



Die Zukunft der Mobilität

Digitale Schiene Deutschland

Herausgeber: DB Netz AG

Bibliographische Information der Deutschen Bibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.de> abrufbar.

Verlag: GRT Global Rail Academy and Media GmbH Werkstättenstraße 18

D-51379 Leverkusen

Office Hamburg:

Frankenstraße 29, D-20097 Hamburg

Telefon: +49 (0)40 228679 506, Telefax: +49 (0)40 228679 503

E-Mail: office@globalrailmedia.com; Web: www.trackomedia.com

Geschäftsführer: Detlev K. Suchanek

Vertrieb und Buchservice: Sabine Braun

Herausgeber: DB Netz AG, www.dbnetze.com

Redaktionsschluss: September 2023

Gesamtredaktion: Julia Rott, Referentin Programmstrategie und Umsetzungssicherung
Digitale Schiene Deutschland
DB Netz AG

Produktion: Willy Waßmuth, Consultant
Axel-Björn Hüper, Consultant

Layout und Gestaltung: TZ-Verlag & Print GmbH, Roßdorf

Druck: TZ-Verlag & Print GmbH, Roßdorf

Printed in Germany

© 2023 GRT Global Rail Academy and Media GmbH

1. Auflage 2023

ISBN 978-3-96245-260-5

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen jeder Art, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeisung und Verarbeitung in elektronischen Systemen. Trotz sorgfältiger Recherche war es leider nicht in allen Fällen möglich, die Urheber der Bilder zu ermitteln. Sollten ohne Absicht Bilder in unerwünschter Weise veröffentlicht worden sein, teilen Sie dies bitte dem Verlag mit. Die Quelle der Abbildungen in diesem Buch ist soweit nicht anders vermerkt DB AG.



Die Zukunft der Mobilität

Digitale Schiene Deutschland

Herausgeber: DB Netz AG

Ein Teil der Projekte der Digitalen
Schiene Deutschland wird durch
die EU unterstützt.



**Kofinanziert von der
Europäischen Union**

Inhalt



Volker Hentschel Vorwort	6
Michael Theurer Die Schiene als zentraler Fortschrittstreiber nachhaltiger Mobilität in Deutschland	7
Florian Böhm Masterplan Schiene, Deutschlandtakt, Digitalisierung – auf dem Weg zum Schienenverkehr von morgen	10
Kristian Weiland Julia Rott Vision und Zielbild Digitale Schiene Deutschland	16
Reiner Behnsch ETCS	20
Bernd Elsweiler Björn Blohsfeld DSTW (Digitale Stellwerke)	23
Anke Wiedenroth Gesa Döring iLBS – Das integrierte Leit- und Bediensystem	27
Moritz Cichos Stephan Altmann Sebastian Post Matthias Kopitzki Richtlinienfamilie 400 – Fahrdienstvorschrift für den digitalen Bahnbetrieb	31
Frank Göllicher Volkmar Bachmann Durchgängig Digitale Datenhaltung im Planungsprozess (D3iP)	38
Achim Fiack Zukunftstechnologien – Die vollständige Digitalisierung des Bahnsystems	40
Kristian Weiland Julia Rott Rollout-Planung	52
Frank Göllicher Martin Siegesmund Infrastrukturprojekte Digitale Schiene Deutschland	55
Thomas S. Bopp Olaf Drescher Berthold Frieß Dirk Rothenstein Digitaler Knoten Stuttgart: Ein Pilotprojekt im Starterpaket der Digitalen Schiene Deutschland	57
Ute Quedewelt Schnellfahrstrecke Köln – Rhein/Main	69
Susann Roßberg Sally Tosun DSD-Korridor ScanMed im Starterpaket der Digitalen Schiene Deutschland	74



Gabor von Wilmowski Philipp Bockholt Jessica Cudak Das Schnellläuferprogramm	79	Patrick Marsch Bernd Holfeld Richard Fritzsche Erprobung des neuen Bahnfunks FRMCS	112
Klaus Finken Matthias Hermann Mertens Aaron Hespers SLP-Projekt Kleve – Kempen	87	Sebastian Skibinski Digitaler Zwilling zum Trainieren und Testen von KI-Software	118
Benjamin Gutmann SLP-Projekt Gera-Weischlitz Eine neue Zusammenarbeit mit Wert(en)	92	Philipp Neumaier Data Factory for Rail – „Datenproduktion“ für die Digitalisierung des Bahnsystems	122
Christopher Rudolph Digitale S-Bahn Hamburg – das Tor zum digitalen Bahnbetrieb	96	Christian Hauswald Sensors4Rail: Bedeutender Schritt in Richtung vollautomatisiertes Fahren	127
Wanda Brinke Onno Szillis Digitales Testfeld Bahn (DTB)	101	Martin Schmitz Perspektive und Ausblick auf Eisenbahnverkehrsunternehmen und Infrastrukturschnittstellen	134
Florian Reiniger Testfeld der Havelländischen Eisenbahn (HVLE) am Standort Spandau	106	Dr. Weiland Ausblick – Netzzugang ETCS/Transformationsprozess	138
Dipl. Phy. Achim Fiack Das advanced TrainLab (aTL) – Das fahrende ICE-Labor	108	Abkürzungsverzeichnis	139

Sehr geehrte Leserinnen und Leser

immer mehr Züge fahren auf unseren Gleisen, wodurch das Bahnsystem an seine Grenzen gerät. Hinzu kommt eine hohe Anzahl an Altsystemen, welche dieses System weiter belasten. Gleichzeitig ist Bahnenfahren jedoch einer der wichtigsten Bausteine für die Verkehrswende und den Klimaschutz.

Für einen attraktiveren Bahnverkehr der Zukunft mit mehr Zügen in einer höheren Qualität, muss das System Bahn durch tiefgreifende, technologische Innovationen grundlegend modernisiert werden. Deshalb hat die Sektorinitiative Digitale Schiene Deutschland es sich zur Aufgabe gemacht, mehr Kapazitäten im Schienennetz zu schaffen und damit Qualität und Pünktlichkeit zu verbessern.

Doch das gesamte Bahnsystem zu modernisieren und zu digitalisieren, ist eine große Herausforderung. Damit die Digitale Schiene Deutschland ihren Beitrag zur Verkehrswende und zum Klimaschutz leisten kann, ist es daher wichtig, dass der gesamte Sektor gemeinsam mit der Politik an einem Strang zieht. Nur so ist gewährleistet, dass das System Bahn im Zeitalter der Digitalisierung ankommt und europaweit zum Vorreiter für das Digitale Bahnsystem wird.

Deshalb investieren wir nicht nur in die Digitalisierung der Infrastruktur, sondern auch in die Forschung und Entwicklung zukünftiger Technologien. Dieses Buch zeigt jene Maßnahmen, die wir bereits umsetzen, aber auch neu entwickelte Technologien. Es zeigt aber auch die Herausforderungen, die auf unserem Weg liegen, bis die Vision der Digitalen Schiene Deutschland vollständig Realität wird.

Diese besondere Aufgabe durfte ich im Januar 2023 für die DB Netz AG übernehmen. Gemeinsam mit vielen motivierten Kolleginnen und Kollegen und dem gesamten Sektor möchte ich die Digitalisierung des Schienennetzes vorantreiben und damit zur Verkehrswende beitragen.

Herzlichst, Ihr



Dr. Volker Hentschel
Leiter Konzernprogramm
Digitale Schiene Deutschland
Vorstandsbefragter
Digitale Schiene Deutschland
DB Netz AG

Die Schiene als zentraler Fortschrittstreiber nachhaltiger Mobilität in Deutschland

Mobilität ist Freiheit. Wie sehr gerade auch die Freiheit durch eingeschränkte Mobilität begrenzt wird, haben viele Menschen während der Corona-Pandemie schmerzlich erlebt. Umgekehrt hat die Europäische Integration das grenzüberschreitende Reisen und den Handel deutlich erleichtert. Diesem Freiheitsgedanken hat sich die Bundesregierung verschrieben. Wir wollen echten Fortschritt im Verkehrssektor erreichen und stellen dafür bereits erfolgreich die Weichen mit deutlich gesteigerten Investitionen.

Der schnellste Weg für eine Dekarbonisierung des Verkehrssystems ist eine Verlagerung von Verkehren von der Straße und der Luftfahrt auf die Schiene. Denn die Eisenbahn ist ein hochgradig effizienter Verkehrsträger, der schon heute den größten Teil seiner Verkehrsleistung mit elektrischen Antrieben erbringt. Mit einer Umstellung der elektrischen Energieversorgung auf

regenerative Quellen wird diese Verkehrsleistung automatisch klimaneutral. Für einen starken, klimaneutralen Industriestandort muss es also darum gehen, diese Stärken des Schienenverkehrs – Effizienz und Klimaneutralität – sehr schnell weiter auszubauen und auch seine Attraktivität rasch weiter zu erhöhen. Auch wenn andere Verkehrsträger durch eine Umstellung auf



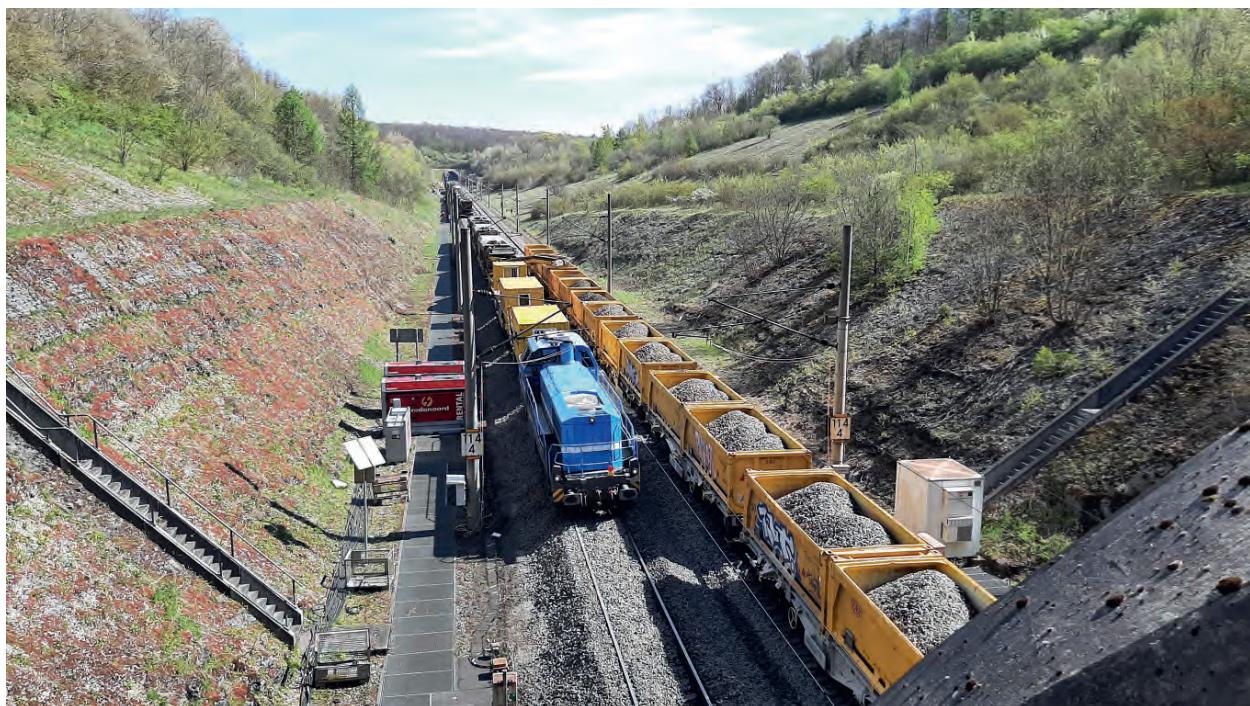
Michael Theurer beim Praxistag Digitale Schiene Deutschland am 11. September 2023 in Stuttgart

elektrische Antriebe oder strombasierte Kraftstoffe (e-Fuels) ein vergleichbares Niveau der Klimaneutralität erreichen, verbleiben die systemimmannten Vorteile der Eisenbahn im Hinblick auf einen geringeren Energie- und Flächenverbrauch bei hoher Leistungsfähigkeit.

Die Stärkung des klimafreundlichen Verkehrs trägers Schiene ist daher ein zentrales Ziel der Bundesregierung. Sie ist logistisches Rückgrat und Garant für Mobilität gleichermaßen – sowohl im Personenverkehr als auch dem für unser Gemeinwesen so zentralen wie unterschätzten Gütertransport. Voraussetzung für eine stärkere Nutzung des Schienenverkehrs ist auf Dauer ein attraktives Angebot auf der Schiene. Besonders deutlich wird das auf der Strecke München – Berlin. Mit dem „Verkehrsprojekt Deutsche Einheit Nr. 8“, der inzwischen größtenteils fertiggestellten Aus- und Neubaustrecke Nürnberg – Erfurt – Leipzig/ Halle – Berlin zeigt der Verkehrsträger Schiene seine Leistungsfähigkeit. Seither ist die Fahrt zwischen Berlin und München in unter vier Stunden möglich, Nürnberg – Berlin unter drei Stunden – und das von Innenstadt zu Innenstadt. Da kann der Linienflieger praktisch nicht mithalten, so dass die Verbindungen zwischen Nürnberg und Berlin bereits eingestellt wurden. Wenn die bereits bestellten zusätzlichen ICE-Züge der Deutschen Bahn geliefert werden, soll hier sogar im Halbstundentakt die Hochgeschwindigkeitsverbindung angeboten werden – und das pünktlich. Auf dieser Strecke liegen die Pünktlichkeitswerte deutlich über 90%.

Das geht natürlich nur deshalb, weil die Schiene hier gut in Schuss und nicht völlig überlastet ist. Denn eine leistungsfähige Infrastruktur ist die Grundvoraussetzung für mehr Verkehrsangebote und größere Wahlfreiheit für die Fahrgäste.

Außerhalb der Neubaustrecken ist die Infrastruktur jedoch vielfach an ihrer Belastungsgrenze angekommen, in Teilen sogar weit darüber hinaus. Daher haben wir mit Übernahme der Regierungsgeschäfte unverzüglich richtungsweisende Prozesse angestoßen, um die Schiene durch höhere Kapazität, bessere Qualität und stärkere Kundenorientierung langfristig und nachhaltig in die richtige Spur zu bringen. Zentral war hierbei die Beschleunigungskommission Schiene. Mit Vertreterinnen und Vertretern des gesamten Eisenbahnsektors, der Bahn- und Bauindustrie, der Ministerialverwaltung, von Wissenschaft und Politik waren alle zentralen Wissens- und Entscheidungsträger in der Kommission vertreten. Mit einem bewusst ergebnisoffenen Ansatz hat die Kommission verteilt über fünf Handlungsfelder insgesamt über 70 Einzelmaßnahmen zur Umsetzung empfohlen. Etwa ein Viertel der Maßnahmen sind schon jetzt umgesetzt, weitere sind schon weit fortgeschritten – etwa das Genehmigungsbeschleunigungsgesetz und die Novelle des Bundesschienenwegeausbaugesetzes haben das Kabinett passiert und befinden sich im Parlamentarischen Verfahren. Das Moderne-Schiene-Gesetz ist derzeit in Vorbereitung und wird folgen.



Streckensanierung Hannover – Würzburg: über 93 000 t Schotter wurden erneuert (Foto: Spitzke)

Neben den eher langfristig angelegten Neu- und Ausbauvorhaben, für die wir die Investitionsmittel kontinuierlich erhöhen, spielen auch kurzfristiger wirkende Maßnahmen zur Kapazitätserhöhung eine zentrale Rolle. Mit dem digitalen Kapazitätsmanagement optimieren wir die Nutzung des vorhandenen Netzes. Die weitere Digitalisierung der Leit- und Sicherungstechnik im Zuge des Programms Digitale Schiene Deutschland ist die Basis für die Erschließung neuer Kapazitäten im Bestandsnetz. Gleichzeitig stärkt die DSD die europäische Interoperabilität und damit die Attraktivität des grenzüberschreitenden Schienenverkehrs. Sie bildet die Grundlage für innovative Technologien wie dem automatisierten Fahren oder einem in Echtzeit optimierten Verkehrsmanagement. Entscheidend ist, dass wir diese Möglichkeiten so schnell wie möglich nutzen können. Hier brauchen wir eine konsistente Technologiestrategie, die die Nutzenpotenziale mit dem Lebenszyklus der Systeme synchronisiert. Das bedeutet, nicht zu viel Zeit auf die Suche nach der optimalen technologischen Lösung zu verwenden, sondern heute verfügbare Technologien im Netz nutzbar machen, auf Aufwärtskompatibilität achten und weitere Funktionalitäten für die kommende Systemgeneration planen. Sehr wichtig sind offene Schnittstellen, um mehr Unternehmen und insbesondere dem innovativen Mittelstand eine Möglichkeit der Beteiligung an der DSD zu geben. Europa, Innovation und Beschleunigung sind also zentrale Themen bei der Modernisierung des Schienennetzes.

Diese Modernisierung ist dringend nötig, da viele Bereiche des Bestandsnetzes schon heute stark belastet sind. Zudem sind viele Gleise, Weichen, Brücken und Stellwerke alt. Die Kombination aus hohem Alter und hoher Belastung führt dazu, dass sie anfällig für Störungen sind. Für Fahrgäste bedeutet das: Unpünktlichkeit und insgesamt weniger komfortables Reisen. Damit stark belastete Streckenabschnitte wieder mit weniger Einschränkungen genutzt werden und hier in Zukunft sogar mehr Züge unterwegs sein können, sollen sie als Hochleistungskorridore generalsaniert werden.

In der Vergangenheit waren Sanierungsarbeiten jedoch manchmal genauso frustrierend wie ein unzuverlässiges Schienennetz. Denn bisher wurden punktuell nur einzelne Elemente repariert, und auch nur dann, wenn sie wirklich kaputt oder zu alt waren. Ging kurz nach Abschluss der Bauarbeiten wieder etwas kaputt, konnte die Strecke wieder nicht wie gewohnt genutzt werden. Dies hat nun ein Ende. Ab dem Jahr 2024 werden ausgewählte Streckenabschnitte

grundssaniert. Das heißt: alles wird modernisiert, vom Gleisbett über die Signalanlagen bis zu den Oberleitungen. Gleichzeitig werden Maßnahmen zur Qualitätssteigerung und Kapazitätserhöhung wie z.B. das moderne europäische Zugsicherungssystem ETCS als Bestandteil von DSD schneller umgesetzt. Der Vorteil dieser umfassenden Erneuerung wird sein, dass der Streckenabschnitt nur einmal gesperrt wird und danach auf Jahre ohne Baustelle befahren werden kann. Durch eine vorlaufende Ertüchtigung von Umfahrungsstrecken sollen die Auswirkung der Sperrungen auf den Verkehr minimiert werden.

Die Zukunft der Mobilität ist intermodal, sie liegt also in der intelligenten Vernetzung von Verkehrsträgern. Eine wesentliche Voraussetzung ist ein reibungsloses Reiseerlebnis für die Fahrgäste. Digitale Buchungsplattformen wie sie aus der Luftfahrt bekannt sind, erleichtern das Finden des günstigen Fahrpreises und erlauben die Zusammenstellung kompletter Reiseketten aus den Angeboten unterschiedlicher Eisenbahnunternehmen. Die Bundesregierung unterstützt die Digitalisierung von Mobilitätsdiensten und innovative Mobilitätslösungen und hat sich zum Ziel gesetzt, den freien Zugang zu Verkehrsdaten sicherzustellen. Deshalb wird die Bundesregierung auch ein Mobilitätsdatengesetz vorlegen, um die freie Zugänglichkeit von Verkehrsdaten sicherzustellen sowie Verkehrsunternehmen und Mobilitätsanbieter zur Bereitstellung von Echtzeitdaten zu verpflichten. Damit können kundenorientierte Innovationen für das intermodale Reisen entwickelt werden – etwa in der Form neuer oder besserer Apps. Für die Kunden kann das dann beispielsweise bedeuten, ganz einfach internationale Zugverbindungen über mehrere Anbieter hinweg mit einem Klick buchen zu können oder die Möglichkeiten zur Weiterfahrt in Echtzeit abzurufen. Die Digitalisierung bietet allgemein eine Reihe von Möglichkeiten, das Reisen kundenfreundlicher und die Verkehrsträger leistungsfähiger zu machen. Die Veränderungen in diesem Bereich werden für Reisende und den Eisenbahnsektor das Leben ein Stück einfacher machen.



Michael Theurer, MdB

Parlamentarischer Staatssekretär beim Bundesminister für Digitales und Verkehr
Beauftragter der Bundesregierung für den Schienennverkehr

Rollout-Planung

Das Fundament der Digitalen Schiene Deutschland wird mit der grundlegenden Modernisierung und Digitalisierung der Infrastruktur gelegt: Durch den bundesweiten Rollout des Zugbeeinflussungssystems European Train Control System (ETCS) sowie der Digitalen Stellwerke (DSTW) werden die Weichen für die Zukunft des deutschen Schienennetzes gestellt. Beide Technologien sind zentrale Meilensteine auf dem Weg zur Digitalisierung der Schiene und werden dazu beitragen, dass der Bahnverkehr in Deutschland auch in Zukunft auf höchstem Niveau stattfinden kann.

DSD-Rollout: Hochleistungsnetz-Korridore und Starterpaket im Fokus

Das Netz der Deutschen Bahn umfasst 33.000 km und bedarf einer umfassenden Modernisierung, um dem derzeitigen und künftigen Fahraufkommen gerecht zu werden. Für den Rollout der Digitalen Schiene Deutschland gibt es einen Katalog, welcher die erforderlichen Szenarien abbildet und ein strategisches Ziel verfolgt. Dieser Katalog wird schrittweise in Richtung der Gesamtarchitektur des Digitalen Bahnsystems erweitert und regelmäßig überprüft sowie adjustiert. Ziel ist dabei ein schneller Start der Umsetzung von DSD mit verfügbarer Technik bei gleichzeitiger Entwicklung und Zulassung neuer Technologien, um die volle Wirksamkeit der Maßnahmen zu erreichen.

Den Auftakt zur Digitalen Schiene Deutschland bilden das sogenannte Starterpaket und das Schnellläuferprogramm (SLP). Hinzu kommen die von Bund und Bahn in den Fokus von Modernisierungs- und Beschleunigungsinitiativen genommenen Hochleistungsnetz-Korridore. Diese befinden sich zum Teil auf den großen Magistralen der europäischen Schienenverkehre (TEN-Korridore).

Bereits im Schnellläuferprogramm (SLP) konnten innerhalb kürzester Zeit moderne und digitale Stellwerkselemente ins Netz implementiert und wertvolle Erkenntnisse für eine beschleunigte Umsetzung von Digitalisierungsprojekten im Bahnsektor gesammelt werden. Das Starterpaket und die Hochleistungsnetz-Korridore profitieren anschließend von diesen Erfahrungen bei der Integration digitaler Technologien.

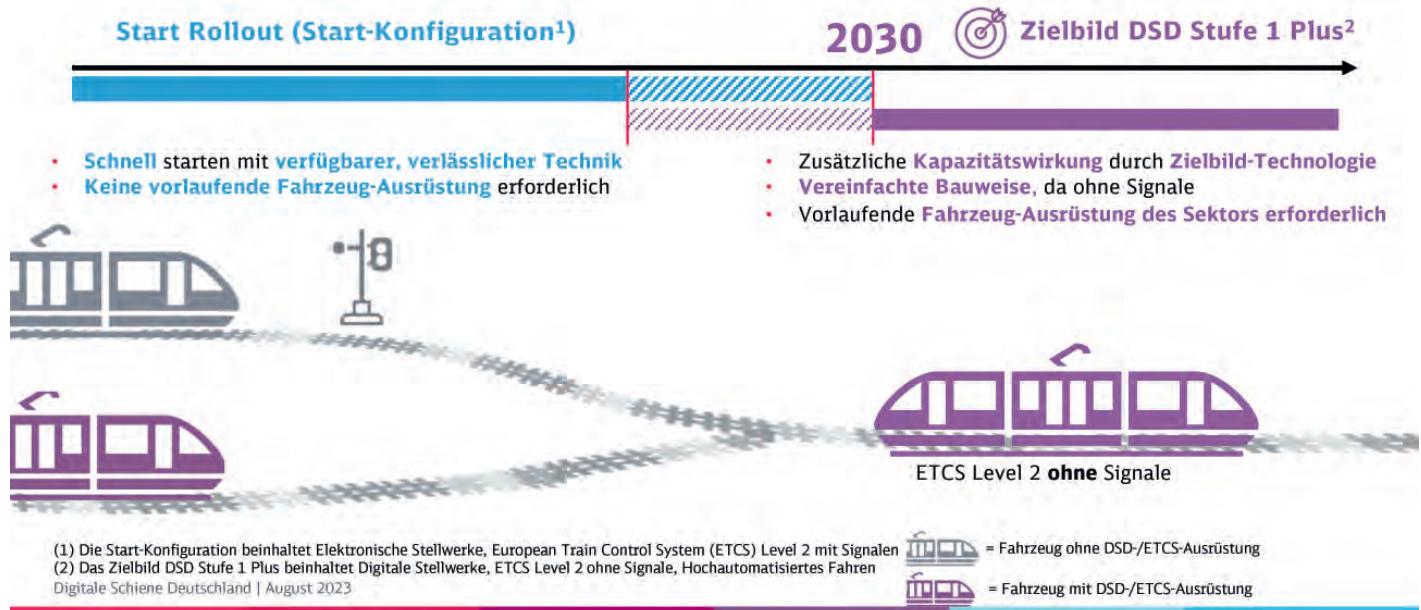
Die Umsetzung des von Bahn, Bund und Sektor definierten Starterpaket wird mit Hochdruck vorangetrieben. Wesentliche Bestandteile sind dabei der Güterverkehrskorridor Scandinavian-Mediterranean (ScanMed), der Digitale Knoten Stuttgart sowie die Schnellfahrstrecke zwischen Köln und Frankfurt. Den Auftakt bildet der Digitale Knoten Stuttgart. Bis 2025 werden zunächst rund 125 Netzkilometer im Kern des Knotens sowie mehrere hundert Fahrzeuge ausgerüstet. Bis gegen 2030 folgt dann die übrige Region und weitere Fahrzeuge.

In Verbindung mit der Digitalisierung des deutschen Schienennetzes wird die Sanierung der Hochleistungsnetz-Korridore vorangetrieben. Die geplante Generalsanierung definierter Hochleistungsnetz-Korridore bis 2030 zahlt auf den Wandel der Infrastruktur vom hochbelasteten hin zum Hochleistungsnetz ein. Die Ausrüstung mit DSD-Technologien ist dabei ein wesentlicher Baustein. Die (Vor-) Ausrüstung mit digitalen Technologien unter Berücksichtigung aller Rahmenbedingungen macht die Strecken schon heute fit für die Zukunft. Mit der Sanierung der Riedbahn im Jahr 2024 fällt der Startschuss zur Umsetzung des innovativen Transformationsprozesses.

In laufenden und künftigen Bauvorhaben werden die Digitalisierungsbestrebungen in Abstimmung mit Bund und Sektor dort ergänzt, wo sich aufgrund der bereits umgesetzten oder geplanten Maßnahmen Synergien ergeben und sich der Gesamtrollout in Abstimmung mit Bund und Sektor möglichst nutzenbringend und effizient gestaltet.

Der Rollout der Digitalen Schiene Deutschland orientiert sich an verfügbarer Technik und treibt weitere Innovationen voran

Digitale Schiene
Deutschland



Die Digitale Schiene Deutschland rüstet wesentliche Infrastruktur aus

Digitale Schiene
Deutschland

Möglicher Ausrüstungsstand im Jahr 2030

	Start-Konfiguration	ESTW ¹ , ETCS Level 2 mS ² , iLBS
	Vorrüstung DSD Ready³	DSTW, ETCS Level 2 mS, iLBS
	Zielbild DSD Stufe 1+	DSTW, ETCS Level 2 oS, (ATO GoA 2), iLBS



¹ Elektronisches Stellwerk

² mS = mit Signal, oS = ohne Signal

³ Vorausrüstung im Zuge der Hochleistungskorridore

Digitales Testfeld Bahn (DTB)

Eingebettet zwischen Chemnitz und der tschechischen Grenze im Erzgebirge befindet sich das Digitale Testfeld Bahn - DTB. Auf einem eingleisigen Abschnitt der Strecke der Erzgebirgsbahn wird der Reallaborstandort der DB Netz AG errichtet. Mit Hilfe einer Förderung des BMDV für digitale Testfelder entsteht hier ein Puzzleteil der Referenzumgebung für Test und Zulassung der modularen Einheiten, die im Zusammenspiel das digitale Bahnsystem der Zukunft bilden.

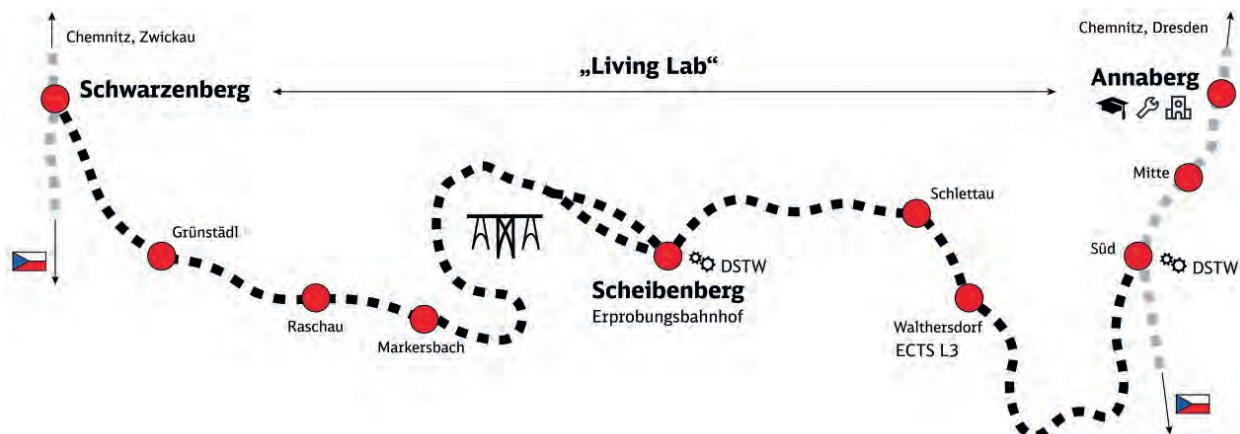


Bild 1: Teststrecke des digitalen Testfelds Erzgebirge

Das DTB ist ein Baustein der Systemintegration der Digitalen Schiene Deutschland und bildet neben weiteren vernetzten Laboren eine Grundlage, um eine Entlastung von Realisierungsprojekten zu erzielen. Diese Entlastung wird hervorgerufen durch die Entzerrung der Nachweisführung und Zulassung von der Implementierung des Gesamtsystems, wie es in der Vergangenheit der Fall war.

Ziel der Labore ist es also, die modularen Einheiten verschiedener Hersteller außerhalb der Gesamtausführung im Zusammenwirken zu validieren und zuzulassen. Dies störungsfrei und ohne den Bahnbetrieb zu beeinflussen. Das DTB bietet diese Möglichkeit: Die Erzgebirgsbahn betreibt mit der Bahnlinie Annaberg – Buchholz Süd – Schwarzenberg eine anspruchsvoll trassierte 24 km lange Eisenbahnstrecke. Die Strecke bietet beste Voraussetzungen für eine reale

Erprobung: Es findet bis auf wenige Fahrten an einzelnen Tagen kein öffentlicher Verkehr statt. Daher können umfangreiche Erprobungen unter

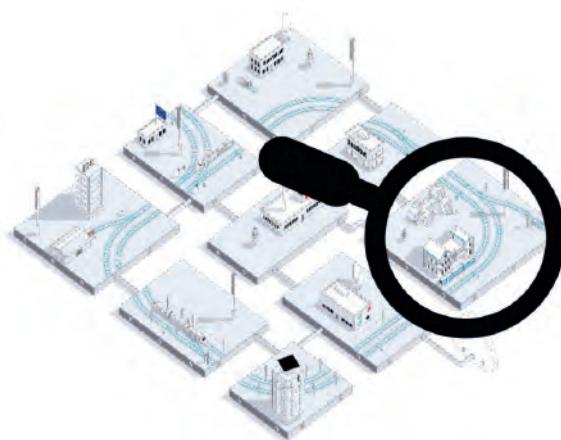


Bild 2: Vernetzte Referenzumgebung

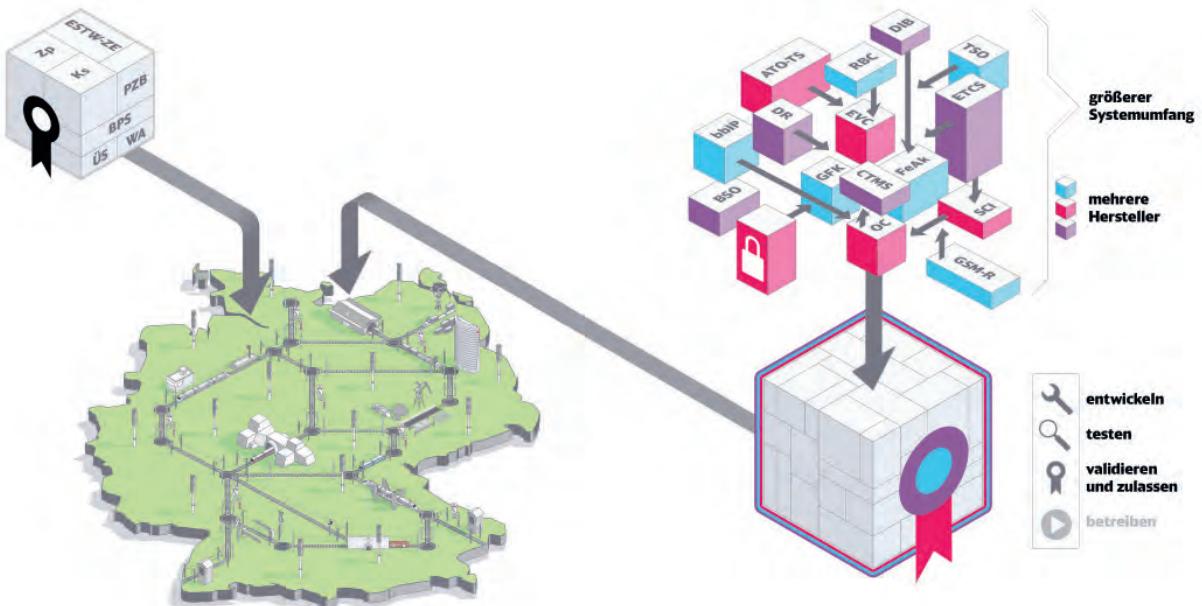


Bild 3: Projekte mit Stw als LST Kern - Modell GU vs. Projekte weniger hierarchisch, größerer Systemumfang, mehrere Hersteller

Praxisbedingungen ohne Störung des Regelbetriebs stattfinden. Ein beliebiger bedarfsorientierter und rückwirkungsfreier Wechsel der Teststrecke von einer zugelassenen Bahnanlage zu einem abgeschirmten Testfeld und zurück wurde im Rahmen des planerischen Prozesses umgesetzt.

Um das DTB für Projekte zur realgetreuen Erforschung und Nachweisführung neuer Anwendungen rund um das Digitale Bahnsystem der Zukunft nutzbar zu machen, wurde und wird zunächst eine Basisinfrastruktur implementiert:



Bild 4: Funkinfrastruktur am Bhf. Markersbach

Funkinfrastruktur für 5G (FRMCS) und GSM-R

Der projektbasierte Aufbau eines leistungsfähigen Mobilfunknetzes, welches flexibel für verschiedene Anwendungsfälle konfigurierbar ist, benötigt ausreichend groß dimensionierte Antennenträger (Sendemasten) und Betriebsräume mit Strom- und Glasfaseranschluss an dem zentralen Basisstandort. Der letzte dieser acht Standorte wurde im Dezember 2021 errichtet und dient nun den verschiedenen Testaktivitäten rund um die neue Bahnfunkgeneration FRMCS (siehe Kapitel 12.2). Ab 2023 werden auch GSM-R, Antennen die neu errichteten Funkmasten zieren, um einen ersten bereichsübergreifenden Piloten zur Validierung eines integrierten Systems durchzuführen. Den Auftakt macht dabei ein erster ESC-Test* als Nachweis für die Nutzbarkeit der Referenzanlagen im Zulassungsprozess. ESC-Tests weisen die Kompatibilität einer ETCS Fahrzeug Onboard Unit (ESC) mit der ETCS Streckenausrüstung nach.

* ESC-Test überprüft, ob das EVC auf dem Fahrzeug mit dem RBC auf der Strecke korrekt kommuniziert (über GSM-R)

Digitaler Zwilling zum Trainieren und Testen von KI-Software

Um vollautomatisiert fahren zu können, muss zukünftig Sensorik an der Zugfront Objekte im Gleisumfeld detektieren und künstliche Intelligenz (KI) diese hinsichtlich ihrer Kritikalität bewerten können: Sind es reguläre oder irreguläre Objekte, die zur Gefahr werden könnten? Erst nach einer erfolgten Bewertung ist das Triebfahrzeug in der Lage, auf besondere Ereignisse adäquat zu reagieren, wie bspw. durch die Einleitung einer Notbremsung.

Während die Entwicklung der Sensorik schon fortgeschritten ist, steht die Entwicklung der KI-basierten Funktionen noch am Anfang. Die Anzahl möglicher Situationen, die von einer KI im Bahnbetrieb der Zukunft gemeistert werden müssen, ist sehr hoch: Sie reichen von alltäglichen bis zu sehr seltenen Ereignissen bei unterschiedlichsten Wetter-, Tages- und Jahreszeitbedingungen an beliebigen Orten im deutschen Schienennetz mit seinen ca. 33.000 km

Länge. Wie ab Seite 122 ff. beschrieben, benötigt es sehr große Datenmengen, um eine solche KI für die Umfeldwahrnehmung zu trainieren. Diese können zum einen durch die Aufzeichnung von realen Sensordaten und zum anderen – und dies in deutlich größerem Umfang – durch die Simulation von Daten gewonnen werden. Das Zurückgreifen auf simulierte Daten ist dabei unerlässlich, da es in der Praxis unmöglich ist, allein durch reale



Bild 1: Simulation einer irregulären Situation im photorealistischen digitalen Zwilling. Ein Baum ist umgestürzt und liegt auf dem Nachbargleis (Quelle: NVIDIA, DB Netz AG)

Aufzeichnungen alle denkbaren Ereignisse und Sonderfälle des Bahnbetriebs abzudecken.

Für die Simulation ist die Erstellung eines exakten digitalen Zwillinges des Umfeldes der Bahnstrecken und Stationen notwendig (s. Bild 1). Damit ist es möglich, Daten für die KI-Entwicklung auf Basis eines umfangreichen Szenarienkatalogs in mannigfaltigen Ausprägungen bereitzustellen. Entscheidend ist dabei eine sehr hohe Realitätstreue der simulierten Daten. Losgelöst von der Verfügbarkeit der realen Bahntrassen kann der Bahnsektor dann die KI für ein vollautomatisiertes System im digitalen Zwilling virtuell und zielgerichtet, d.h. signifikant schneller als im Fahrzeug, lernen lassen. Der Lerngeschwindigkeit der KI sind im Wesentlichen nur die Grenzen der verfügbaren Rechenkapazität gesetzt.

Für dieses Vorhaben arbeitet die Digitale Schiene Deutschland auf Grundlage einer von NVIDIA bereitgestellten Technologie, was dem Bahnsektor die Entwicklung und das Training von KI gemäß des neusten Standes der Technik ermöglicht. NVIDIA stellt dabei spezielle Rechensysteme für das Training von KI-Modellen (NVIDIA DGX

Systeme) und die Beschleunigung photo- und physikrealistischer Simulationen (NVIDIA OVX) zur Verfügung. Softwareseitig wird NVIDIA Omniverse eingesetzt, eine hochentwickelte Echtzeit-3D-Simulationsplattform für die Erstellung und den Betrieb von digitalen Zwillingen. Die Digitale Schiene Deutschland übernimmt dabei das eigentliche Design, die Applikation, sowie die Sicherstellung und Anwendung eines qualifizierten Prozesses zur Erstellung des digitalen Zwilling. Dies geschieht in Zusammenarbeit mit der DB Systel und weiteren Entwicklungspartnern, die auf Simulation, Kartierung, 3D-Modellierung und Computergrafik spezialisiert sind.

Die Grundlage des digitalen Zwilling bildet eine hochauflöste digitale Karte, die sehr präzise vermessene Geometrien der echten Strecken enthält. Bei der Konstruktion des digitalen Zwilling wird diese Karte um 3D-Modelle, Texturen und Materialeigenschaften ergänzt. Dabei entsteht ein digitales, photorealistisches Abbild der echten Strecken (s. Bild 2). Dieses enthält Gleise, die durch Städte und Landschaften verlaufen sowie viele weitere Details, wie exakt nachgebildete Bahnhöfe, Bahngebäude,



Bild 2: Detailgetreue Modellierung der Station „Bergedorf“ auf der Teststrecke des Sensor4Rail-Projektes in Hamburg
(Quelle: DB Netz AG)

