia Liu, Leiterin Institut für Verkehrswegebau/Transportation Infrastructure Engineering, Technische Universität Darmstadt
Prof. Dr.-Ing. Günter Löffler, Professur Technik spurgeführter Fahrzeuge, TU Dresden, Fak. Verkehrswissenschaften, „Friedrich List“, Dresden
Stefan von Mach, Bhd Technical Manager Commuter Platforms, Alstom, Hennigsdorf
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ullrich Martin, Institut für Eisenbahn- und Verkehrswesen, Universität Stuttgart
Assoc. Prof. Ing. Peter Márton, PhD., University of Žilina, Faculty of Management Science and Informatics, Žilina, Slovakia
Dr.-Ing. Christian Meirich, Abteilungsleitung Bahnbetrieb, Institut für Verkehrssystemtechnik, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Braunschweig
Prof. Dr. Birgit Milius, Leitung Fachgebiet Bahnbetrieb und Infrastruktur, TU Berlin
Dr. Sigrd Evelyn Nikutta, Aufsichtsrat, Ex-Vorstand Güterverkehr Deutsche Bahn AG/ Vorstandsvorsitzende DB Cargo AG, Berlin
Dipl.-Ing. Dr. Andreas Oberhauser, Senior Manager, Global Rail Consulting GmbH, AT-Wien
Prof. Dr.-Ing. Andreas Oetting, Leiter Fachgebiet Bahnsysteme/ Bahntechnik, Technische Universität Darmstadt
Prof. Dr. techn. Norbert Ostermann, Univ.-Prof. i.R., Wissenschaftlicher Leiter der ÖVG, AT-Wien

Prof. Dr.-Ing. Jörn Pacht, Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrssicherung, Technische Universität Braunschweig
Prof. Dr. Raphael Pfaff, Lehrstuhl und Institut für Schienenfahrzeuge, RWTH Aachen
Univ.-Prof. Dr.techn. Ferdinand Pospischil, M.Sc., Institutsleiter, Institut für Eisenbahninfrastruktur-Design, Technische Universität Graz, AT-Graz
Anil W. Rai, B.A., Geschäftsführer Verband der Bahnindustrie, AT-Wien
Prof. Knut Ringat, Geschäftsführer Rhein-Main-Verkehrsverbund GmbH, Hofheim am Taunus
Eckhard Roll, Direktor, Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahn-Bundesamt, Dresden
Frederik Ropelius, Director Consulting, SMA und Partner AG, CH-Zürich
Dipl.-Ing. Volker Rupprecht, Abteilungspräsident Fahrzeuge und Betrieb, Eisenbahn-Bundesamt, Bonn
Dipl.-Ing. Veit Salzmann, Geschäftsführer Hessische Landesbahn GmbH, Frankfurt a. M.
Madeleine Schmitt, Leiterin Grundsätze Stakeholdermanagement Infrastrukturprojekte, DB InfraGO AG, Frankfurt a. M.
Prof. Dr.-Ing. habil. Lars Schnieder, Professur für Eisenbahnwesen und Leiter des Instituts für Eisenbahnwesen und Verkehrssicherung (IfEV), Technische Universität Braunschweig
Prof. Dr.-Ing. Christian Schindler, Lehrstuhl und Institut für Schienenfahrzeuge, RWTH Aachen
Dipl.-Ing. Volker Sparmann, Vorstandsvors. HOLM e.V., Frankfurt a. M.
Prof. Dr.-Ing. Arnd Stephan, Technische Universität Dresden, Fakultät Verkehrswissenschaften, „Friedrich List“, Professur für Elektrische Bahnen
Dr.-Ing. Karsten Steinhoff, Geschäftsführer der NBE Nordbahn Eisenbahngesellschaft mbH & Co. KG, Kaltenkirchen
Prof. Sebastian Stichel, KTH Royal Institute of Technology, School of Engineering Sciences, Stockholm, Schweden
Dr. Timo Strobel, Head of Approval Management, GTS Deutschland GmbH, Ditzingen
Detlev K. Suchanek, Geschäftsführer GRT Global Rail Academy und Media GmbH/Publisher PMC Media
Niko Warbanoff, CEO der DB E.C.O. Group und Vorsitzender der Geschäftsführung der DB International Operations (DB IO), Berlin
Prof. Dr. Norman Weik, Professur für Planung und Betrieb von Schienenverkehrssystemen, Technische Universität München
Dipl.-Ing. Henri Werdel, Directeur honoraire des CFL, L-Eisenbach
Enno Wiebe, Director General, UNIFE – The European Rail Supply Industry Association, B-Brüssel
Dr. Elmar Zeiler, CEO Customer Services, Siemens Mobility GmbH, Erlangen

KOOPERATIONSPARTNER

VDI VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V.
 – Fachbereich Bahntechnik

VERLAG

DVV Media Group GmbH
 Heidenkampsweg 73-79, D-20097 Hamburg
 Tel. +49 40 23714-100
 Internet: www.dvvmmedia.com · www.eurailpress.com
Geschäftsführer
 Martin Weber
Verlagsleitung
 Manuel Bosch
Chefredakteur Eurailpress | Gesamtreaktionsleitung
 Georg Kern
Redaktion ETR
Chefredaktion
 Ursula Hahn (verantw.)
 +49 172-188 08 29 | ursula.hahn@dvvmmedia.com
Redaktionsteam
 Prof. Dr.-Ing. Eberhard Jänsch
 Dagmar Rees
 Miriam Riedel
Anzeigen
Anzeigenleitung Eurailpress
 Silke Härtel (verantw.)
 +49 40 23714-227 | silke.haertel@dvvmmedia.com
Anzeigenverkauf
 Tim Feindt
 +49 40 23714-220 | tim.feindt@dvvmmedia.com
Anzeigentechnik
 Frank Schnakenbeck
 +49 40 23714-332 | frank.schnakenbeck@dvvmmedia.com
 Gültig ist die Anzeigenpreisliste Nr. 61 vom 1. Januar 2025.

Vertrieb

Leiter Marketing & Vertrieb
 Markus Kukuk
 +49 40 23714-291 | markus.kukuk@dvvmmedia.com
Unternehmenslizenzen Digital/Print
 lizenzen@dvvmmedia.com

Leser- und Abonnentenservice

Tel. +49 40 23714-260
service@dvvmmedia.com

Erscheinungsweise

Monatlich, zwei Doppelhefte im Jan./Feb. und Juli/Aug., viermal jährlich inklusive Supplement ETR Austria, zweimal jährlich inklusive Supplement ETR Swiss

Bezugsbedingungen

Die Bestellung des Abonnements gilt zunächst für die Dauer des vereinbarten Zeitraumes (Vertragsdauer). Eine Kündigung des Abonnementvertrages ist zum Ende des Berechnungszeitraumes schriftlich möglich. Erfolgt die Kündigung nicht rechtzeitig, verlängert sich der Vertrag und kann dann zum Ende des neuen Berechnungszeitraumes schriftlich gekündigt werden. Bei Nichtlieferung ohne Verschulden des Verlages, bei Arbeitskampf oder in Fällen höherer Gewalt besteht kein Entschädigungsanspruch. Zustellmängel sind dem Verlag unverzüglich zu melden. Es ist ausdrücklich untersagt, die Inhalte digital zu vervielfältigen oder an Dritte (auch Mitarbeiter, sofern ohne personenbezogene Nutzerlizenzierung) weiterzugeben.

Zusätzliche digitale Abonnements

Bezug auf Anfrage, gültig ist die Vertriebspreisliste vom 01.01.2026.

Bezugsgebühren

Abonnement: Inland jährlich 378 EUR inkl. Porto zzgl. MwSt., Ausland mit VAT-Nr. jährlich 423 EUR inkl. Porto, ohne VAT-Nr. inkl. Porto zzgl. MwSt.
 Das Abonnement-Paket enthält die jeweiligen Ausgaben als Print, Digital und E-Paper sowie den Zugang zum Gesamtarchiv der Zeitschrift.

Einzelheft: 41,16 EUR inkl. MwSt.

Layout: DVV Media Group / Matias Becker

Druck: Silber Druck GmbH & Co. KG, Lohfelden

Copyright: Vervielfältigungen durch Druck und Schrift sowie auf elektronischem Wege, auch auszugsweise, sind verboten und bedürfen der ausdrücklichen Genehmigung des Verlages. Für unverlangt eingesandte Manuskripte und Abbildungen übernimmt der Verlag keine Haftung.

ISSN 0013-2845

Mitglied/Member



Deutsche Fachpresse

Eine Publikation der DVV Media Group



5 Fragen an Dr.-Ing. Peter Márton

Dr.-Ing. Peter Márton, Prodekan der Fakultät Management und Informatik, Lehrstuhl für „Mathematische Methoden und Operations Research“ an der Universität Žilina (UNIZA), Slowakei



Quelle: UNIZA-Archiv



Mailen Sie mir Ihre Meinung
Peter.Marton@fri.uniza.sk

Für ausländische Gäste diene ich oft als Reiseleiter zu Bahnausbauprojekten in der Slowakei

Intensive Verbindungen zu Bahnexperten in ganz Europa liegen Peter Márton besonders am Herzen, um stets über alle aktuellen Trends informiert zu sein. Dafür reist er gern – natürlich mit der Bahn – oder organisiert auch internationale Exkursionen in seinem eigenen Land.



1 Herr Professor Márton, was sind Ihre Haupttätigkeiten an der UNIZA?

Hierzu gehört momentan die Koordinierung der Studien- und Lehrmobilitäten, weil ich der Prodekan für internationale Zusammenarbeit bin. Darüber hinaus lehre ich im Bereich Modellierung und Simulation sowie im Bereich Geoinformatik die Fächer, welche in das Gebiet der Entscheidungsunterstützungssysteme gehören. Wenn daneben noch Zeit zur Verfügung steht, entwickle ich in meiner Forschung mit meinen Kollegen verschiedene Werkzeuge und Algorithmen für die Optimierung und Simulation des Eisenbahngüterverkehrs.

2 Wie fördern Sie die internationale Zusammenarbeit?

Beispielsweise durch Exkursionen, Dienstreisen sowie mein persönliches internationales Netzwerk mit Kollegen und Experten im Ausland. Darüber hinaus bin ich in eine internationale Gemeinschaft aus wissenschaftlichen Forschern und Akademikern im Eisenbahnbereich eingebunden: EURNEX, the European Rail Research Network of Excellence. Es vernetzt Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Industriepartner im Schienenverkehr. Im Rahmen von EU-Rail und des Horizon Europe Programms der Europäischen Union arbeitet EURNEX ge-

meinsam mit Europe's Rail Joint Undertaking an der Verzahnung von Wissenschaft und Industrie. Ein Element ist das Doktorandenetzwerk Academics4Rail, das europaweit mehr als 20 Partner aus zehn Ländern koordiniert und gezielt Nachwuchsforschende im Eisenbahnsektor fördert.

3 An welchen Fragestellungen forschen Sie persönlich aktuell genau?

Aktuell forsche ich am Einsatz von Entscheidungsunterstützungssystemen im Bahnbereich. Unser wichtiger Partner ist hier die Firma AŽD Praha, die Eisenbahnsicherungstechnik herstellt. Es gibt verschiedene Projekte, in denen wir gemeinsam Lösungen für Dispositionssysteme entwickeln.

4 Welche Studienmöglichkeiten bietet Ihre Hochschule im Bereich Bahntechnik?

Die UNIZA bietet hier verschiedene Studiengänge, der größte ist an der Fakultät für Betrieb und Ökonomie des Transport- und Kommunikationswesens angesiedelt: „Eisenbahnverkehr“. Die Absolventen erwerben Kenntnisse im Bereich des Eisenbahnverkehrs, des Güterverkehrs und des intermodalen Verkehrs sowie das erforderliche betriebswirtschaftliche Wissen für das

Management eines Verkehrsunternehmens. Daneben bietet die Fakultät für Bauingenieurwesen den Studiengang „Ingenieurbauwerke und Verkehrsbauwerke“ an, wo die Studierenden auch notwendige Kenntnisse über Schieneninfrastruktur erhalten. Unsere Fakultät für Maschinenbau hat zudem einen Studiengang „Fahrzeuge und Motoren“ im Programm, welcher auch eisenbahnverbundene Problematiken abdeckt. Andere Fakultäten – wie Elektrotechnik und Informationstechnologien, Management und Informatik – offerieren zwar keine reinen verkehrsverbundenen Studiengänge, aber ihre Absolventen finden oft Arbeit bei unseren Partnerfirmen wie Siemens Mobility, Scheidt & Bachmann oder AŽD Praha, die einen Standort in Žilina haben.

5 Was macht Ihnen beruflich am meisten Spaß?

Meine Lieblingsthemen sind schon seit mehr als 20 Jahren die Rangierbahnhöfe, etwa die Prozessanalyse und Verfahren für die Feinsortierung, und der Einzelwagenverkehr. Ich lehre zudem sehr gern, nutze häufig die Gelegenheit, an Exkursionen teilzunehmen und vermittele gern Exkursionen im Bahnbereich in der Slowakei für unsere ausländischen Gäste. Hier diene ich selbst oft als Gastgeber oder Reiseleiter. ●

DIGITAL

IST EINFACH SCHNELLER



Nutzen Sie Ihre digitalen
ETR-Services und -Leistungen
und lesen Sie bereits am Vortag
die Neuigkeiten von morgen.

JETZT FREISCHALTEN

www.eurailpress.de/etr-digital

ETR
EISENBAHNTÉCHNISCHE RUNDSCHAU

Eurail
press

Archiv

Ohne Umwege zu Ihren Fachartikeln

Abonnierende
erhalten bis zu
**50 %
Rabatt**

-  Komfortable Merkliste
-  laufende Aktualisierung
-  individuelle Suchoptionen
-  Volltextsuche
-  Sofort-Download

EI
DER
EISENBAHN
INGENIEUR

ETR
EISENBAHN-TECHNISCHE
KOMPENDIUM

EIK
EISENBAHN-INGENIEUR
KOMPENDIUM

RAIL
EISENBAHN-LEBEN

Rail
BUSINESS

GÜTERBAHNEN
POLITIK & MARKT & TECHNIK

DER NAHVERKEHR
Plan & der Nahverkehrsplan in Theorie und Praxis

bahn manager

Eurail
press

Archiv

www.eurailpress.de/fachartikel