

Der Digitale Knoten Stuttgart zwischen Licht und Schatten

Ein Abriss zum Stand und wesentlichen Erfahrungen aus der voranschreitenden Realisierung des Pilotprojekts aus dem Starterpaket der Digitalen Schiene Deutschland

FLORIAN BITZER | VINCENT BLATEAU | FRANK DIETRICH | CHRISTIAN LAMMERSKITEN | BERND LÜCK | FREDERIK SCHMALLE | SANDRA SCHLÄFKE | THOMAS VOGEL | MAX-LEONHARD VON SCHAPER | SVEN WANSTRATH

Die Realisierung der Infrastruktur im Kern des Knotens (Bausteine 1 und 2) kommt – wenn auch langsamer als geplant – voran, auch die Serienumrüstung von Triebzügen (Tz) ist angelaufen. Gleichzeitig arbeiten am Umland (Baustein 3) inzwischen etwa 150 Mitarbeiter u.a. an der Vorplanung, während die Vergaben nach dem Partnerschaftsmodell Schiene vorbereitet werden. Das Projekt bringt dabei weiter ebenso vielfältige wie wechselhafte Erfahrungen hervor, darunter Systemwirkungen sowie notwendige Beschleunigungen und Vereinfachungen.

Motivation

Im Rahmen des Digitalen Knotens Stuttgart (DKS) werden die Leit- und Sicherungstechnik (LST) auf rund 500 Netzkilometern – 1,5 % des DB-Netzes (Abb. 1) – sowie zunächst insgesamt mehr als 500 Tz und Nebenfahrzeuge (Nfz) mit Techniken der Digitalen Schiene Deutschland (DSD) „digitalisiert“. Das Projekt verfolgt dabei eine Reihe von Zielen und bringt vielfältige Erfahrungen für die flächenhafte Umsetzung der DSD hervor [1]. Ein Jahr nach dem letzten Sachstandsbericht, im EI 1/2023 [2], fasst der vorliegende Bericht den Stand des Projekts und wesentliche Erkenntnisse zusammen.

Sachstand

Infrastruktur der Bausteine 1 und 2

Die Realisierung der LST-Infrastruktur im Kern des Knotens schreitet voran. Der Schwerpunkt der Arbeiten lag 2023 im Bereich Bad Cannstatt/Untertürkheim [3], der S-Bahn-Stammstrecke [4] (Abb. 2) sowie am Bedien- und Technikstandort (BSO/TSO) Waiblingen. Die technische Ausrüstung des BSO/TSO ist im Gang, ein Teil der 19 Gleisfeldkonzentratoren (GFK) wurde fertiggestellt, und mehr als 800 km Kabel wurden gezogen. Inzwischen laufen auch Tests und Abnahmen der Übertragungstechnik. Die ersten Inbetriebnahmen von Digitalen

Stellwerken (DSTW) und European Train Control System (ETCS) werden jedoch erst später als geplant erfolgen können [2, 5]. Die Ursachen für die Verzögerungen sind vielfältig: Beispielsweise erwies sich die Gleisfeldvernetzung bei Doppelausrüstung (ETCS mit Ks-Signalen und Punktförmiger Zugbeeinflussung (PZB)) – nicht jedoch auf der mit Level 2 ohne Signale (L2oS) ausgerüsteten Stammstrecke [6] – in der Praxis als weit aufwendiger als zunächst geplant [3]. Um der deutlich über bisherige Projekte hinausgehenden Komplexität Rechnung zu tragen, haben die GTS Deutschland/Thales und die Deutsche Bahn (DB) ihre Zusammenarbeit weiter intensiviert: Nach dem Vorbild der Digitalen S-Bahn Hamburg [7] kommen im Rahmen einer im Sommer 2023 begonnenen „integrierten Zusammenarbeit“ Fachleute beider Seiten regelmäßig in elf Arbeitsgruppen zusammen, um im direkten Gespräch Beschleunigungen und Lösungen in technischen und betrieblichen Themenfeldern zu finden. Auf Empfehlung der Fachleute werden zumeist noch am selben Tag

Entscheidungen auf Leitungsebene gefällt: beispielsweise über die Priorisierung von Ressourcen beider Seiten oder Maßnahmen zur weiteren Beschleunigung und Parallelisierung. Während mit aller Kraft daran gearbeitet wird, die für die kommerziellen Inbetriebnahmen unabhängigen Techniken DSTW und ETCS rechtzeitig umzusetzen, kommen auch weitere Techniken voran: So haben beim hochautomatisierten Fahren (Automatic Train Operation Grade of Automation 2 – ATO GoA 2, unter Verantwortung des Triebfahrzeugführers) Fahrzeug (Fz)- und Streckenseite (ATO-OB/ATO-TS) im November 2023 erstmals direkt kommuniziert; Testfahrten sind Ende 2024 auf der Schnellfahrstrecke (SFS) Wendlingen – Ulm vorgesehen. Die Entwicklung einer ersten Stufe von CTMS (Capacity & Traffic Management System) [8] und des Digitalen Registers (DR) [9], aus denen ATO gespeist wird, wurde begonnen. Die kommerzielle Inbetriebnahme von ATO und Basis-CTMS im Kern des DKS ist weiter für 2026 geplant.

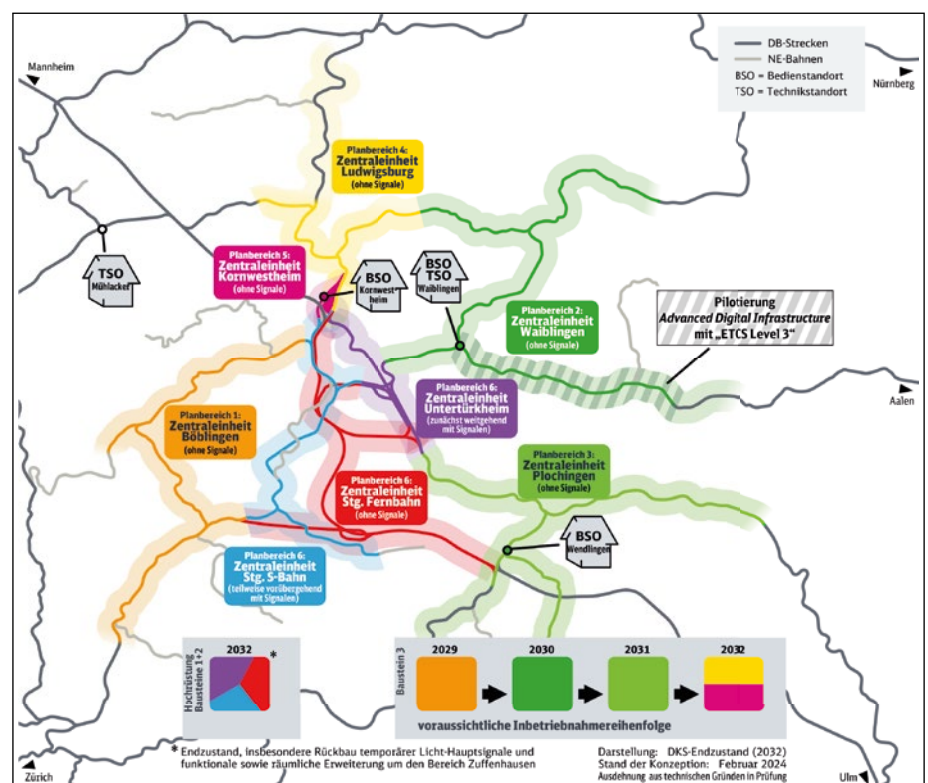


Abb. 1: Räumliche Gliederung des DKS, mit Planbereichen des Bausteins 3

Quelle Abb. 1-3 u. 5: Deutsche Bahn

Infrastruktur des Bausteins 3

Im Rahmen des Bausteins 3 ist geplant, mehr als 300 weitere Streckenkilometer (Abb. 1) mit DSTW und ETCS auszurüsten und weitere Techniken der DSD, wie ein steuerndes CTMS [9] sowie FRMCS [10], in der gesamten DKS-Infrastruktur einzuführen [1]. Dies bedingt wiederum eine darauf abgestimmte Fz-Ausrüstung. Die Konzeption und Planung der Infrastruktur des Bausteins 3 hat inzwischen kräftig an Fahrt aufgenommen: Allein bei der DB sind inzwischen mehr als 150 Mitarbeiter damit befasst. Die Vorplanung wird in allen sechs Planbereichen von DB Engineering & Consulting vorangetrieben und soll zwischen September 2024 und Dezember 2025 abgeschlossen werden. Die Facetten der LST-Planung sind dabei so vielfältig wie der weite Planungsraum des DKS. Umfasst werden beispielsweise Teile europäischer Korridore und ein Großteil des S-Bahn-Netzes genauso wie das Endstück der SFS Mannheim – Stuttgart, der Rangierbahnhof Kornwestheim und eingleisige Nebenbahnen. Die grundlegend neue, die Möglichkeiten von L2oS nutzende Blockteilung berücksichtigt u. a. Verdichtungen in Bahnhöfen und an Geschwindigkeitsschwellen ebenso wie im Kontext des Hochleistungsnetzes [11] erwogene zusätzliche Weichen. Sie stößt gleichwohl insbesondere an elektrischen Streckentrennungen [12] noch an erhebliche Grenzen. Für Standorte von einem TSO, zwei BSO, über 50 GFK sowie etwa 500 potenzielle Funkstandorte (für GSM-R, FRMCS und öffentlichen Mobilfunk [13]) werden Flächen gesucht. Inzwischen wurde auch ein Großteil des DKS mit neuen Methoden vermessen [1].

Nachdem die Finanzierungsvereinbarungen für Planung [15] und einen Großteil der Realisierung [16] abgeschlossen wurden und inzwischen vertiefende Planungserkenntnisse vorliegen, sind die kommerziellen Inbetriebnahmen nunmehr schrittweise zwischen Ende 2029 und Mitte 2032 geplant (Abb. 1). Aufgrund erheblicher technischer Neuerungen und Weiterentwicklungen soll der Baustein 3, auf der Grundlage des Betrieblich-Technisches Zielbildes 1.2 („TZB Release“ [17]), nach dem „Partnerschaftsmodell Schiene“ [18] an Stelle des Volumenmodells [19] realisiert werden. Eine Marktinformation und ein Marktdialog sind im Sommer/Herbst 2024 geplant, die Vergaben in mehreren

i

Tag der offenen Baustelle

Vom 30. März bis 2. April 2024 finden „Tage der offenen Baustelle“ am Hauptbahnhof in Stuttgart statt. Zahlreiche Mitarbeiter stehen dort auch zum DKS Rede und Antwort.

Mehr Informationen unter its-projekt.de.



Abb. 2: Kabelzug auf der S-Bahn-Stammstrecke, im August 2023

Lösen für 2025. Die Realisierung im Feld soll im 2. Quartal 2026 beginnen.

Mit dem Baustein 3 halten wieder zahlreiche neue Themen Einzug im DKS. Dabei werden vielfältige (positive wie negative) Erfahrungen gewonnen. Dazu zählen u. a. 45 Bahnübergänge (beispielsweise im Hinblick auf Bestandsschutz, teils notwendige bauliche Anpassungen und Genehmigungsverfahren), die Anbindung an Nichtbundeseigene Eisenbahnen und Gleisanschlüsse sowie technische Detailthemen wie Georedundanz. Auch bereits bekannte Themen kommen mit neuen Facetten auf, darunter laufende Untersuchungen zu ausgedehnten Projektgrenzen (Abb. 1), insbesondere aufgrund abgängiger und mit Umbauverbote belegter Nachbarstellwerke, die im Rahmen des DKS ggf. mit zu ersetzen wären.

Fahrzeugausrüstung

Parallel zur First-of-Class- und Prototyp-Ausrüstung von 18 Tz [20, 21] in Hennigsdorf, war

das Jahr 2023 von der Vorbereitung der Serienausrüstung geprägt. Dazu wurde u. a. Personal ausgebildet sowie wurden Materialflüsse und Fz-Überführungen vorbereitet. Auch flossen und fließen Erfahrungen mit den 18 Tz in die Serienausrüstung und das mehrstufige Genehmigungsverfahren mit ein.

Inzwischen wurde mit der Serienausrüstung von insgesamt 315 Tz begonnen: Im November 2023 rückten die ersten beiden Tz der Baureihe 430 im Alstom-Werk in Villeneuve ein (Abb. 3), kurz darauf wurden erste Fz in die Werke Hagen und Nürnberg der DB Fahrzeuginstandhaltung (FZI) überführt. Um mit Rücksicht auf den engen Zeitplan der Infrastruktur sowie der noch neuen EVC-3-Plattform [22] möglichst effizient zu arbeiten, werden die vier Baureihen nunmehr nicht parallel, sondern weitgehend sequenziell umgerüstet: Auf die Baureihe 430.0/430.2 wird voraussichtlich die Baureihe 423 (teils parallel zu Talent-3-Tz) und schließlich die Flirt-



Abb. 3: Die ersten beiden Triebzüge (der Baureihe 430) der Serienausrüstung im November 2023 im Alstom-Werk Villeneuve

3-Tz folgen. Alstom übernimmt dabei auch eine stärkere Rolle und Verantwortung bei der Seriennachrüstung der S-Bahn: An den Standorten in Hennigsdorf und Villeneuve erfolgt die Serienumrüstung von je 56 Tz der Baureihen 423 und 430.2 sowie acht Tz der Baureihe 430.0. FZI übernimmt in Nürnberg und Hagen den Großteil der Baureihe 430.0 (87 Tz). Durch die Priorisierung der S-Bahn soll auch eine ausreichende Fz-Anzahl für den im Januar 2025 [2] auf der S-Bahn-Strecke zum Flughafen geplanten L2oS-Fahrgastbetrieb ausgerüstet werden.

Die Zulassung (Typgenehmigung) erfolgt, teils parallel zur Serienausrüstung, in zwei Stufen: Bis zum Erhalt ihrer Typgenehmigung und Conformity-to-Type für den Fahrgastbetrieb ohne aktives ETCS bleiben umgerüstete Fz zunächst abgestellt. Nach Erhalt der Typgenehmigung erfolgt deren Einsatz im konventionellen PZB-Betrieb. Anschließend startet das Genehmigungsverfahren für den Fahrgastbetrieb mit ETCS. Das bedeutet z. B. für die Baureihe 430: Bis zu der im Juni 2024 erwarteten ersten Zulassung werden voraussichtlich 41 Tz dem Betrieb entzogen – die

58 neuen Tz der Baureihe 430.2 dienen vorübergehend deren Kompensation, bevor sie für geplante Angebotsverbesserungen zur Verfügung stehen. Die Zulassung für den Fahrgastbetrieb mit aktivem ETCS wird für November 2024 erwartet.

Ab Oktober 2024 soll die Nachrüstung der Regionaltriebzüge folgen. Eine Besonderheit sind dabei die zwei Flirt-3-Varianten, für die aufgrund ihrer LZB-Ausrüstung bzw. ihrer Eignung für 96-cm-Bahnsteige keine geeigneten Ersatz-Fz zur Verfügung stehen, sodass nur wenige Tz gleichzeitig dem Betrieb entzogen werden können. Die Zulassung der Flirt-3-Tz erfolgt dabei einstufig.

Der erste der 130 neuen und „ab Werk“ für die DSD ausgerüsteten Coradia-Max-Triebzüge des Landes Baden-Württemberg [23] ist inzwischen im Bau. Ferner hat das Land 28 Siemens-Mireo-Tz mit DSD-Fahrzeugausrüstung bestellt [24], die – neben weiteren Fz – auch im DKS und im übrigen Land als Ersatz-Fz dienen sollen. Die Ausrüstung von Nfz [25] der DB InfraGO schreitet ebenfalls voran: Im Januar 2024 begann Stadler Signalling mit der Serienausrüstung von Gleisarbeitsfahrzeugen (GAF, Baureihe 741.3, Abb. 4) und der FoC-Ausrüstung eines ersten Instandhaltungsfahrzeugs für Oberleitungsanlagen (IFO, Baureihe 741.x).

Betrieb

Damit die Fz- und Infrastrukturausrüstung ihre Potenziale tatsächlich entfalten können, kommt auch betrieblichen Facetten eine zentrale Bedeutung zu. Die Entwicklung der „Fahrdienstvorschrift für den digitalen Bahnbetrieb“ (Richtlinie (Ril) 400) [26], die ab Ende 2027 im

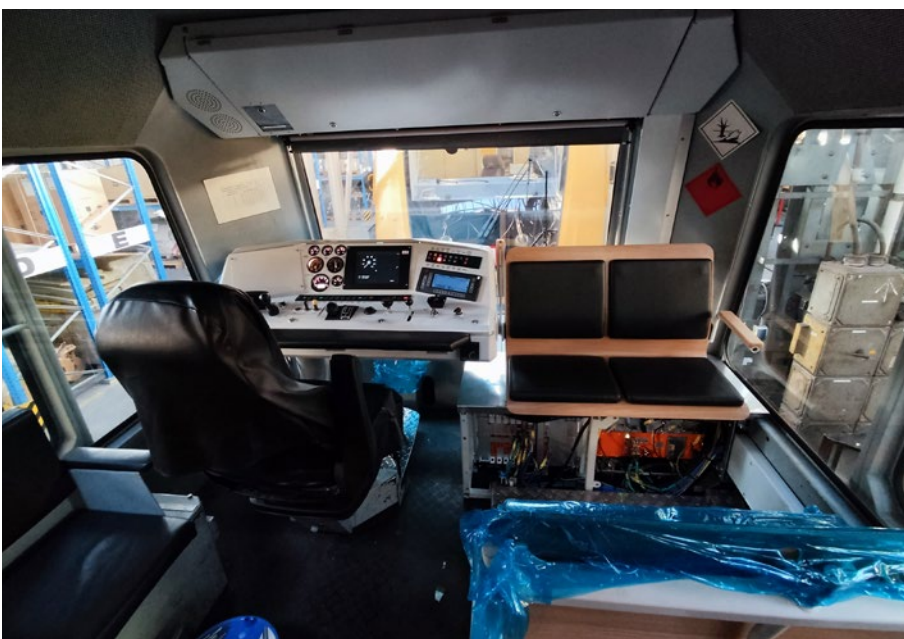


Abb. 4: Eindruck aus dem ersten nachgerüsteten GAF

Quelle: Stadler Signalling

DKS erprobt werden soll und die bis dahin geltende Ril 408 ersetzen wird, schreitet voran. Bereits ab 2025 soll der Digitale Befehl [27] auf der SFS Wendlingen–Ulm und auch im DKS betriebserprobt werden, zunächst per Weisung. Zu den weiteren betrieblichen Regelwerken, die neu erstellt oder weiterentwickelt werden, zählt ein inzwischen im Entwurf vorliegendes Regelwerk für den ATO-Betrieb, das gemeinsam mit den betreffenden Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) erarbeitet wurde. Die Qualifikation der zunächst mehr als 1000 betrieblichen Mitarbeitenden hat inzwischen Fahrt aufgenommen: Mehr als die Hälfte der rund 400 Tf der S-Bahn Stuttgart hat bereits ihre ETCS-Ausbildung durchlaufen; Auffrischungen (vor kommerzieller ETCS-Inbetriebnahme) und Spezialisierungen (z. B. zu ATO) werden in den kommenden Jahren folgen. Während die Ausbildung von Fahrdienstleitern (FdL) zum neuen Bediensystem und zu ETCS sowie von Instandhaltern des Netzes bereits angelaufen ist, wird jene für Fz-Instandhalter nun beginnen.

Wesentliche Erfahrungen

Die bereits 2023 berichteten Schlüsselerkenntnisse zur Gleisfeldvernetzung [2, 3], zur Fz-Nachrüstung [20] und zur betrieblichen Leistungsfähigkeit [28, 29, 30] haben sich in den letzten Monaten weiter manifestiert und waren Gegenstand gesonderter Berichte.

Wechselwirkungen

Ein wesentliches Ziel des DKS liegt darin, die Effekte einer eng aufeinander abgestimmten Fz- und Infrastrukturausrüstung aufzuzeigen [31]. Bereits weit bekannt ist die Möglichkeit, auf eine LST-Doppelausrüstung der Infrastruktur zu verzichten, wenn alle darauf verkehren-

den führenden Fz mit ETCS ausgerüstet sind [32]. Etliche Erfahrungen aus dem DKS und der SFS Wendlingen–Ulm unterstreichen inzwischen, wie dies nicht nur zu einer einfacheren, sondern auch robusteren und gleichzeitig leistungsfähigeren Eisenbahn führen kann [3, 29, 33, 34, 35].

Die mittlerweile erkennbaren Effekte reichen weit über den Verzicht auf Doppelausrüstung hinaus [36]. So ebnet die weitgehende Ausrüstung von Fz mit Zugintegritätsüberwachung (TIMS) nun den Weg, in einem Zulauf des DKS (Abb. 1) das zukünftige Sicherungssystem APS [37] zu pilotieren. Indem etwa vier Fünftel der erwarteten Züge im wandernden Raumabstand („Moving Block“) Gleisabschnitte freifährt, kann auf der freien Strecke voraussichtlich auf etwa zwei Drittel der Achszählpunkte verzichtet werden. [38] Der geringe Mehraufwand [20], bei der ohnehin notwendigen ETCS-Ausrüstung von Tz gleich TIMS mit zu berücksichtigen, eröffnet nun Chancen für eine wesentlich schlankere und gleichzeitig leistungsfähigere wie auch robustere LST-Infrastruktur.

Sehr deutlich zeigen sich Chancen inzwischen auch im zukünftigen Bahnbetriebsfunk FRMCS, in dessen Einführungsphase [10] die Inbetriebnahmen des Bausteins 3 fallen: Durch die mitbeauftragte FRMCS-Ausrüstung von 491 Triebzügen für den DKS [24, 39], die nach weiteren Konkretisierungen der TSI nunmehr zwischen 2030 und 2032 abgeschlossen werden soll, werden rund drei Viertel der dann im DKS erwarteten Züge mit FRMCS ausgerüstet sein [40]. Dies eröffnet weitreichende Chancen für ein wesentlich einfacheres Funknetz: Nach landläufiger Lesart müsste GSM-R für ETCS noch umfassend ausgebaut [41] und FRMCS dazu über einige Jahre parallel betrieben

werden (Abb. 4, oben), da eine FRMCS-Fahrzeugausrüstung nur über langfristig wirkende Netzzugangsbedingungen sichergestellt werden kann [42]. Im DKS stellen sich hingegen nun grundsätzliche Fragen: Inwieweit ist ein umfassender GSM-R-Ausbau für L2oS noch sinnvoll, falls nur recht wenige Züge eine überschaubare Zeit noch damit fahren würden? Oder könnte es in manchen Bereichen mit vollständiger Fz-Ausrüstung gar gelingen, FRMCS im heutigen GSM-R-Frequenzband einzuführen und somit auch wesentlich größere Abstände von Funkstandorten zu realisieren (Abb. 5 unten)?

Beide Beispiele reihen sich in dutzende inzwischen erkannte Wechselwirkungen zwischen Fz- und Infrastrukturausrüstung sowie zwischen der LST und weiteren Gewerken ein [4, 29, 43, 44].

Prozess- und Planungsbeschleunigung, Automatisierung

Über diese vielfältig gebotenen Vereinfachungen hinaus ist es insbesondere mit Blick auf den allfälligen Personalmangel unabdingbar, Planungs- und Prüfprozesse wo immer sinnvoll möglich zu vereinfachen und zu beschleunigen. Dazu zählen beispielsweise umfassende und akkurate Datengrundlagen auf der Grundlage moderner, effizienter Vermessungsmethoden ebenso wie eine zunehmende Teilautomatisierung der LST-Planung oder Geschwindigkeitserhöhungen ohne zeitaufwendige fahrdynamische und gleisgeometrische Prüfungen [14].

Neben den technischen Facetten der Planung gilt es dabei auch, die Möglichkeiten und Grenzen der rechtlichen Rahmenbedingungen weiter auf den Prüfstand zu stellen: So stellt das Allgemeine Eisenbahngesetz (AEG)

Vermessung
Geotechnik
Geoinformatik
Entwicklung

intermetric
Das richtige Maß

GEODÄSIELEHRE GREIFBAR GESTALTEN

Geodäten wissen: sie haben den besten Beruf der Welt. Die Erde einteilen, die sichtbare Welt vermessen und kartieren, Ideen präzise entstehen lassen, das eigene Umfeld gestalten und erhalten, an großartigen Veränderungen unmittelbar mitwirken und zu deren Gelingen aktiv beitragen. Das können Geodäten wie niemand anders.

intermetric GmbH | Industriestr. 24 | 70565 Stuttgart | T +49 (711) 780039-2 | www.intermetric.de

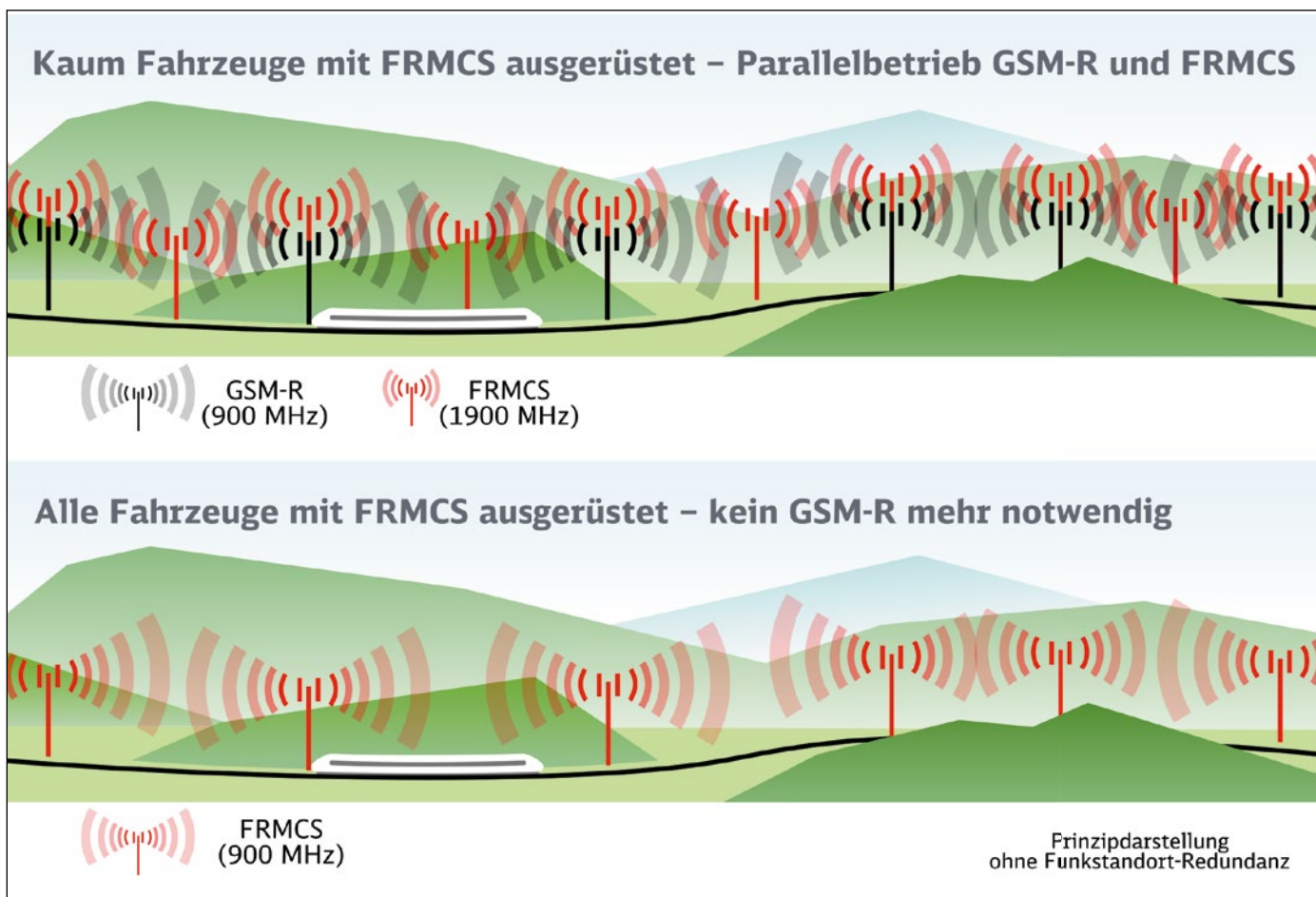


Abb. 5: Prinzipdarstellung zweier Extremfälle, ohne und mit vollständiger FRMCS-Fahrzeugausrüstung zum Start der Infrastruktur

Maßnahmen der „Digitalisierung einer Bahnstrecke“ planrechtsfrei [45], in der Praxis führen beispielsweise notwendige Begleitmaßnahmen, etwa an Bahnübergängen, durchaus wiederum zu Planrechtsverfahren.

Um die DSD-Fahrzeugausrüstung voranzubringen, ist im Kern eine klug gestaltete Koordination und anteilige Förderung unbedingt geboten, begleitet von weiteren Elementen wie möglichst standardisierten Lösungen, Netzzugangsbedingungen und Trassenpreisdifferenzierung [20, 46]. Nur so kann es gelingen, nicht nur bei der eigentlichen Aus- und Umrüstung der Fz weitreichende Synergien zu heben, sondern im Gesamtsystem Bahn zu vielfach einfacheren und gleichzeitig leistungsfähigeren Lösungen zu kommen. Anhand der Erfahrungen im DKS wurde inzwischen ein weiterentwickeltes Lastenheft entworfen, das auch als eine Grundlage für eine bundesweite Förderung von Fz-Umrüstungen dienen könnte. Eine klare Perspektive für die bundesweite DSD-Ausrüstung von Tfz ist auch bereits für den Baustein 3 geboten, damit auf eine Doppelausrüstung verzichtet werden kann.

Ausblick

Fünf Jahre, nachdem die S-Bahn-ETCS-Untersuchung dessen Grundstein legte [47], arbeiten viele hundert Mitarbeiter in vielen

Bereichen daran, den DKS Realität werden zu lassen. Zwischen Licht und Schatten zeigen sich dabei viele Graustufen: Die schon 2023 beschriebenen Herausforderungen [2], im Dreiklang von Betrieb, Fz und Infrastruktur Schritt für Schritt handfeste Kundennutzen zu heben, sind dabei eher noch größer geworden. Gleichzeitig zieht die Perspektive, an Pilotprojekten wie dem DKS die Zukunft der Eisenbahn positiv zu gestalten, auch viele neue Mitarbeiter an. Und es wird weiter – auch über Organisationsgrenzen hinweg – um gute Lösungen gerungen werden.

Während es dabei schon ein Kraftakt ist, überhaupt viele Züge in einem Knoten auf der Grundlage von DSTW und ETCS L2oS zu fahren, wachsen nun darauf aufbauende Früchte, die in den letzten Jahren gesät wurden. Dabei zeigen sich immer mehr Perspektiven, ein „digitales“ Eisenbahnsystem zu schaffen, das mit weniger Aufwand deutlich mehr Leistung als mit bisheriger LST erbringen kann. Die für den DKS konzipierten Lösungen sollten dabei auch Ansporn sein, wo immer sinnvoll, möglichst weiter zu vereinfachen.

Und während sie immer mehr Zugverkehr bewältigen sollen, sind die meisten Stellwerke, die mit dem DKS ersetzt werden, mehr als 40 Jahre alt. Die Modernisierung der LST ist insofern auch im Raum Stuttgart im Grunde

alternativlos – sie klug im Gesamtsystem Bahn zu gestalten, ist und bleibt Herausforderung und Chance zugleich. ■

Das Projekt wird kofinanziert von der Europäischen Union.



QUELLEN

- [1] Bopp, S.; Drescher, O.; Frieß, B.; Rothenstein, D.: Digitaler Knoten Stuttgart: Ein Pilotprojekt der Digitalen Schiene Deutschland. In: Die Zukunft der Mobilität: Digitale Schiene Deutschland. Trackmedia-Verlag, Leverkusen 2023. ISBN 978-3-96245-260-5
- [2] Beyer, M.; Blateau, V.; Bitzer, F.; Dietrich, F.; Lammerskitten, C.; Lück, B.; Richter, R.; Rudolph, C.; Vogel, T.: Der Digitale Knoten Stuttgart wird Realität, DER EISENBAHNINGENIEUR 1/2023 (<https://bit.ly/3RCqFR>)
- [3] Böhm, M.; Paltian, A.; Schleede, M.; Voigt, B.; Winckler, M.: Erfahrungen mit der Gleisfeldvernetzung im Digitalen Knoten Stuttgart (Teil 1), SIGNAL+DRAHT 4/2023 (<https://bit.ly/41Mlkgb>)
- [4] Büttner, M.; Celik, M.; Kümmling, M.; Lübs, J.; Seeger, P.; Testa, M.-A.; Vens, M.; Wallberg, M.: Die Digitalisierung der S-Bahn-Stammstrecke Stuttgart (Teil 2), SIGNAL+DRAHT 12/2023 (<https://bit.ly/3RNd7FQ>)
- [5] DB Projekt Stuttgart – Ulm: Lenkungsreis Stuttgart 21. Foliensatz vom 1. Dezember 2023 (<https://bit.ly/4bly2lv>), S. 6, 8
- [6] Achilles, A.; Behrooz, A.; Beyer, M.; Lehmann, F.; Lies, R.; Schleede, M.; Trenchel, D.; Wanstrath, S.: Die Digitalisierung der S-Bahn-Stammstrecke Stuttgart (Teil 1), SIGNAL+DRAHT 9/2023 (<https://bit.ly/46AzFOF>)
- [7] Schröder, J.; Gonçalves Alpoim, C.; Rudolph, C.; Dickgießer, B.; Talg, M.: Digitale S-Bahn Hamburg, Eisenbahn Ingenieur Kompendium 2022 (<https://bit.ly/3U8Grmm>)
- [8] Küpper, M.: Das Capacity & Traffic Management System für die Digitale Schiene, DER EISENBAHNINGENIEUR 10/2023 (<https://bit.ly/40BWDm1>)
- [9] Fiack, A.; Weller, F.; Heimes, M.; Laux, T.: Digitale Schiene Deutschland – Zukunftstechnologien für das Bahnsystem. Eisenbahn Ingenieur Kompendium 2024

- [10] Marsch, P.; Fritzsche, R.; Hoffeld, B.; Kuo, F.-C.: 5G für das digitalisierte Bahnsystem der Zukunft – ein Ausblick auf FRMCS, SIGNAL+DRAHT 3/2022 (<https://bit.ly/3Q9agEA>)
- [11] DB InfraGO: Generalisierungen in der Schieneninfrastruktur des Bundes. Foliensatz zu einem Vortrag an der TU Berlin, 22. Januar 2024 (<https://bit.ly/3HGxj6m>), S. 9
- [12] Hernández, L.; Harde, S.: Schaltabschnittsgrenzen und Bahnübergänge schränken Kapazitätseffekt von ETCS Level 2 ein, SIGNAL+DRAHT 1+2/2023 (<https://bit.ly/40AY6br>)
- [13] 5G-Mobilfunk am Gleis rückt näher, DER EISENBAHNINGENIEUR 7/2023 (Der darin beschriebene Ansatz wird im DKS offengehalten.)
- [14] Berger, F.; Behrens, M.; Falk, M.; Klaus, C.; Nehmsch, H.; Ketszem, R.; Mayerle, T.; Rupp, F.: Beschleunigung der LST-Planung im Digitalen Knoten Stuttgart, DER EISENBAHNINGENIEUR 11/2023 (<https://bit.ly/3GbkV95>)
- [15] Bundesministerium für Digitales und Verkehr: Vereinbarung zur Finanzierung von Planungskosten für ETCS/DSTW/ATO/DLST-Ausrüstung des Starterpakets DSD (Pilotprojekt Digitaler Knoten Stuttgart, Baustein 3). Finanzierungsvereinbarung F 21 Q 0774, Dezember 2022 (<https://bit.ly/48HUgmb>)
- [16] Vereinbarung zur Finanzierung von Kosten für die Realisierung der ETCS/DSTW/ATO/DLST-Ausrüstung des Starterpakets DSD (Pilotprojekt Digitaler Knoten Stuttgart, Baustein 3). Finanzierungsvereinbarung F 21 Q 0790, Dezember 2023 (In den Planbereichen 3 und 4 sind zunächst die Leistungsphasen bis 4 hinterlegt.)
- [17] Vereinbarung zur Finanzierung von Beschleunigungsmaßnahmen im Rahmen der digitalen Schiene. Finanzierungsvereinbarung F 21 Q 0773, vom Dezember 2021 (<https://bit.ly/3YZ13DD>), PDF-Seite 29
- [18] Bergmann, J.; Baufeld, M.: Innovationen beschleunigen Planen und Bauen – für mehr Kapazität auf der Schiene, Eisenbahntechnische Rundschau 7+8/2022
- [19] Erster Volumenvertrag bei digitaler LST, DER EISENBAHNINGENIEUR 8/2023
- [20] Dietrich, F.; Molterer, L.; Philippsen, F.; Reinhart, P.; Schunke-Mau, C.; Vogel, T.; Wester-Ebbinghaus, H.: Förderung der DSD-Fahrzeugausrüstung im Digitalen Knoten Stuttgart, DER EISENBAHNINGENIEUR 4/2023 (<https://bit.ly/3N24h5o>)
- [21] Digitaler Knoten Stuttgart: Die Prototyp-Umrüstung von Fahrzeugen ist im Gang. Plakat zu den „Tagen der offenen Baustelle“ im April 2023 (<https://bit.ly/3u281wF>)
- [22] Dietrich, F.; Erdmann, J.; Jost, M.; Raichle, F.; Sane, N.; Vogel, T.; Wagner, P.: Nachrüstung von 333 Triebzügen für den Digitalen Knoten Stuttgart, ZEVrail 5/2022 (<https://bit.ly/3DH210S>)
- [23] Druckenbrod, C.; Glass, T.; Klust, M.: Neue Doppelstocktriebzüge für den Digitalen Knoten Stuttgart, DER EISENBAHNINGENIEUR 2/2023 (<https://bit.ly/3HDDM1c>)

- [24] Siemens Mobility: Siemens Mobility liefert 28 Mireo-Regionalzüge für Baden-Württemberg. Presseinformation vom 10. August 2023 (<https://bit.ly/3UjBHe2>)
- [25] Cyril, G.; Klemens, U.; Pantano, S.; Schneider, D.; Trupp, A.; Waldinger, M.: Nachrüstung von Nebenfahrzeugen für den Digitalen Knoten Stuttgart, DER EISENBAHNINGENIEUR 6/2023 (<https://bit.ly/3qURLLK>)
- [26] Altmann, S.; Cichos, M.; Kopitzki, M.: Anwendung der Fahrdienstvorschrift für den digitalen Bahnbetrieb, Deine Bahn 10/2023 (<https://bit.ly/4bpMJd8>)
- [27] Norwig, B.; Kopitzki, M.; Gütschow, A.-L.: Der Digitale Befehl: Prozessbeschleunigung und Arbeitserleichterung im Betrieb, Deine Bahn 2/2023 (<https://bit.ly/3HmUe6C>)
- [28] Reinhart, P.: Viel mehr Kapazität mit ETCS (& Co.) – aber wie? Tagungsband des Scientific Railway Signalling Symposiums 2023 (<https://bit.ly/3u44wW7>), S. 124 ff.
- [29] Kümmling, M.; Wanstrath, S.: „Digitale“ Kapazitätssteigerungen: ein Sachstand, Eisenbahn Ingenieur Kompendium 2024
- [30] Büker, Th.; Heller, S.; Hennig, E.; Reinhart, P.; Weymann, F.: Zum verkehrlichen Nutzen der Digitalen Schiene Deutschland, DER EISENBAHNINGENIEUR 2/2024
- [31] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: Bekanntmachung der Richtlinie zur Förderung der Ausrüstung von Schienenfahrzeugen mit Komponenten des Europäischen Zugsicherungssystems ERTMS (European Rail Traffic Management System) und des automatisierten Bahnbetriebs (ATO) im Rahmen der infrastrukturseitigen Einführung von ERTMS im „Digitalen Knoten Stuttgart“, Bundesanzeiger, BAz AT 05.02.2021 BZ (<https://bit.ly/3hX5Cjx>), Abschnitt 1 (2)
- [32] McKinsey & Company: Machbarkeitsstudie zum Roll-out von ETCS/DSTW. Zusammenfassung der Ergebnisse. Dezember 2018 (<https://bit.ly/3r2qral>), S. 11 f.
- [33] Drescher, O.: ETCS Level 2 ohne „Signale“ in einem großen Knoten, Deine Bahn 3/2022 (<https://bit.ly/304n5i1>)
- [34] Barth, P.; Eftekhari, M.; El-Hajj-Sleimann, H.; Hoffmann, M. T.; Kümmling, M.; Retzmann, M.; Rohr, F.: ETCS auf der Schnellfahrstrecke Wendlingen – Ulm, SIGNAL+DRAHT 7+8/2023 (<https://bit.ly/3EjQMbo>)
- [35] Göttig, A.; Grimminger, F.; Hirsch, K.; Kamann, V.; Pawlik, T.; Rohr, F.; Sprauer, R.; Stier, K.-E.: Ein Jahr (ETCS-)Betriebsverfahren auf der SFS Wendlingen – Ulm, DER EISENBAHNINGENIEUR 2/2024
- [36] DB Netz: Vorgehen zur nationalen Umrüstung von Fahrzeugflotten. Vortrag auf dem 23. SIGNAL+DRAHT-Kongress, 9. November 2023 (<https://bit.ly/3U8bKDv>)
- [37] Skowron, F.; Treydel, R.: Blöcke waren gestern – Chancen einer zugzentrischen LST, DER EISENBAHNINGENIEUR 11/2022 (<https://bit.ly/3UXNYaH>)
- [38] Eysel, Y.: Methode zur Optimierung einer Blockteilung von ETCS Hybrid Level 3 am Beispiel des Digitalen Knotens Stuttgart. Studienarbeit TU Dresden, 2023 (<https://bit.ly/46ZvZLS>)

- [39] Chavalier, D.; Flöter, C.; Gonzalez-Isabel, J.; Kampschulte, B.; Raichle, F.; Fritzsche, R.; Sane, N.; Wagner, P.: FRMCS-Ausrüstung von 463 Triebzügen für den Digitalen Knoten Stuttgart, SIGNAL+DRAHT 5/2023 (<https://bit.ly/3CS5ZetG>)
- [40] Grundlage: Anteil des Schienenpersonennahverkehrs (einschließlich S-Bahn) an allen Zügen im DKS-Raum gemäß Verkehrsprognose 2030 DT des Bundes. Das übrige Viertel ist Güterverkehr und Schienenpersonenermferverkehr
- [41] Behrens, M.; Eschbach, A.; Kampschulte, B.; Paltian, A.; Schöppach, M.; Wiedenroth, A.: Robuste Leit- und Sicherungstechnik im Digitalen Knoten Stuttgart, DER EISENBAHNINGENIEUR 11/2022 (<https://bit.ly/3hiuOZL>) (Der für die Bausteine 1 und 2 dargestellte GSM-R-Ausrüstungsstand würde in weiten Teilen des Bausteins 3 zur Anwendung kommen.)
- [42] Allianz pro Schiene et al.: Positionspapier der Sektorinitiative FRMCS-Fahrzeugmigration, November 2023 (<https://bit.ly/3HCWuXf>), S. 6
- [43] Dietrich, F.; Meyer, M.; Neuhäuser, R.; Rohr, F.; Vogel, F.; Wenkel, W.: Fahrzeugnachrüstung für den Digitalen Knoten Stuttgart, DER EISENBAHNINGENIEUR 9/2021 (<https://bit.ly/3tFQWUB>)
- [44] Bolay, R.: Haltfallbewertung unter ETCS. Diplomarbeit TU Dresden, 2023 (<https://bit.ly/3NanWz>)
- [45] § 18a (1a) Satz 2 AEG
- [46] Evaluierung der Förderrichtlinie des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr zur Förderung der Ausrüstung von Schienenfahrzeugen mit Komponenten des europäischen Zugbeeinflussungssystems ERTMS (European Rail Traffic Management System) und des automatisierten Bahnbetriebs (ATO) im Rahmen der infrastrukturseitigen Einführung von ERTMS im „Digitalen Knoten Stuttgart“ (<https://bit.ly/457iC61>)
- [47] Behrens, M.; Eckardt, E.; Kümmling, M.; Loef, M.; Otrzonsek, P.; Schleede, M.; von Schaper, M.-L.; Wanstrath, S.: Auf dem Weg zum Digitalen Knoten Stuttgart: ein Überblick, DER EISENBAHNINGENIEUR 4/2020 (<https://bit.ly/3pyuxfg>)



Bernd Lück

Leiter Ausrüstung Digitale Schiene / Gesamtprojektleiter
Digitaler Knoten Stuttgart
GTS Deutschland GmbH, Ditzingen
bernd.lueck@urbanandmainlines.com



Florian Bitzer

Gesamtprogrammleitung
Knoten Stuttgart
DB InfraGO AG, Stuttgart
florian.bitzer@deutschebahn.com



Vincent Blateau

Leiter Engineering
Leit- und Sicherungstechnik
Main Line On-Board
Alstom Transport Deutschland GmbH,
Berlin
vincent.blateau@alstomgroup.com



Frank Dietrich

Programmleiter Fahrzeugumrüstung
ETCS/ATO DB Regio AG
S-Bahn Stuttgart, Plochingen
frank.f.dietrich@deutschebahn.com



Christian Lammerskitten

Leiter Technisches Projektmanagement
Eisenbahntechnische Ausrüstung /
Digitaler Knoten Stuttgart
DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH,
Stuttgart
christian.lammerskitten@deutschebahn.com



Max-Leonhard von Schaper

Leiter Projektmanagement
Planung Südwest, DB Engineering &
Consulting GmbH, Stuttgart
max-leonhard.von-schaper@db-eco.com



Frederik Schmalte

Leiter Technisches
Projektmanagement
Digitaler Knoten Stuttgart Baustein 3
DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH,
Stuttgart
frederik.schmalte@deutschebahn.com



Sandra Schläfke

Projektleitung Automated Rail@DKS
DB InfraGO AG, Berlin
sandra.schlaefke@deutschebahn.com



Thomas Vogel

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



Sven Wanstrath

Projektleiter DKS
DB InfraGO AG, Stuttgart
sven.wanstrath@deutschebahn.com