



**Standards und Schnittstellen für Infrastruktur und Fahrzeuge**

# Digitalisierung zur kapazitätsorientierten Nutzung des Bestandsnetzes

Strecke mit ETCS Level 2-Ausrüstung



Foto: DB AG/Volker Emerleben

**Prof. Dr.-Ing. habil. Lars Schnieder**, Geschäftsführer, ESE Engineering und Software-Entwicklung GmbH, Braunschweig



Die politischen Ziele für die zukünftige Entwicklung des Schienenverkehrs sind klar umrissen. Der Schiene wird eine große Bedeutung zur Erreichung der Klimaschutzziele im Verkehr zugemessen. Es soll nicht nur der Güterverkehr auf der Schiene massiv um 25 Prozent gesteigert werden. Auch die Verkehrsleistung im Schienenverkehr soll verdoppelt werden. Die stärkere Nutzung digitaler Technologien ist der Schlüssel zur Erreichung dieser ambitionierten Ziele. Dieser Beitrag zeigt auf, dass Innovationen auf Basis offener Standards in Verbindung mit leistungsfähiger Mobilfunk-Konnektivität zukünftig weitere Kapazitäten im Schienennetz erschließen können.

## Offene Standards für die digitale Schieneninfrastruktur

Die Definition und Einführung offener Standards für die Ausrüstung der Schieneninfrastruktur wird seit nunmehr über 25 Jahren aktiv verfolgt. Eckpfeiler hierfür ist das so genannte European Rail Traffic Management System (ERTMS). Das ERMTS ist das in Einführung und Ausbau befindliche System für das Management und die Steuerung des Eisenbahnverkehrs auf den Strecken der Transeuropäischen Netze (TEN) auf einer einheitlichen technologischen Basis.

Als ein Baustein des ERMTS stand in den letzten Jahrzehnten das European Train Control System (ETCS) als europaweit einheitlicher und herstellerübergreifender Standard zur Überwachung der zulässigen Fahrweise der Züge im Vordergrund. Auf dieser Basis aufbauend, wurde mit der Beschreibung des Teilsystems Automatic Train Operation (ATO) die Grundlage für die Einführung eines halbautomatischen Betriebs als einheitlicher technischer Standard geschaffen.

ETCS und ATO werden in einer umfassenden Systemdefinition SRS (System Requirements Specification) genau beschrieben.<sup>[1]</sup> Die bei der Europäischen Eisenbahngesellschaft verfügbare Spezifikationen von ETCS

und ATO bestehen aus zahlreichen Teilen (sogenannte Subsets). Von diesen Subsets sind manche verpflichtend, manche jedoch „nur“ informativ. Um eine Interoperabilität an der Schnittstelle zwischen Fahrzeug- und Streckeneinrichtungen zu gewährleisten, wurden umfassende Schnittstellenspezifikationen ausgearbeitet (Interface Specifications). Es gibt hierbei zwei unterschiedliche Arten von Schnittstellenspezifikationen (Abbildung 1).

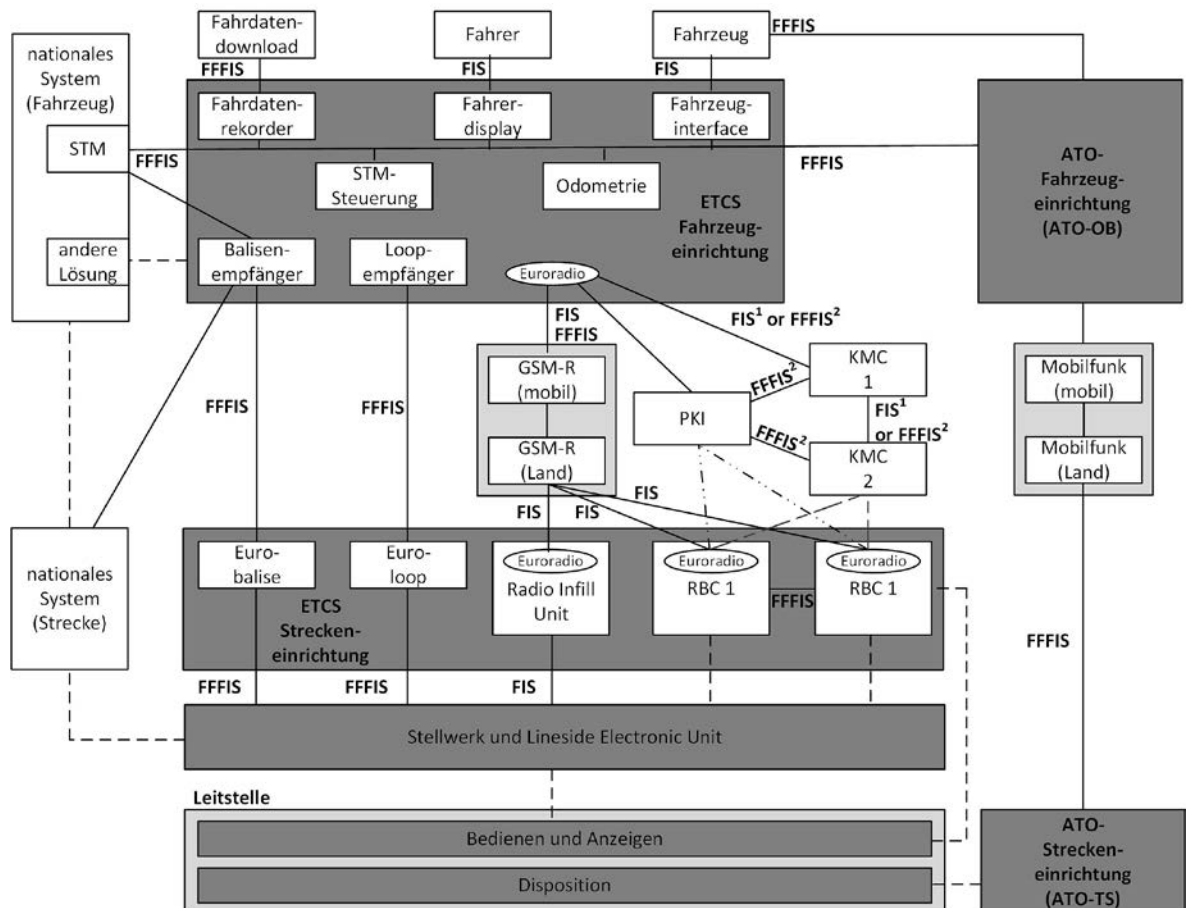
### Functional Interface Specification (FIS)

In diesen Dokumenten wird lediglich das funktionale Verhalten an der betreffenden Schnittstelle festgelegt. Dies ist insbesondere an den Schnittstellen der Fall, wo die Vorgabe eines standardisierten Schnittstellenprotokolls nicht möglich oder beabsichtigt ist. Ein Beispiel aus dem Bereich der Schieneninfrastruktur ist die Schnittstelle zwischen dem jeweiligen nationalen Stellwerkssystem und der ETCS-Funkstreckenzentrale.

### Form Fit Function Interface Specification

Diese Schnittstellenvereinbarung (abgekürzt FFFIS) stellt sowohl eine logische als auch eine physikalische Interoperabilität an den Schnittstellen sicher. Ein Beispiel hierfür ist die Schnittstelle zwischen der Lineside Electronic Unit (LEU) und der Eurobalise in der Strecke im ETCS Level 1.

Abbildung 1: Für die Interoperabilität relevante Schnittstellen



Quelle: Lars Schmieder

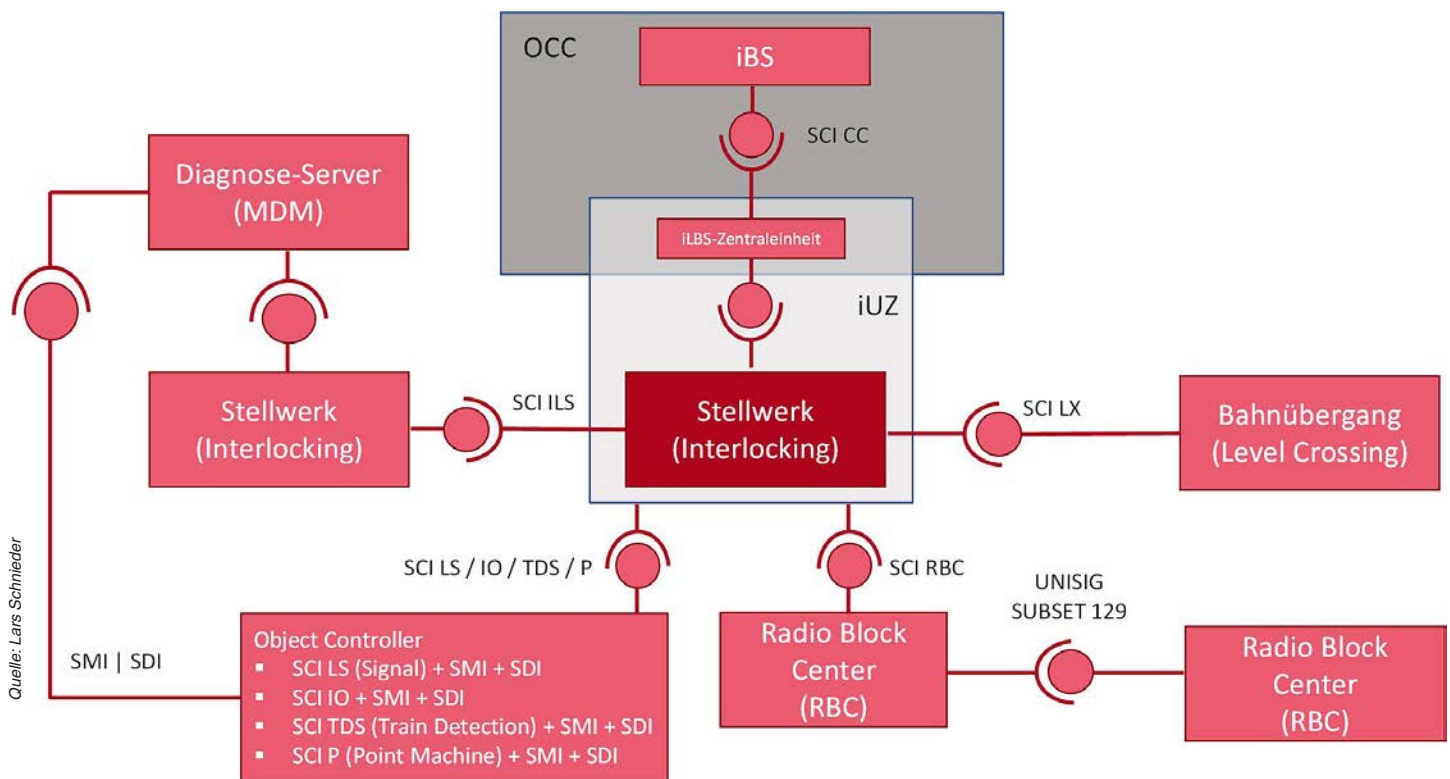


Abbildung 2:  
Eulynx-System-  
architektur

Eine solche detaillierte Festlegung von Schnittstellen gestattet das problemlose Zusammenwirken von Komponenten verschiedener Hersteller. Auch die Kommunikationsschnittstellen zwischen Fahrzeug und Infrastruktur sind eindeutig und verbindlich vorgegeben. Dies gilt sowohl für die funkbasierte Datenübertragung im ETCS Level 2 als auch – unabhängig vom ETCS Level – die Datenübertragung zwischen Eurobalisen und ETCS-Fahrzeuggerät. Hierfür sind neben den Merkmalen der physikalischen Datenübertragung auch die Bedeutungen der zu übertragenden Variablen, Pakete und Botschaften so festgelegt. Dies stellt sicher, dass diese von den verschiedenen Systemherstellern in gleichem Sinne interpretiert werden.

### Modularisierung streckenseitiger Leit- und Sicherungstechnik

Über die Harmonisierung im Rahmen des ETCS hinaus setzen die Europäischen Eisenbahninfrastrukturbetreiber aktuell eine weitere Modularisierung und Vereinheitlichung der streckenseitigen Leit- und Sicherungstechnik (LST) um. Ein Hauptmotiv dieser Aktivitäten ist, die Technik einheitlicher zu gestalten und die einzelnen Anlagen bzw. Komponenten verschiedener Hersteller kompatibler zu machen.

Auf lange Sicht soll ein Grad von Modularität erreicht werden, der es gestattet, Komponenten verschiedener Hersteller weitgehend frei kombinieren zu können. In

diesem Zusammenhang werden die Kommunikationsschnittstellen zwischen elektronischen Stellwerken (englisch: Interlocking System, ILS) und angeschlossenen Einheiten in Zukunft verbindlich und herstellerunabhängig vorgegeben.

In enger Abstimmung damit arbeiten auf internationaler Ebene europäische Infrastrukturbetreiber in der Initiative EULYNX an den Spezifikationen. Die Standardisierung betrifft alle wichtigen Außenverbindungen eines elektronischen Stellwerks. Dazu gehören Nachbar-ILS, Funkstreckenzentralen (Radio Block Center, RBC), Bahnübergangs-Sicherungsanlagen (Level Crossing, LX), Lichtsignale (Light Signal, LS), Weichen (Point Machine, PM), Gleisfreimeldeeinrichtungen (Train Detection System, TDS) sowie die Bedienung (Command and Control, CC). Dies ist in Abbildung 2 schematisch dargestellt.

Die Vorgaben beschreiben das gewünschte Kommunikationsverhalten unter dem Namen SCI-XXX (Standard Communication Interface), wobei XXX durch das Kürzel der jeweiligen Gegenstelle des ILS zu ersetzen ist. Die Kürzel sind aus den englischen Bezeichnungen abgeleitet, also SCI-RBC für die Schnittstelle zwischen Stellwerk und Funkstreckenzentrale (Radio Block Center) und SCI-ILS für die Schnittstelle zwischen benachbarten Stellwerken.

Alle Schnittstellen verwenden dieselbe Kommunikationsinfrastruktur. Basierend auf Ethernet über



Abbildung 3:  
GSM-R-Sendemast an  
einer Bahnstrecke

Foto: DB AG/Volker Emersleben

Lichtleiter fungiert RaSTA (Rail Safe Transport Application) als sicheres Transportprotokoll zur Übermittlung für Nachrichtenpakete. Für zukünftige Stellwerke nach dem EULYNX-Standard gibt bereits erste Referenzimplementierungen, und mehrere Betreiber planen konkret die Installation von Anlagen, die den europaweit einheitlichen Vorgaben entsprechen.

### Offene Standards zur digitalen Hochrüstung von Schienenfahrzeugen

Aller Standardisierung zum Trotz besteht weiterhin eine latente Zurückhaltung der Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU), das ETCS bei Bestandsfahrzeugen nachzurüsten. Dies ist aus Sicht des Eisenbahnsystems in Summe generell nicht optimal. Nur wenn alle auf einer bestimmten Strecke fahrenden Fahrzeuge die entsprechenden technischen und betrieblichen Voraussetzungen erfüllen, kann streckenseitig eine effizientere Signalisierung angewendet und von den daraus resultierenden Kosten- und Kapazitätsvorteilen sowie rascherer Projektierung und schneller Rollout-Möglichkeiten profitiert werden. Warum vollzieht sich die Ausrüstung der Fahrzeugflotten mit ETCS bislang so langsam?

Bisher gab es für Schienenfahrzeuge keine stringenten Architekturvorgaben. Daher sind geschlossene und historisch gewachsene, herstellerabhängige Lösungen entstanden. Deswegen liegen auch nach mehr als 25 Jahren Erfahrungen die

Investitionskosten für ETCS-Fahrzeugausrüstungen nach wie vor auf einem deutlich höheren Niveau als aus technischer Sicht angemessen. Der aktuelle Stand der Standardisierung von Schienenfahrzeugarchitekturen leitet sich aus dem Architekturbild des ERMTS (vgl. Abbildung 1) ab.

Im Rahmen der Standardisierung des ETCS wurden bereits in der Vergangenheit einzelne Schnittstellen eindeutig festgelegt (FFFIS, siehe oben). Beispiele hierfür sind die Anbindung nationaler Zugbeeinflussungssysteme an das ETCS-Fahrzeuggerät als Specific Transmission Module (STM) sowie die Anbindung des Fahrdatenrekorders (vgl. Abbildung 1). Ebenso ist das Wechselspiel zwischen dem ETCS-Fahrzeuggerät und dem ATO-Fahrzeuggerät auf einer hohen Detailebene festgelegt, so dass hier auch eine Kombination von Geräten verschiedener Hersteller möglich ist.

Diese punktuellen Ansätze einer Standardisierung reichen jedoch nicht aus, da insbesondere die Schnittstelle zur Fahrzeugsteuerung bislang hochgradig individuell und aufwendig ist. Genau dies ist Ansatzpunkt weiterer Bestrebungen zur Standardisierung.

Verschiedene EVU in Europa haben sich auf den Weg begeben, eine offene fahrzeugseitige Referenzarchitektur (OCORA) zu definieren.<sup>[9]</sup> Diese Referenzarchitektur muss mit den streckenseitigen Teilsystemen für Zugsteuerung, Zugsicherung und Signalgebung der Reference CCS Architecture (RCA)<sup>[6]</sup> kohärent etabliert werden und diese ergänzen.

Obwohl OCORA eine Standardisierung der CCS-Funktion an Bord anstrebt, ist die Schaffung eines formellen, „de jure“-Standards nicht vorgesehen. OCORA wird jedoch für seine Mitglieder und Dritte Spezifikationen für Beschaffungszwecke nach dem Vorbild von z. B. EULYNX für die Schieneninfrastruktur entwickeln.

### Konnektivität für digitale Zukunftstechnologien

Future Railway Mobile Communication System (FRMCS) ist der Arbeitstitel für die zukünftige Generation eines einheitlichen europäischen Digitalfunks für den Eisenbahnbetrieb. Die Notwendigkeit einer Weiterentwicklung des Digitalfunks für den Eisenbahnbetrieb ergibt sich aus zwei Bedarfen heraus:

#### Quality of Service (QoS)

Der Übergang zu einem Fahren im wandernden Raumabstand im ETCS Level 2 mit zuggestützter Überwachung der Zugvollständigkeit erfordert beispielsweise im Sekundentakt Positionsmeldungen der vorausfahrenden Züge. Damit müssen sehr stringente Anforderungen an das Latenzverhalten von FRMCS gestellt werden, die weit über das hinausgehen, was heute bei GSM-R üblich ist. Darüber

hinaus werden für höhere Automatisierungsgrade im Schienenverkehr zukünftig bandbreitenintensive Daten übertragen werden müssen.<sup>[4]</sup>

### Obsoleszenz

Es stellt sich auch die Problematik der GSM-R-Obsoleszenz immer dringender. Während der öffentliche Mobilfunk der 2. Generation (2G) schon in den nächsten Jahren verschwinden wird, garantiert die GSM-R-Industrie einen Lebenszyklus bis etwa in das Jahr 2030. Danach wird es allerdings infolge nicht mehr verfügbarer Komponenten und Know-how immer schwieriger und kostspieliger, den Betrieb aufrecht zu erhalten.<sup>[4]</sup>

Das FRMCS wird in den 2020er und 2030er Jahren schrittweise den heutigen digitalen Betriebsfunk GSM-R ablösen.<sup>[4]</sup> Als zugrunde liegende Mobilfunktechnologie scheint sich der öffentliche Mobilfunk der 5. Generation (5G) als technologische Basis für FRMCS abzuzeichnen – mit entsprechenden Vorteilen aufgrund drastisch reduzierter Latenzzeiten.

Das FRMCS Spezifikations- und Definitionsprojekt mit Feldtests und Validierung soll zeitnah abgeschlossen werden. Eine entsprechende Anpassung der Technischen Spezifikationen für die Interoperabilität ist geplant. Anschließend kann die Einführung von FRMCS bei den nationalen Bahnen beginnen.<sup>[4]</sup> Hierbei sind die folgenden Aspekte zu betrachten:

### Definition der Einführungsstrategie für FRMCS

Hierbei muss festgelegt werden, in welcher Sequenz das neue System landesweit in Betrieb genommen werden soll. Eine Einführung kann fahrzeug- oder streckenseitig und dort nach Regionen, Streckenarten oder Kombinationen daraus stattfinden. Bei der Entwicklung dieser Strategien ist bereits ein übergreifender Blick erforderlich, welcher nicht nur die Infrastruktur, sondern auch EVU mit umzurüstenden Fahrzeugen, denen FRMCS als Netzzugangskriterium auferlegt werden muss, umfasst.<sup>[5]</sup>

#### ■ Infrastruktur Roll-out

Auf Grundlage der zuvor entwickelten Strategie kann der Aufbau des FRMCS-Netzes begonnen werden. Hierbei empfiehlt sich ein Vorgehen in zwei Phasen mit einer FRMCS-Erstimplementierung und einem folgenden Flächen- Rollout.<sup>[5]</sup>

#### ■ Fahrzeug Roll-out

Parallel zum Rollout der Infrastruktur bedarf die Umrüstung und Softwareanpassung der Fahrzeuge der EVU, welche die Infrastruktur einer Bahn nutzen, der intensiven Vorbereitung. Wiederum aufbauend auf der Einführungsstrategie sind hierfür Umrüstplanungen zu erstellen, welche die Einsatzgebiete der Fahrzeuge, Umrüstdauer und Kapazität der Werke beachten.

Dabei ist festzulegen, ob es eigene Umrüstungspausen für FRMCS geben soll oder diese in ohnehin geplante Instandhaltungsintervalle integriert werden können. Zudem sind dauerhafte oder temporäre Erweiterungen der Werkekapazität zu untersuchen. Zielsetzung ist ein aufeinander abgestimmtes zeitliches Vorgehen der Strecken- und Fahrzeugumrüstung entsprechend der zeitlichen Überlegungen aus der Einführungsstrategie.<sup>[5]</sup>

### Dienstmigration von GSM-R zu FRMCS

Die Einführung eines neuen Funkstandards bedeutet für die Bahnen, dass an allen Applikationsschnittstellen sowie häufig auch in den Anwendungen erhebliche Anpassungen und neue Zertifizierungen notwendig werden. Hierfür sind für jeden Dienst und jedes betroffene Verfahren frühzeitig die entsprechenden Schritte zu planen und umzusetzen, welche eine Migration von GSM-R auf FRMCS bzw. eine erstmalige Etablierung von neuen Diensten über FRMCS ermöglichen.<sup>[5]</sup>

### Reduktion streckenseitiger Infrastrukturkomponenten

Mit fortschreitender Ausrüstung von Fahrzeugen und Infrastruktur mit einheitlichen (offenen) Standards eröffnet sich die Chance einer Verlagerung von Funktionen der streckenseitigen konventionellen Leit- und Sicherungstechnik der Schieneninfrastruktur in die Schienenfahrzeuge. Hierbei werden zukünftig Systeme der fahrzeugseitigen Erkennung der Zugvollständigkeit (TIMS, Train Integrity Monitoring Systems) weit reichende Potenziale für eine Reduktion der streckenseitigen Gleisfreimeldung ermöglichen (Einsatz in ETCS Level 2 ohne streckenseitige Gleisfreimeldung). Die Technologie ist für eine Erhöhung der Streckenkapazität von großer Bedeutung.

Neben der Funktionalität als Enabler für ETCS L2 (ohne streckenseitige Gleisfreimeldeeinrichtungen) können die Systeme zur fahrzeugbasierten Feststellung der Zugvollständigkeit auch zur Senkung der Investitionen sowie der Betriebskosten beitragen, indem die Technologie eine Reduzierung der streckenseitigen Infrastrukturkomponenten ermöglicht.<sup>[6]</sup>

Bei der Umstellung auf diese Technologie sind somit sowohl wirtschaftliche Aspekte als auch die Erhöhung der Streckenkapazität von Bedeutung. Grundsätzlich ist der Einsatz dieser Systeme zur fahrzeugseitigen Erkennung der Zugvollständigkeit abhängig von den technischen Möglichkeiten der jeweils betrachteten Zuggattung.<sup>[6]</sup>

■ TIMS-Produktklasse 1 ist für feste Zugkompositionen mit einem drahtgebundenen Kommunikationsnetz konzipiert. Die Integrität wird auf Grundlage der Kommunikation zwischen der Zugspitze und dem Ende des Zuges überwacht. Die Produktklasse 1 eignet sich für Personenzüge mit fester Zusammensetzung mit durchgängiger Datenleitung sowie für

Ganzzüge im Güterverkehr, wenn eine drahtgebundene Kommunikation durch Innovationen wie bspw. einer Digitalen Automatischen Kupplung (DAK) verfügbar ist.

- Bei TIMS-Produktklasse 2 wird die Zugintegrität auf Basis des Vergleichs kinematischer Daten von Zugspitze und Zugende (z. B. der kohärenten Bewegung des Zuges im Verhältnis zum Führerstand) erkannt. TIMS-Produktklasse 2 kann für wechselnde Zugkompositionen ohne drahtgebundene Kommunikation implementiert werden.
- TIMS-Produktklasse 3 erfolgt über wagenspezifische Sensorik. Die Vollständigkeit des Zuges wird durch Überprüfung der Kommunikation sowie durch Überwachung des Abstands zwischen benachbarten Wagen überwacht. Diese Produktklasse kommt bei Einzelwagenzügen mit wechselnder Zusammensetzung zum Einsatz.

### Technische Standards: Notwendig aber nicht hinreichend

Das betriebliche und technische Zielbild ist klar – der Roll-out der Digitalen Schiene nimmt in Deutschland zunehmend Fahrt auf. Bislang steht jedoch lediglich der Finanzierungskorridor für die Infrastruktur der bundeseigenen Bahnen. Hier wird die Umsetzung des Zielbildes der Digitalen Schiene zunehmend maßnahmenscharf umgesetzt.

Aller Euphorie zum Trotz darf hierbei nicht vergessen werden, dass mit den Nichtbundeseigenen Bahnen (NE-Bahnen) ein wesentlicher Anteil des deutschen Schienenverkehrsnetzes in den bisher verfolgten Modernisierungsplänen nicht ausreichend berücksichtigt wurde. Deshalb müssen die NE-Bahnen zukünftig stärker in die Modernisierungskonzepte mit eingebunden werden, da die Schiene nur dann stark ist, wenn das gesamte Schienennetz auf einen neuen technologischen Stand gehoben wird. Dies erfordert einen Schulterchluss zwischen der DB InfraGO AG und den NE-Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU).

Dieser Schulterchluss von bundeseigenen Bahnen und NE-EIU ist für den Erfolg notwendig, aber nicht hinreichend. Vor allem muss die Finanzierung geklärt werden – auch für die Ausrüstung der Fahrzeugflotten. Hier ist die Verkehrspolitik gefordert, einen Finanzierungskorridor sowohl für die Ausrüstung der von NE EIU betriebenen Streckenbereichen als auch die Ausrüstung von Fahrzeugflotten zu definieren. Eine verbindliche Umsetzung des betrieblich technischen Zielbildes braucht eine verbindliche Finanzierung.

Genau dies ist Gegenstand der Novellierung des Gesetzes über den Ausbau der Schienenwege des Bundes (BSWAG) im Juli dieses Jahres (vgl. <sup>[8]</sup> und <sup>[9]</sup>). Die in der BSWAG-Novelle zusätzlich aufgenommenen Förderungstatbestände können jedoch nur dann ihre Wirkung entfalten, wenn im Bundeshaushalt auch wirklich die finanziellen Voraussetzungen für eine starke Schiene geschaffen werden. ■

#### Literatur

- [1] Schnieder, Lars: European Train Control System (ETCS) – Einführung in das einheitliche europäische Zugbeeinflussungssystem. 4. Auflage. Springer (Berlin) 2024.
- [2] Elsweiler, Bernd: Beyond ETCS – Interoperable interfaces and more. IRSE NEWS 198, S. 2.
- [3] Rolf Mühlemann: OCORA – Die europäische Initiative zur ETCS-Fahrzeugausrüstung der Zukunft. In: Signal + Draht (112) 9 / 2020, S. 25–30.
- [4] Brand AE, Nänni C (2019) Bahn- und Fahrgastkommunikation: von 2G/GSM-R zu 5G/FRMCS aus SBB-Perspektive. Signal + Draht 111(7 + 8):6–15.
- [5] Potthoff B, Döring S, Becka M, Lossau S (2020) Herausforderungen bei der Migration von GSM-R zu FRMCS. Signal + Draht 112(3):6–12.
- [6] Isberner, Alessa; Benedikt Scheier, Jakob Geischberger, Michael Mönsters und Florian Brinkmann: Migrationsstrategie für eine fahrzeugeitige Zugvollständigkeitskontrolle. In: Signal + Draht (115) 9 / 2023, S. 48–56.
- [7] Schnieder, Lars: Einführung von ETCS für NE-Bahnen und Industriebahnen. In: Eisenbahntechnische Rundschau 73 (2024) 3, S. 26–29.
- [8] Entwurf eines Vierten Gesetzes zur Änderung des Bundesschienenwegeausbaugesetzes (Bundestagsdrucksache 20/10414 vom 21.02.2024).
- [9] Beschluss des Bundesrats vom 22. März 2024 (BR-Drucksache 95/24 (Beschluss)) zu dem Entwurf eines Vierten Gesetzes zur Änderung des Bundesschienenwegeausbaugesetzes.

#### Lesen Sie auch

**Digitale Hochrüstung der Bestandsfahrzeuge: Herausforderungen und Lösungen**

Deine Bahn 5/2024

**Technologiesprung für die Schiene der Zukunft**

Deine Bahn 12/2022

**Systemarchitektur für das digitale Bahnsystem: neue Akzente für die Standardisierung**

Deine Bahn 11/2022

**ATO als Zukunftstechnologie im Schienenverkehr**

Deine Bahn 3/2022