

Digitale Schiene Deutschland

Mit dem digitalen Bahnbetrieb in die Zukunft der Eisenbahn



Der künftige Stuttgarter Hauptbahnhof

Visualisierung: Plan B

Dr.-Ing. Kristian Weiland, Leiter Digitale Schiene Deutschland, Deutsche Bahn AG, Berlin, und **Dr. Annika Hundertmark**, Leiterin Digitalisierung Bahnbetrieb, Digitale Schiene Deutschland, DB Netz AG, Berlin



Das System Bahn steht heute vor einem der größten Technologiesprünge in seiner Geschichte. Was einst die Dampfmaschine für die erste industrielle Revolution war, ist heute die Digitalisierung und Vernetzung von Maschinen für die Industrie 4.0. Aufgabe der Digitalen Schiene Deutschland (DSD) ist es, die Chancen der Digitalisierung für die Eisenbahn konsequent zu nutzen. DSD bringt Zukunftstechnologien in das System Bahn. Das hört sich einfach an. Für die Bahn ist das eine Revolution – das Bahnsystem wird quasi digital neu erfunden.

Mehr Kapazität, höhere Zuverlässigkeit, höhere Effizienz – das sind die Effekte der Digitalisierung der Schiene. Die Vernetzung hochpräziser Daten von Infrastruktur und Fahrzeugen ermöglicht eine völlig neue Steuerung des Bahnbetriebs und ist ein Schlüssel für eine höhere Kapazität des bestehenden Schienennetzes – ohne Neubau von Gleisen. Doch nicht nur die Kapazität nimmt zu. Auch Pünktlichkeit und Zuverlässigkeit im System Bahn werden steigen. Damit nutzt der Innovationsschub dem Klima, den Kunden und dem Wirtschaftsstandort Deutschland und Europa.

Ziel ist mehr Kapazität im Netz ohne neue Gleise

Aktuell ist die Infrastruktur in Deutschland überaltert, Stellwerke sind zum Teil aus dem 19. Jahrhundert. Der Startschuss für die Erneuerung ist jedoch mit der ersten Stufe der DSD bereits erfolgt. Im Rahmen des sogenannten Starterpakets arbeitet DSD an der Einführung des European Train Control Systems (ETCS) und der digitalen Stellwerke (DSTW) im Kontext des Digitalen Knotens Stuttgart, der Schnellfahrstrecke Köln-Rhein/Main, und der Durchfahrbarkeit des

transeuropäischen Korridors „Skandinavien-Mittelmeer“. Ein Flächenrollout schließt sich an, so dass in den 2030er Jahren eine grundlegende Erneuerung der Leit- und Sicherungstechnik erfolgt sein wird.

Der digitale Bahnbetrieb (DBB) als zweite Stufe von DSD setzt auf ETCS/DSTW als technologischer Plattform auf, geht aber über die Digitalisierung der Leit- und Sicherungstechnik hinaus. Er nutzt die geschaffene Plattform zur Einführung weiterer digitaler Technologien und realisiert dadurch weitere deutliche Effekte auf Kapazität, Qualität und Effizienz des Systems.

Das Zielbild des digitalen Bahnbetriebs ist ein System, in dem

- Züge in Echtzeit von einem intelligenten, hochgradig automatisierten Verkehrsmanagementsystem gesteuert und Störungen in hohem Maße automatisiert bearbeitet werden,
- Züge vollautomatisiert fahren,
- Züge hochgenau geortet werden und in minimalen Abständen fahren,
- Relevante Teile der Umwelt durch Sensorik erkannt werden.

Dies wird ermöglicht durch den Einsatz neuer, digitaler Technologien, die für den Einsatz im Bahnbetrieb zum Teil noch entwickelt werden müssen. Die neuen Technologien können jedoch ihr Potenzial nicht voll entfalten, wenn sie lediglich in bestehende Prozesse integriert werden.

Systemarchitektur als Basis der Technologieentwicklung

Bei der Entwicklung des digitalen Bahnbetriebs steht deshalb nicht nur die Technologieentwicklung im Vordergrund, sondern gleichermaßen die Beschreibung der Funktionsweise dieses digitalisierten Systems. In einer Systemarchitektur wird detailliert, was einzelne Komponenten des Bahnbetriebs leisten müssen und wie diese Komponenten zusammenarbeiten. Die Vorteile liegen auf der Hand: Überschneidungen zwischen Produkten werden vermieden, Schnittstellen zwischen Produkten sind klar beschrieben und werden – wo dies sinnvoll erscheint – standardisiert. Die Zukunftsfestigkeit wird damit erhöht. Durch den modularen Ansatz können einzelne Komponenten leichter durch neue Produkte mit neuen Technologien ersetzt werden. Die Gesamtintegration wird erleichtert und schafft eine stabile Basis für die Zulassung des Systems.

Aus dem Zusammenspiel der Bausteine der DSD lassen sich gleichermaßen Prozesse wie Rollen im künftigen Bahnbetrieb ableiten. Die DSD setzt auf Mitarbeiter, die die Systeme beherrschen, bedienen,



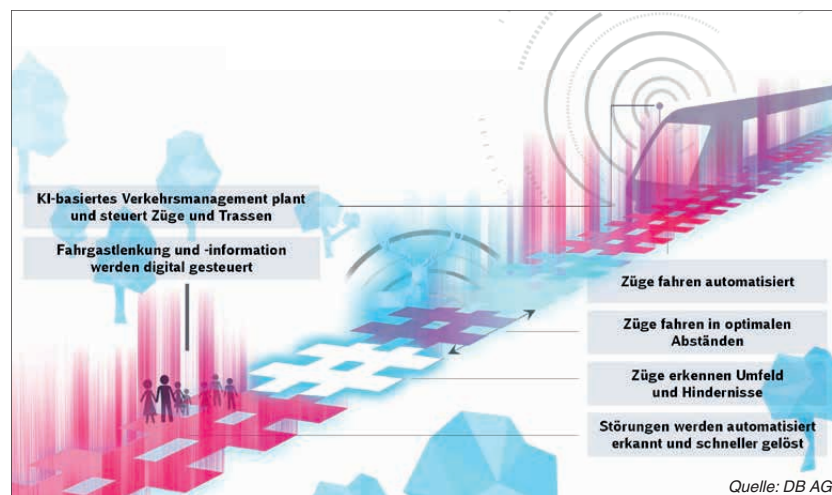
Digitalisierung der Schiene bringt mehr Effizienz, Zuverlässigkeit und mehr Kapazität – ohne neue Gleise

überwachen und instandhalten. Neue, interessante Berufe und Tätigkeiten entstehen, neue Kompetenzen werden gefördert. Gleichzeitig machen neue Technologien Arbeitsprozesse einfacher und entlasten Mitarbeiter.

Technologien des digitalen Bahnbetriebs und Projekte

Um das Zielbild umzusetzen, müssen mehrere neue digitale Technologien in den Bahnbetrieb eingeführt werden und im System reibungslos zusammenspielen. Hierbei handelt es sich zu einem Teil um Technologien, die bereits in anderen Branchen eingesetzt werden, aber für den Einsatz bei der Bahn noch weiterentwickelt und zugelassen werden müssen. Für andere Komponenten ist hingegen noch signifikante Technologieentwicklung notwendig. Eine schnelle Erprobung ist daher sinnvoll, um Erfahrungen in Tests und in der Implementierung zu sammeln. Entsprechend wird, oft technologieübergreifend, eine Vielzahl verschiedener Projekte realisiert. Dies erfolgt in der Regel mit anderen Bahnen, Industrieunternehmen aus Bahn- und anderen Sektoren sowie Universitäts- und Forschungsinstituten. wie zum Beispiel das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) oder der Fraunhofer-Gesellschaft.

Einsatz digitaler Technologien eröffnet neue Möglichkeiten für Betrieb der Eisenbahn



Künstliche Intelligenz im Verkehrs- und Störfallmanagement

Eine wesentliche Herausforderung der Bahnen ist die Planung und Steuerung von Verkehren, also das Kapazitäts- und Verkehrsmanagement. Die Optimierung von vorhandener Netzkapazität ist ein optimales Einsatzgebiet von Künstlicher Intelligenz (KI) und selbstlernenden, „trainierbaren“ Algorithmen. Hier werden alle Daten zusammengeführt, bewertet und schließlich in optimierte Anweisungen für Züge und die Infrastrukturelemente umgesetzt. Der Übergang zwischen Planung und Disposition wird durchlässiger, weil auch komplexe Szenarien schnell simuliert werden können. Eine Echtzeitoptimierung der Zugsteuerung ist so unter Berücksichtigung aktueller Entwicklungen im Betriebsgeschehen (zum Beispiel Umfahren von Störungen) möglich. Mit dem Einsatz von KI kann eine optimale Auslastung des Gesamtnetzes erreicht werden. Bei Störungen kann ein KI-basiertes System Handlungsempfehlungen erzeugen und so Zeit sparen. Nach Störungen kann im Verkehrsmanagementsystem der Regelbetrieb schneller wiederhergestellt werden. Dadurch ist ein weiterer entscheidender Beitrag für Zuverlässigkeit und Pünktlichkeit zu erwarten.

Gemeinsam mit InstaDeep Ltd., ein auf industrielle KI-Anwendungen spezialisiertes Unternehmen, erfolgt die Entwicklung lernender Algorithmen für das Verkehrsmanagement. Dazu notwendig ist eine mikroskopisch scharfe Simulation des Bahnbetriebs, die vielfach schneller als in Echtzeit abläuft, und die ebenfalls in DSD und in Kollaboration mit DB System entwickelt wird.

Automatic Train Operation

Basis für das (hoch/voll-) automatische Fahren von Zügen sind Technologien zur Automatic Train Operation (ATO). Diese ermöglichen ein hochpräzises und von der Infrastruktur gesteuertes Beschleunigen und Bremsen der Fahrzeuge. Geschwindigkeitsvorgaben werden somit sehr exakt eingehalten und die Reaktionszeiten zwischen Übermittlung und Umsetzung der Fahrbefehle sind gering. Dadurch fahren Züge pünktlicher, der Betrieb wird stabiler. Optimierte Beschleunigen und Bremsen senkt dabei deutlich den Energiebedarf und verringert den Verschleiß, was zudem Instandhaltungskosten senkt.

Im Projekt „Digitale S-Bahn Hamburg“, einer Kooperation der DB, Siemens Mobility und der Stadt Hamburg, kommt zum ersten Mal in Deutschland das automatisierte Fahren auf Basis des europäischen Zugbeeinflussungssystems ETCS zum Einsatz. Zum Intelligent Transport Systems-Weltkongress (ITS) vom 11. bis 15.10.2021 in Hamburg werden vier S-Bahn-Züge auf einer 23 Kilometer langen Strecke der S21 hochautomatisiert fahren. Im Bahnhof Bergedorf fährt die S-Bahn dann vollautomatisch in die Abstellung und

später wieder zurück an den Bahnsteig, unter Nutzung eines DB-eigenen 5G-Netzes.

Digitale Leit- und Sicherungstechnik

Eine weiterentwickelte Leit- und Sicherungstechnik integriert Funktionalitäten des ETCS und der Stellwerke, kapselt den Sicherungskern und fördert Modularisierung. Im Zusammenspiel mit einer gleisgenauen Ortung in Echtzeit kann mit der neuen Leit- und Sicherungstechnik auf klassische Blöcke – heute begrenzt durch Achszähler oder Gleisstromkreise – verzichtet werden, so dass Züge im absoluten Bremsweg fahren und gesichert werden können.

In der Initiative RCA (Reference CCS Architecture) wird mit weiteren europäischen Betreibern, wie zum Beispiel SBB oder Network Rail, eine harmonisierte Architektur der künftigen Leit- und Sicherungstechnik entwickelt – modularisiert und mit standardisierten Schnittstellen. Die Initiative OCORA (Open CCS On-Board Reference Architecture) deckt über RCA hinausgehende Anforderungen des digitalen Bahnbetriebs fahrzeugseitig ab, zum Beispiel an eine standardisierte und hardwareunabhängige Fahrzeug-Plattform. Ziele der Initiativen sind hohe Qualität, geringere Kosten und Upgradefähigkeit.

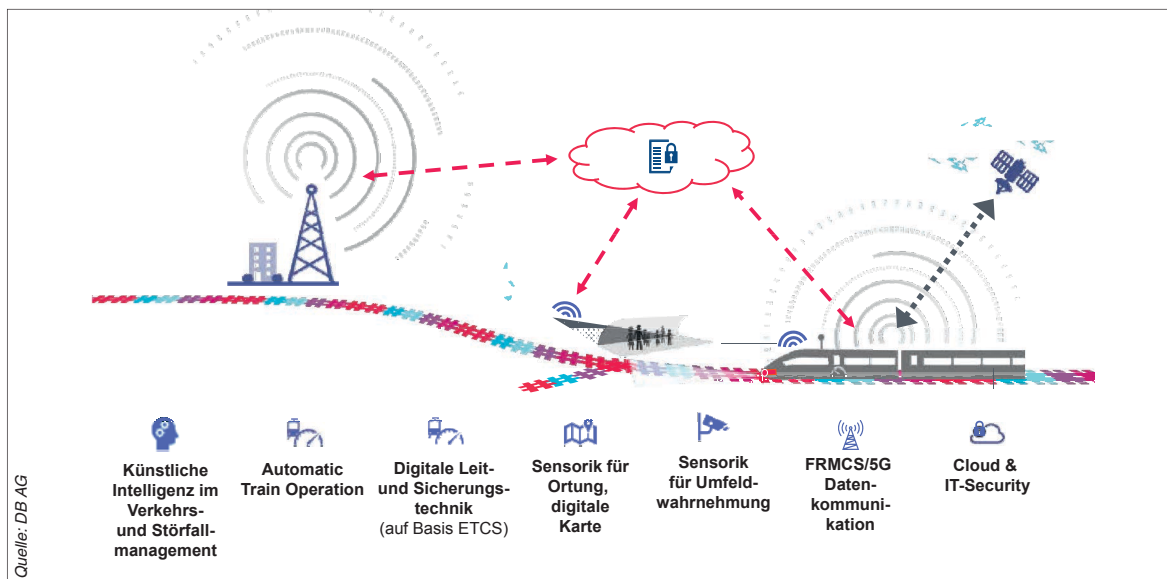
Sensorik für Ortung und Digitale Karte

Um den Verkehr optimal steuern zu können und Fahren im minimalen Abstand zu ermöglichen, müssen sich Züge während der Fahrt kontinuierlich, sicher und hochpräzise orten. Dies wird über eine Einbindung von neuen Technologien wie digitaler Karte, Satellitenortung und weiteren Sensoren am Fahrzeug ermöglicht. Neben der Position werden Geschwindigkeit, Beschleunigung und die Zugvollständigkeit zuverlässig festgestellt und dem Verkehrsmanagement übermittelt. Die digitale Karte ist der zentrale Speicher für statische und dynamische Infrastrukturdaten. Sie ist cloudbasiert, so dass andere Anwendungen wie zum Beispiel die Ortung zu jeder Zeit auf die notwendigen, zum Teil sicheren Daten zugreifen können.

Im Projekt CLUG („Certifiable Localization Unit using GNSS“) wird in einer gemeinsamen europäischen Technologiepartnerschaft aus Wissenschaft, Industrie und Betreibern (unter anderem mit SNCF, SBB, Siemens Mobility, CAF, Airbus) ein Konzept für ein zulassungsfähiges, sicheres Lokalisierungssystem erarbeitet. Dieses soll auf Basis einer Fusion von Satellitenortung mittels GNSS und weiteren Sensoren erfolgen. Das Gesamtprojekt wird gefördert durch die European GNSS Agency (GSA) im Rahmen des europäischen Forschungsprogramms Horizons 2020.

Sensorik für Umfeldwahrnehmung

Der digitale Bahnbetrieb integriert Technologien, die das Umfeld von Zügen wahrnehmen. Fahrzeuge



Wesentliche Zukunftstechnologien für den digitalen Bahnbetrieb

analysieren dies über verschiedene Sensoren wie Kamera, Lidar oder Radar. Diese helfen dabei, Objekte oder Hindernisse auf der Strecke zu identifizieren und klassifizieren. In Kombination mit einer digitalen Karte wird eine landmarkenbasierte Lokalisierung möglich. Die intelligente Umfelderfassung ist außerdem wichtig für das Erkennen und Beurteilen von Störungen. Auf Umfeldeinflüsse kann dadurch schneller reagiert, und Störungen können vermieden oder schneller behoben werden.

Im Projekt „Sensors4Rail“ werden Technologien zur Umfelderfassung mit zum Beispiel Kamera, Radar oder Lidar und zur sensorbasierten Echtzeitortung von Zügen getestet. Wichtige Grundlage dafür ist eine hochgenaue digitale Karte. Durch die Kombination dieser Technologien ist der Zug in der Lage, seine Umgebung wahrzunehmen und sich unter Zuhilfenahme von Landmarken präzise und kontinuierlich zu orten. Dazu haben die führenden Technologieunternehmen Bosch Engineering, HERE Technologies, Ibeo und Siemens Mobility eine Forschungs- und Entwicklungskooperation mit der Deutschen Bahn geschlossen. Auf dem ITS-Kongress im Oktober 2021 wird die prototypische Umsetzung demonstriert.

FRMCS/5G Datenkommunikation und Cloud

Durch den Einsatz digitaler Technologien steigt die Datenmenge deutlich an. Neben schnell getakteten Steuerinformationen im Kontext von ETCS und ATO müssen auch die von Sensoren und Kameras in Zügen und auf Gleisen gesammelten Daten zukünftig in Echtzeit übertragen, verarbeitet und analysiert werden. Voraussetzung hierfür ist ein leistungsfähiges Mobilfunknetz.

Hierzu erarbeiten die Bahnen und Telekommunikationshersteller derzeit das sogenannte Future Railway Mobile Communication System (FRMCS), welches auf der 5G-Mobilfunktechnologie basieren wird und in Bezug auf Datenraten, Latenzzeiten, Verfügbarkeit, Verschlüsselung etc., erheblich leistungsfähiger als das heutige und absehbar nicht mehr verfügbare GSM-R sein wird. In dedizierten Forschungs- und Entwicklungs-Kooperationen mit Industriepartnern wie zum Beispiel Ericsson, Kontron Transportation Austria AG, Nokia oder Vodafone befasst sich DSD insbesondere mit der Verwendung innovativer Antennensystemen für FRMCS/5G und dem detaillierten 5G Ende-zu-Ende Design.

Ebenfalls erforderlich für die Vielzahl eingeführter neuer Technologien ist eine IT-sichere, skalierbare und zukunftsfähige Datenverarbeitungsinfrastruktur. Hierzu arbeitet DSD in Kollaboration mit anderen Bahnen und mit Herstellern von Leit- und Sicherungstechnik beziehungsweise IT-Herstellern wie Siemens Mobility, Thales und SYSGO an einem „Safe Computing Plattform“-Konzept für den Bahnsektor, welche eine klare Trennung von Bahnapplikationen und Datenverarbeitungsplattform mit einem standardisierten Interface vorsieht. Vorteile sind hierbei, dass die sehr unterschiedlichen Lebenszyklen von Applikationen und Plattform berücksichtigt werden können, und eine unabhängige Migration möglich ist. Zudem ist angestrebt, dass Plattform-Lösungen maximal auf branchenübergreifender Standardsoftware und -hardware basieren und zudem neueste Entwicklungen in der Cloud-Technologie wie zum Beispiel Virtualisierung für den Bahnbetrieb nutzbar machen.

Im Erzgebirge wird ein umfangreiches Digitales Testfeld für die Technologieerprobung, Integration und Validierung von Applikationen des digitalen

Bahnbetriebs basierend auf FRMCS/5G und Cloud-Technologie aufgebaut. Ein wichtiger Bestandteil ist hierbei der Aufbau einer herstellerneutralen Mobilfunk-Basisinfrastruktur entlang eines etwa 9 Kilometer langen Abschnitts einer nur wenig genutzten Bahnstrecke. Diese ist Basis für die Erprobung von FRMCS/5G und Cloud Equipment verschiedener Hersteller sowie die Realisierung von Testprojekten für künftige Applikationen des digitalen Bahnbetriebs. In diese Pilotprojekte fließen auch Erkenntnisse aus zuvor genannten F&E-Kooperationen zu FRMCS/5G Datenkommunikation und Cloudtechnologien ein.

Gemeinschaftlich für die Realisierung des digitalen Bahnbetriebs

Die Digitalisierung der Bahn erfordert neue Partnerschaftsmodelle – sowohl mit anderen Betreibern als auch mit der Industrie, sowohl national als auch international. Auf europäischer Ebene haben andere Betreiber zum Teil ähnliche Programme und Ideen. Hier ist es sinnvoll, voneinander zu lernen, Ressourcen zu bündeln und auch auf europäischer Ebene gemeinsame Interessen zu vertreten.

Aspekte wie Standardisierung sind natürlich gerade für den europäischen Eisenbahnraum, Interoperabilität und technologische Weiterentwicklung des Systems erforderlich. Deshalb erfolgt die Erarbeitung neben der engen Kooperation mit anderen Bahnen in entsprechenden Gremien wie Shift2Rail, ETSI (European Telecommunications Standards Institute) oder RCA (Reference CCS Architecture) beziehungsweise OCORA (Open CCS Onboard Reference Architecture). Für die Industrie bietet sich durch die Standardisierung ein größerer Markt, ein geringeres Risiko bei der Produktentwicklung und dadurch auch mehr Ressourcen für diese Entwicklungen.

In zuvor genannten Technologie-Projekten wurde bereits deutlich, dass Kooperationen mit der Industrie eine hohe Relevanz besitzen. Gerade vor dem Hintergrund der Technologieentwicklung, ist es sinnvoll, wegzugehen von der klassischen Auftraggeber-/Auftragnehmer-Beziehung und Entwicklungspartnerschaften zu etablieren. Der Betreiber wird vom Besteller zum aktiven Co-Entwickler, und die Industrie kann das Betreiber-Know-how stärker nutzen und wird zum Anbieter von offenen Plattformen.

Das komplexe Themenfeld hat außerdem Auswirkungen auf die Art, wie wir arbeiten. Es ist offensichtlich, dass ein Thema, das so hochinnovativ und -komplex ist, in einem flexiblen Umfeld bearbeitet werden muss. Entsprechend arbeiten die Entwickler des digitalen Bahnbetriebs nach agilen und selbstorganisierten Prinzipien. Die Mitarbeitenden sind stark eigenverantwortlich für ihre Themen. Ein Rollenkonzept macht transparent, wofür jede und jeder steht

und erlaubt es allen, ihre Kompetenzen optimal einzubringen. Die inhaltliche Führung konzentriert sich zualterererst darauf, Leitplanken zu setzen. Wie die Arbeit in den Teams umgesetzt wird, ist den Experten und Expertinnen überlassen.

Ausblick

Die Erarbeitung des digitalen Bahnbetriebs ist eine Sektoraufgabe. Zwischen Anforderungsdefinition und fertigem Produkt öffnet sich ein großes Feld für die Zusammenarbeit von Betreibern, Industrie und Forschungsk Kooperationen. In Studien, Demonstratoren (im Testumfeld) und Piloten (im Betrieb) werden sukzessive relevante Bausteine entwickelt und das Gesamtsystem komplettiert. Für die Abstimmung auf europäischer Ebene findet eine partnerschaftliche Zusammenarbeit mit weiteren Betreibern und europäischen Institutionen statt.

Erste Anwendungen im Betrieb wie zum Beispiel hochautomatisches Fahren im Digitalen Knoten Stuttgart markieren den Start der Umsetzung des digitalen, automatisierten Bahnsystems. Parallel erfolgt eine weitere Entwicklung der Technologien und Produkte dafür. Erfolgskritisch wird es sein, dass die Infrastruktur der Leit- und Sicherungstechnik (ETCS/DSTW) und der Datenübertragung (5G/FRCSM) zügig flächendeckend ausgerüstet wird und dass eine entsprechende Ausrüstung der Fahrzeuge erfolgt. Um die Einführung des digitalen Bahnbetriebs wirtschaftlich gestalten zu können, kommt der europäischen Standardisierung eine zentrale Rolle zu. So wird die Eisenbahn in naher Zukunft leistungsfähiger, zuverlässiger und einfacher für ihre Nutzer. ■

Lesen Sie auch

IT-Sicherheit im Bahnbetrieb

Deine Bahn 6/2020

Weiterentwicklung des Bahnbetriebs für eine starke Schiene

Deine Bahn 10/2019

Im Spannungsfeld zwischen Technologie und Faktor Mensch

Deine Bahn 2/2019

Digitalisierung und Technik – zwei Seiten einer Medaille

Deine Bahn 8/2018

Projekt Zustandsüberwachung des Gleisumfeldes (ZuG)

Deine Bahn 1/2018