

Sachstand Digitaler Knoten Stuttgart

Das Pilotprojekt blickt zurück auf ein Jahr, das von wesentlichen Fortschritten und Erkenntnissen geprägt war, aber auch von Verzögerungen und Ungewissheit.

**FLORIAN BITZER | FRANK DIETRICH |
ANDY GRELL | CHRISTIAN LAMMERSKITTEN |
BERND LÜCK | CHRISTIAN SCHUNKE-MAU |
FREDERIK SCHMALLE |
MAX-LEONHARD VON SCHAPER |
THOMAS VOGEL | SVEN WANSTRATH**

Die Infrastrukturausrüstung im Kern des Digitalen Knotens Stuttgart (DKS) sowie die Ausrüstung von 491 Triebzügen (Tz) kommen voran, erfolgen jedoch rund ein Jahr später und in mehr Stufen als ursprünglich geplant. Für die in Planung befindliche Ausrüstung des Umlandes (Baustein 3) wurde im Laufe des Jahres eine Lösung gefunden, mit der die technischen Ausrüstungsziele des DKS erreicht werden können, jedoch zunächst ein Teil des Ausrüstungsbereichs zurückgestellt wird. Insgesamt zeigen sich in der Pilotierung vieler Elemente der Digitalen Schiene Deutschland (DSD) in einem großen Knoten eine große Komplexität auf, aber auch viele Chancen für weitreichende Vereinfachungen. Der nunmehr fünfte Sachstandsbericht [1, 2, 3, 4] fasst wesentliche Entwicklungen und Erkenntnisse aus dem zurückliegenden Jahr zusammen.

Hintergrund

Der DKS (Abb. 1), ein Projekt im Starterpaket der DSD, umfasst insbesondere die „Digitalisierung“ der Leit- und Sicherungstechnik (LST) auf rund 500 Streckenkilometern und – eng darauf abgestimmt – die begleitende Ausrüstung von Fahrzeugen.

Stand des Projekts

Infrastruktur im Kern (Baustein 1 und 2)

Obwohl Hitachi Rail (als Auftragnehmer) und die Deutsche Bahn AG (DB) (als Auftraggeber) in den vergangenen fünf Jahren umfangreiches Know-how, Motivation und Ressourcen in die weitere Konzeption, Planung und Realisierung einbrachten, hatten sich die Komplexität und Vielschichtigkeit der zu lösenden Aufgaben und Herausforderungen als wesentlich umfangreicher als ursprünglich erwartet erwiesen. Dies betrifft allen Dingen voran das Digitale Stellwerk (DSTW), das erstmals in einem großen Knoten und mit vollumfassender, trassenreduzierter Gleisfeldvernetzung umgesetzt wird. [8] Aufbauend auf den bisherigen Erfahrungen der DSTW-Vorserienprojekte [5, 6] war und ist im DKS (neben dem Projekt Mertingen–Meitingen [7]) ein großes Spektrum weiterer grundlegender technischer und

prozessualer Themen erstmalig zu lösen: beispielsweise vielfältige Facetten der Sicherheit, Betriebsführung und Instandhaltbarkeit der Daten- und Energienetze, aber auch Fragen der Zulassung. Eine große Herausforderung lag im Übrigen auch in Entwicklung, Tests und rechtzeitiger Bereitstellung der neuen digitalen Feldelemente und Software.

Als Mitte 2023 absehbar wurde, dass erste geplante Inbetriebnahmen (IBN) von DSTW und European Train Control System (ETCS) in Teilbereichen gefährdet waren, wurde die ohnehin enge Zusammenarbeit von DB und Hitachi Rail neu strukturiert und vertieft: Im Rahmen der integrierten Zusammenarbeit (iZ) [4] wurde zunächst versucht, die größten IBN (S-Bahn-Stammstrecke und Stuttgart 21) zu ermöglichen. Dabei wurden auch unkonventionelle Übergangslösungen diskutiert: beispielsweise ein Anlaufbetrieb zwischen Stuttgart und Wendlingen (/Ulm) mit wenigen Blöcken. Aber im Lichte der Fülle der Klärungs-, Entwicklungs- und Zulassungsthemen wurden derartige Überlegungen verworfen und alle Kräfte auf die konzentrierte, schrittweise Umsetzung der Ziellösung fokussiert (Tab. 1).

Nach umfangreichen Abstimmungen legte die DB im Juni 2024 einen neuen Zeitplan für die LST- und weiteren Infrastruktur-IBN in

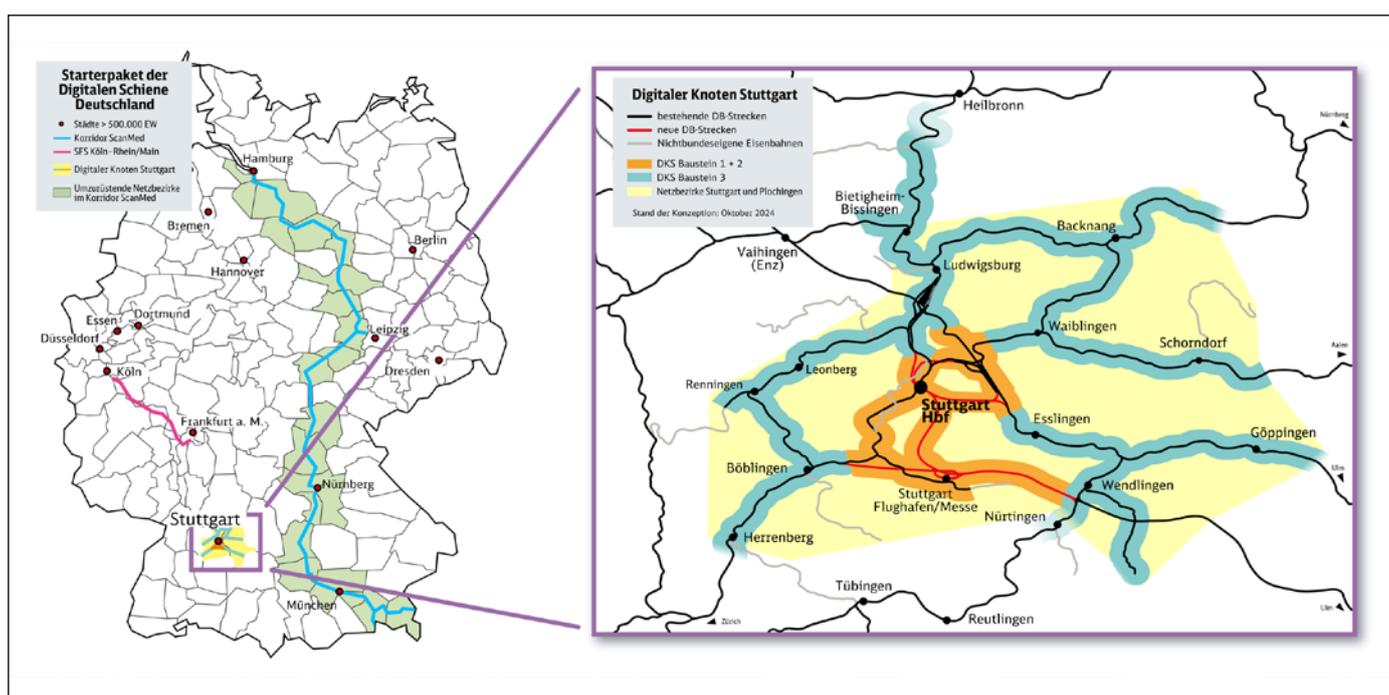


Abb. 1: Die Infrastruktur des DKS umfasst (gelb) die Netzbezirke Stuttgart und Plochingen, reicht aus technischen Gründen aber teils auch darüber hinaus.

Quelle aller Abb.: Deutsche Bahn

Hitachi-Systemversion (Release)	1.1	1.2	2
Ziel	Basisbetrieb Fernbahn (2025/2026)	Kommerzieller Betrieb (2026)	Weitere Funktionen (2027)
Einige wesentliche Elemente	<ul style="list-style-type: none"> IBN mit DSTW, mit Feldelement-Anschlusskästen (FEAK) [8] Leit- und Bediensystem (LBS) [9] ETCS inkl. RBC-Übergang zu Siemens-RBC 	<ul style="list-style-type: none"> Dispositive Zufahrtsicherung [10] Aufstarten mit Zugnummernmeldeanlage ATO-Anbindung Feldelementanschlussschranke (FEAS) [8] Einzelzugstraße [11] 	<ul style="list-style-type: none"> Integriertes Leit- und Bediensystem (iLBS) [12] mit SCI-CC-Schnittstellen Kuppelfahrstraße [11]
ETCS-Lastenheft-Version (BTSF3)	3.0, basierend auf ETCS-Baseline 3 MR 1 (SRS 3.4.0)		3.2, basierend auf ETCS-Baseline 3 R2 (SRS 3.6.0)

Tab. 1: Wesentliche Funktionen von Stellwerken und RBC in den Releases von Hitachi

den DKS-Bausteinen 1 und 2 vor. [13] Sie sollen nunmehr in Schritten zwischen Oktober 2025 und Dezember 2026 in Betrieb gehen (Abb. 2). Bereits für Mitte 2025 sind im Abschnitt Stuttgart–Wendlingen/Rübholz Hochstastfahrten (ohne ETCS) sowie Testfahrten für den Übergang zwischen den ETCS-Zentralen (Radio Block Centre – RBC, bei Wendlingen) vorgesehen. Inzwischen ist die technische Ausrüstung des Technik- und Bedienstandorts (TSO/BSO) Waiblingen [14] weit gediehen, wurden zahlreiche Feldelemente (wie Feldelement-Anschlusskästen – FEAK, Achszähler und Tafeln – Abb. 3) aufgebaut und ist die Systemintegration im Gang.

Fahrzeugausrüstung (Baustein 1 und 2)

Die Fahrzeugausrüstung, die ein integraler Bestandteil des DKS ist und weit über bloßes ETCS hinausgeht [15, 16, 17], war 2024 insbesondere von der anlaufenden Serienausrüstung der S-Bahn-Baureihe (BR) 430 geprägt. Daran arbeiten gleichzeitig Alstom (Vil-

neue) und die DB Fahrzeuginstandhaltung (DB Fzl, in Nürnberg und Hagen), parallel läuft ein Redesign. [4] Nach einigen Anlaufschwierigkeiten und der Gelegenheit, infolge der späteren Infrastruktur-IBN die Serienausrüstung zu optimieren sowie weitere Erkenntnisse aus der First-of-Class-Ausrüstung (FoC) einfließen zu lassen, traf der erste fertige Tz am 8. November 2024 in Plochingen ein (Abb. 4) [18]. Für die Umrüstung wurden 2024 insgesamt 41 Tz bereitgestellt, ab 2025 stehen 30 Tz parallel bereit. Ermöglicht wurde dies durch die mit dem Aufgabenträger vereinbarte Beschaffung 58 zusätzlicher Tz der BR 430.2, die für Angebotsausweitungen eingesetzt werden sollen. [19] Nach umfangreichen Labortests von Alstom und Hitachi Rail hatte bereits am 16. Oktober 2024 ein FoC-Tz auf der Strecke Berlin–Dresden den Nachweis der Fahrzeug-Strecke-Systemkompatibilität (ESC [20]) erbracht, womit die neue EVC-3-Plattform von Alstom [16] erstmals im DB-Netz zugelassen wird. [21]

Die Züge wurden in einem Guss mit der notwendigen Hardware insbesondere für ETCS und Automatic Train Operation Grade of Automation 2 (ATO GoA 2) ausgerüstet – lediglich für FRMCS sind später noch Komponenten nachzurüsten. [22] Die Technik wird schrittweise, über mehrere Funktionsstufen (Releases) in Betrieb gesetzt und zugelassen: zunächst Genehmigung für Fahrgastbetrieb (mit punktförmiger Zugbeeinflussung (PZB), ohne aktives ETCS, ab Ende 2024), dann für Fahrgastbetrieb mit ETCS (geplant für Mitte 2025), später für Fahrgastbetrieb mit ETCS und ATO GoA 2 sowie schließlich mit Zugintegritätsüberwachung (TIMS), FRMCS und ETCS gemäß Baseline 4.

Von Anfang 2025 an beginnt die Serienausrüstung der Regional-Tz und der S-Bahn-Baureihe 423. Die Züge erhalten direkt die für den Fahrgastbetrieb notwendige Software, die Zulassung wird entsprechend beantragt, wobei auch hier weitere Releases schrittweise folgen. Darüber hinaus beschafft das Land 130 ab Werk

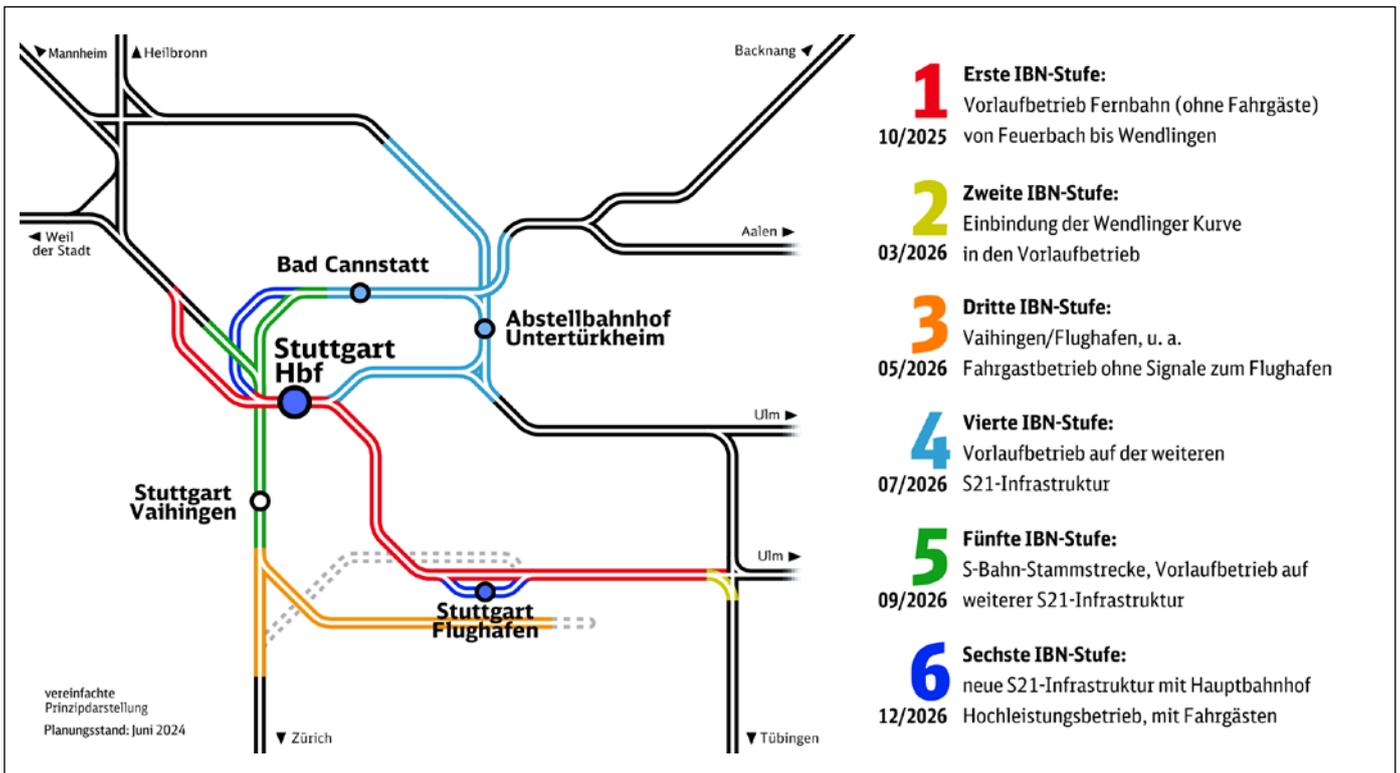


Abb. 2: Wesentliche Inbetriebnahme-Stufen im Kern des Knotens



Abb. 3: Bauzug auf der S-Bahn-Stammstrecke im September 2024, mit abgedeckten ETCS-Halttafeln (links, Rücken an Rücken) und Lichthauptsignal (rechts)

für die DSD ausgerüstete Regionaltriebzüge und mehrere Ersatzfahrzeugflotten. [23, 24] Die Fahrzeug- und Infrastrukturausrüstung mit ETCS und ATO GoA 2 ist im Übrigen die Grundlage, um im Rahmen des Projekts „Automated Train“ [25] 2025 einen Tz (430 236) mit Sensorik

für Hinderniserkennung (Perception) auszurüsten und 2026 umfangreiche Video- und Aufnahmefahrten durchzuführen. In einer weiteren Studie [26] werden auch weitere Elemente des vollautomatisierten Betriebs (ATO GoA 4) auf der Flughafenstrecke bewertet.

Weitere Infrastruktur (Baustein 3)

Auch der Baustein 3, in dessen Rahmen der DKS-Ausrüstungsbereich ausgedehnt (Abb. 1) wird, weitere Techniken eingeführt werden und zudem Fahrzeuge entsprechend auszurüsten sind [27, 28], war von Höhen und Tiefen geprägt. Während die Planung, mit rund 150 Mitarbeitenden, vorankam, wurde um die Finanzierung der Umsetzung gerungen und dabei die Ausrüstung von zwei der sechs Planbereiche (PB) zurückgestellt (Abb. 5).

Die von DB E&C vorangetriebene Vorplanung (VP) wurde für den PB 1 im Dezember 2024 abgeschlossen, für den PB 2 ist sie weit fortgeschritten. Die PB 5 und 6 befinden sich in der Grundlagenermittlung, mit dem Ziel, die Vorplanung bis Ende 2025 abzuschließen. Alle weiteren Planungs- und Realisierungsphasen in den vier PB erfolgen dann ab Anfang 2026 in der im Rahmen des Partnerschaftsmodells Schiene zu schließenden Allianz. [4, 27] Weiter fortgeschritten ist die Planung der TSO und BSO, für die Ende 2024 Planrechtsverfahren beantragt werden sollen, sowie von Bahnübergängen, die teils ebenfalls Planrechtsverfahren erwarten lassen. Die Planung läuft teilweise parallelisiert, beispielsweise werden in den PB 5 und 6 Grundlagen ermittelt, bevor vollumfängliche Verkehrliche und Betriebliche Aufgabenstellungen vorliegen. Für einen Teil



Abb. 4: Einer der ersten umgerüsteten Serientriebzüge der Baureihe 430, am 15. November 2024 in Plochingen

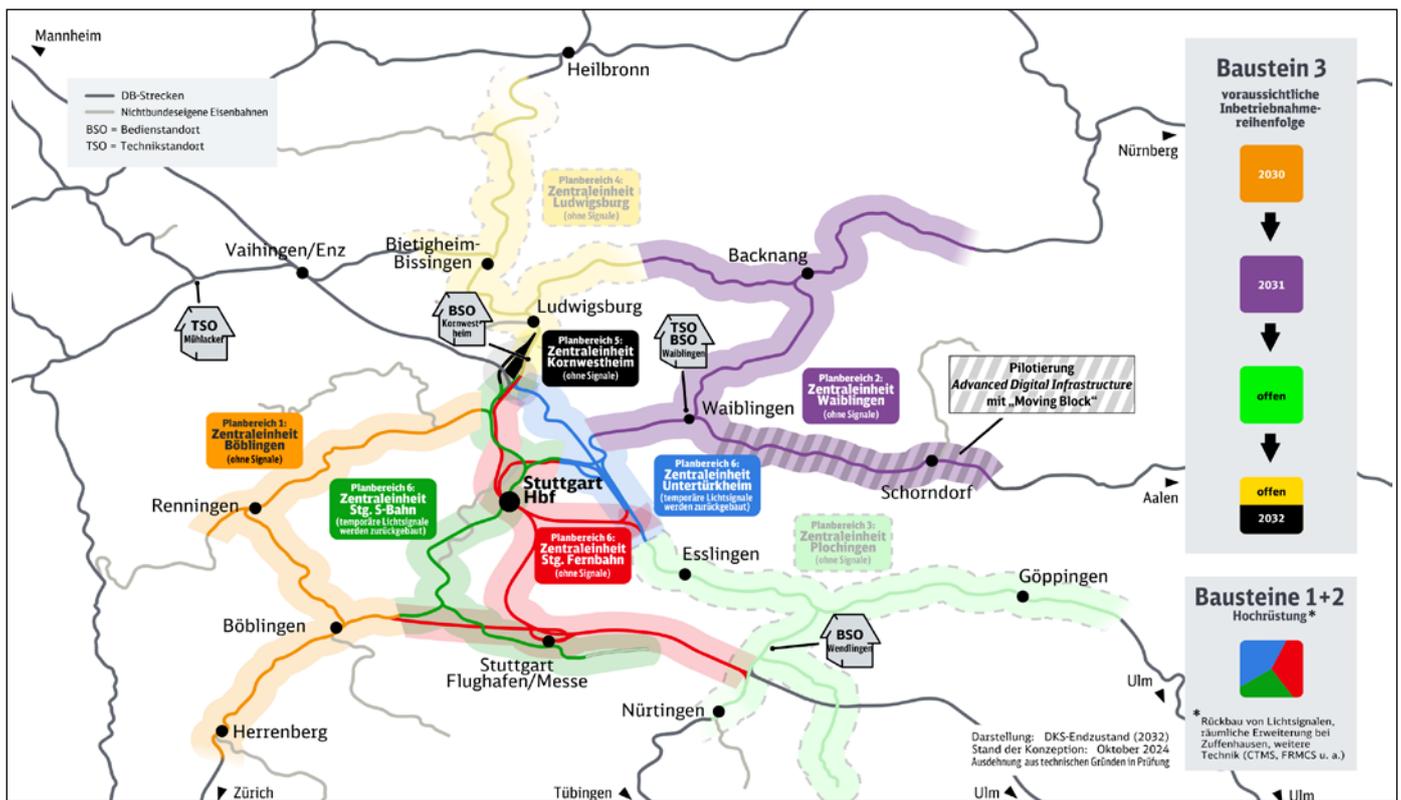


Abb. 5: Bei der Realisierung des Bausteins 3 werden die Planbereiche 3 (hellgrün) und 4 (gelb) zunächst zurückgestellt.

des PB 2 wird auch die Pilotierung der zugorientierten Sicherungstechnik (Advanced Protection System, APS) [29], als Teil der Advanced Digital Infrastructure (ADI) [30], vorbereitet (Abb. 5).

Während die Planung auf Grundlage einer 2022 abgeschlossenen Finanzierungsvereinbarung (FinVe) erfolgt [31], blieb die Finanzierung der Realisierung zunächst offen. Eine dazu im Dezember 2023 mit dem Bund geschlossene erste FinVe [32] konnte, infolge des Urteils des Bundesverfassungsgerichts zum Klima- und Transformationsfonds [33], von der DB nur unter Vorbehalt gezeichnet werden. Im Ergebnis von vielschichtigen Diskussionen wurde zwischen Bund und DB die in Abb. 5 dargestellte Lösung entwickelt: Die PB 3 und 4 werden zurückgestellt, die übrigen Elemente des Bausteins 3 (vier PB, TSO/BSO sowie die Pilotierung verschiedener Techniken) dafür in die Umsetzung gebracht. Die letzten formalen Schritte waren hierzu bei Redaktionsschluss im Gang. Parallel läuft das Vergabeverfahren an. [27, 34] Auch aufgrund der Erfahrungen aus den Bausteinen 1 und 2 sind im Baustein 3 eine besonders enge Zusammenarbeit sowie ein früher Beginn notwendiger (Weiter-)Entwicklungen vorgesehen. Eine zentrale Herausforderung ist dabei, auf der Grundlage des (auch dem Volumenvertrag zugrunde gelegten [35]) „Basis-Release Plus“ neue Elemente, wie ADI/APS oder die neue Fahrdivestvorschrift [36], in die Anwendung zu bringen.

Erste bauliche Maßnahmen, insbesondere Baufeldfreimachung TSO/BSO, sind von 2026

an vorgesehen, größere Ausrüstung im Feld ab 2027 (auch im Windschatten anderer Maßnahmen). Die erste IBN (PB 1) soll nunmehr 2030 erfolgen, die übrigen PB folgen von 2031 an (Abb. 5).

Wesentliche Erfahrungen

Aufwand und Komplexität

Die bisherigen Erfahrungen mit der Infrastruktur- und Fahrzeugausrüstung unterstreichen deutlich, dass die verfolgten Ansätze zwar unter den besonderen Bedingungen eines Pilotprojekts insgesamt machbar und richtig, für eine flächenhafte Einführung aber noch erheblich zu verbessern und zu verschlanken sind:

Ein wesentliches Element ist dabei die schrittweise und weitestmögliche Reduktion von Außenanlagen der LST-Infrastruktur. Eine konsequente ETCS-Ausrüstung „ohne Signale“, mit der auch der DSTW-Verkabelungsaufwand massiv gesenkt werden kann [37], ist dafür die Grundlage. Weitere Ansatzpunkte liegen u. a. in einer vereinfachten Umsetzung von ETCS Level 2 (z. B. verschlankte Balisenteppiche [37], Abb. 6) und Funkstandorten für GSM-R und FRMCS [4, 38].

Eine zentrale Ursache für die bisherige Komplexität sind die zum Einsatz kommende technische Vielfalt (Stellwerksgenerationen und -typen, Zugbeeinflussungssysteme und ETCS-Ausrüstungsvarianten, Bahnübergänge ...) und die damit einhergehenden althergebrachten, sehr umfassenden Regeln. Eine andere Ursache ist aber auch die heterogene Fahrzeugausrüs-

tung, die sich an Mindestanforderungen (Netzzugang) orientiert. Die Komplexität schaukelt sich weiter hoch, wenn beispielsweise ETCS eine komplexe Haltfallbewertung [39] an jedem Blockkennzeichen und damit zusätzliche Balisen erfordert. Aus deren dichter Folge wird wiederum eine Fahrzeuganforderung [40] abgeleitet, die dann nachzuweisen, in Netzzugangsbedingungen zu verankern und nachzuhalten wäre. Im Betrieblich-Technischen Zielbild (BTZ [41]), mit der im Rahmen der DSD verfolgten einheitlichen Architektur (DSTW, ETCS L2oS) einer ganzheitlich koordinierten, grundlegenden Überarbeitung von Lastenheften und Sicherheitsnachweisen sowie der neu gefassten Fahrdivestvorschrift (Richtlinie 400), liegen dabei gewaltige Chancen für eine Vereinfachung von Planung, Ausrüstung und Betrieb. [42]

Auch die Planung an sich soll, insbesondere mit Building Information Modeling (BIM) und D3iP [43], wesentlich vereinfacht werden. Im Baustein 3 wird bereits in der frühen Planung ein umfangreiches BIM-Modell aufgebaut, das beispielsweise mit den Daten aus Befahrungen und Befliegungen [44], Aufnahmen von Kabelbeständen und Kampfmittelsondierungen gespeist wird und auch für weitere Zwecke zur Verfügung steht. In der zunehmend durchgängig digitalen Datenhaltung und einer darauf aufbauenden Teilautomatisierung der LST-Planung [44, 45] sollen letztlich in kürzerer Zeit und mit weniger Aufwand bessere Lösungen erreicht werden. Auch begleitende Anwendungen (wie Simulationen) sollen möglichst aus

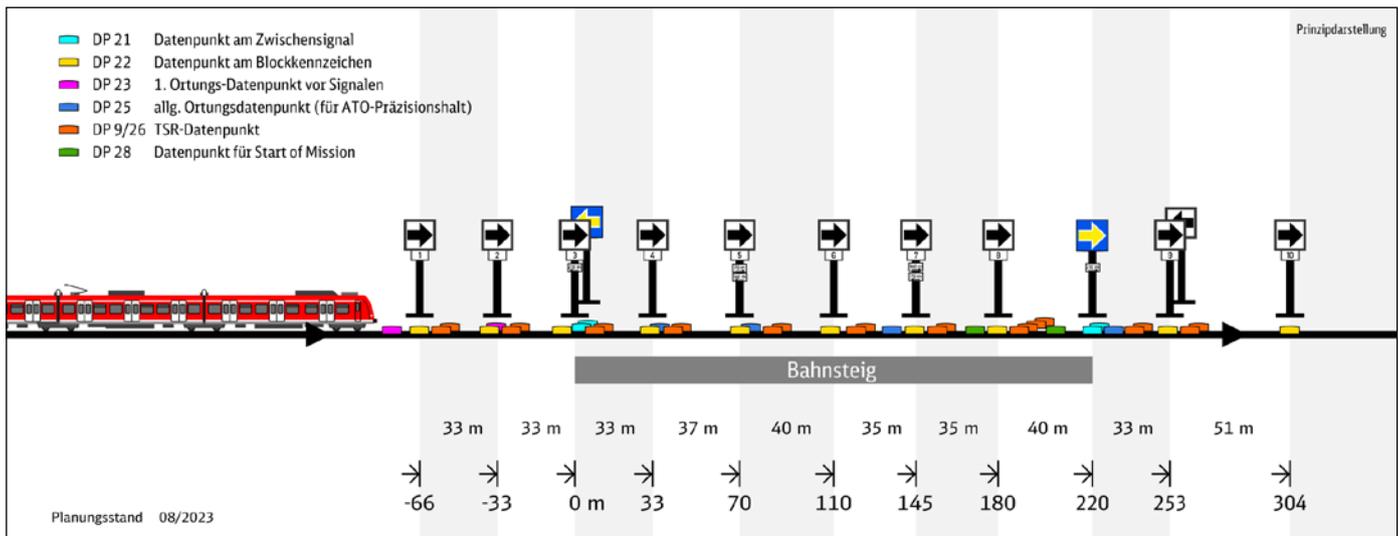


Abb. 6: Die aufwendige Umsetzung von ETCS im DB-Netz manifestiert sich u. a. in Balisenteppichen.

einer zentralen LST-Planungsdatenbank (mit PlanPro-Daten) gespeist werden. [44, 46, 47] Auch prozessual bleibt viel zu tun: So wurde für die IBN von DSTW mit ETCS (u. a. gemäß Sektorleitlinie [48] und CENELEC-Normen) zunächst ein Zeitbedarf von bis zu vier Wochen angesetzt, selbst wenn lediglich ein neues Release eingespielt wird. Insbesondere in einer Bestandsinfrastruktur ist dies untragbar. Im Rahmen der iZ wird auch daran gearbeitet, den Zeitbedarf massiv zu verkürzen, indem pragmatische Lösungen gesucht und Möglichkeiten wie weitreichende Labortests einbezogen werden sowie eine beschleunigte Umsetzung nationaler und europäischer Vorgaben angestrebt wird. [49]

Bei der Fahrzeugnachschrüstung erweisen sich viele organisatorische und vertragliche Schnittstellen als anspruchsvoll. So rüsten beispielsweise teils Alstom, teils DB FzL die S-Bahnen nach, während im Regionalverkehr u. a. tief in laufende Verkehrsverträge eingegriffen wird und zahlreiche Ersatzfahrzeuge für unterschiedlichste Fahrzeugtypen organisiert werden. [4, 50] Mit einer vorausschauend und verlässlich geplanten und übergreifend (mit der Infrastruktur) koordinierten Fahrzeugnachschrüstung, die u. a. auch Verkehrsverträge, Neufahrzeuge und Ersatzfahrzeugflotten im Blick hat, lässt sich der Aufwand deutlich reduzieren. [42, 50]

Aus der Fahrzeugausrüstung, die sich nicht nur auf bloße Mindestanforderungen beschränkt, ergeben sich weitere große und bereits vielfach berichtete [4, 38, 42] Potenziale für eine einfachere Infrastruktur, die weit über den Verzicht auf Lichtsignale hinausgehen: So führt die (mit wenig Mehraufwand [17] mitbeauftragte) zweistufige FRMCS-Ausrüstung vieler Tz [22, 24] nun dazu, dass auf einen umfassenden GSM-R-Ausbau (für ETCS) im Baustein 3 verzichtet und der Fokus auf FRMCS gerichtet werden kann. [51] Damit wird nicht nur ein mittlerer zweistelliger Millionen-Euro-Betrag eingespart, sondern es werden auch erhebliche Risiken [52] vermie-

den. In dem 2032 in Betrieb zu nehmenden Pfaffensteigtunnel wird (erstmalig im DKS) angestrebt, auf GSM-R gänzlich zu verzichten und ausschließlich mit FRMCS in Betrieb zu gehen. [53] Dies könnte wiederum zu erheblich vergrößerten Reichweiten und somit noch weniger notwendigen Funkstandorten führen. [4]

Kapazität und Leistungsfähigkeit

Über die weitreichenden Erfahrungen zur „digitalen“ Kapazitätsoptimierung, die weit über die optimierte Blockteilung oder auch das Gewerk LST hinausgeht, wurde auch im vergangenen Jahr umfassend berichtet. [54, 55, 56, 57]

In den vergangenen Monaten wurden die von Hitachi Rail zugesagten stark verkürzten Systemlaufzeiten der Infrastruktur [58], die dank einer neuen Hardwareplattform und vielschichtiger Optimierungen ermöglicht werden, in Ende-zu-Ende-Labortests sowie (für ETCS) auch im Feld (ETCS-Inbetriebnahme im unteren Rheintal) erhärtet. Zusammen mit weiteren Optimierungen (Fahrzeuge und Funk) rücken damit bis zu 2 Sekunden kurze Ende-zu-Ende-Laufzeiten in Reichweite – bis zu 12 Sekunden kürzer als noch in der S-Bahn-ETCS-Untersuchung von 2018 (konservativ) unterstellt. [54]

Auch die Notwendigkeit und der Nutzen des Verkehrsmanagementsystems CTMS [59] traten noch deutlicher zutage, und dies über die bislang im Fokus stehenden Funktionen „steuernder Durchgriff“ (auf Stw und auf Triebfahrzeuge via ATO GoA 2) sowie bessere Disposition hinaus. Bis zum Beginn der Entwurfsplanung für den Baustein 3 gilt es, eine belastbare Perspektive für die Einführung von CTMS zu schaffen, um insbesondere die seit Jahrzehnten bekannten [60] Restriktionen der Blockteilung (rund 5 % verlorene Netzkapazität! [54, 61]) endlich aufzulösen und möglichst restriktionsfrei planen zu können. Zu den vielen weiteren Facetten, die letztlich von CTMS mit weniger Aufwand besser und effizienter

als heute gelöst werden könnten, zählen die punktgenaue Einschaltung von Bahnübergängen [62], eine vorausschauende Abfertigung [54] sowie die Berücksichtigung von Grenzlasten besonders schwerer Züge.

Resümee und Ausblick

Der Baustein 3 ist Voraussetzung, um wesentliche Ziele des Pilotprojekts DKS [63] zu erreichen. Der unter schwierigen Randbedingungen gefundene Kompromiss ebnet nun den weiteren Weg, weitere Elemente der DSD wie geplant zu pilotieren. Für die grundlegenden weiteren Entwicklungen von ADI/APS, CTMS und FRMCS muss, unter herausfordernden budgetären Randbedingungen, noch die Finanzierung abgesichert werden.

Die bei einem Pilotprojekt naturgemäß a priori nur näherungsweise einzuschätzende Komplexität der diversen Erstanwendungen und die daraus entstehenden Folgen (z. B. umfangreiche Schienenersatzverkehre für DSTW-Kabelarbeiten [64]) führten auch dazu, dass sich die erwarteten Kosten für die rund 125 Streckenkilometer umfassende LST-Infrastruktur der Bausteine 1 und 2 in den vergangenen fünf Jahren auf rund 950 Mio. EUR verdoppelten. [65, 66] Eine flächenhafte Ausrüstung, bei der zudem die Fahrzeuge zu berücksichtigen sind, wäre zu solchen Kosten wohl kaum tragbar. Für dieses Lehrgeld wird gleichwohl nicht nur weitreichender betrieblicher und verkehrlicher Nutzen geschaffen (z. B. Kapazität) [54, 56], sondern es werden auch zahlreiche Vereinfachungen und Verbesserungen hervorgebracht – nicht nur für viele weitere Projekte, sondern auch für den Baustein 3.

In der zunächst zurückgestellten weiteren Realisierung der PB 3 und 4 liegen insofern durchaus auch herausragende Chancen, weitere wesentliche Vereinfachungen zur Anwen-dungsreife zu bringen und umzusetzen: beispielsweise ein weitreichender Verzicht

auf Achszähler (durch ADI/APS mit Moving Block), ein deutlich vereinfachtes Funknetz (ausschließlich FRMCS, teils bei 900 MHz) und auch ein vereinfachtes ETCS (u.a. ohne Balisenteppiche [67]) – basierend auf einer durchgehend digitalen und in hohem Maße teilautomatisierten Planung und Betriebsführung sowie einem schlanken betrieblichen Regelwerk. Es wäre eine Eisenbahn, die im Vergleich zu heute in vielerlei Hinsicht in kürzerer Zeit, mit weniger Personal- und Sachaufwand (viel) mehr erreichen könnte. ■

Das Projekt wird kofinanziert von der Europäischen Union.



QUELLEN

- [1] Behrens, M.; Eckardt, E.; Kümmling, M.; Loef, M.; Otrzonek, 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)
- [2] Bitzer, F.; Bateau, V.; Lammerskitten, C.; Lück, B.; Neuhäuser, N.; Vogel, T.; Wurmthaler, J.: Quo vadis Digitale Leit- und Sicherungstechnik? DER EISENBAHNINGENIEUR 11/2021 (https://bit.ly/3Hv72X6)
- [3] Beyer, M.; Bateau, 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/3Rc9CFR)
- [4] Bitzer, F.; Bateau, V.; Dietrich, F.; Lammerskitten, C.; Lück, B.; Schmalde, F.; Schläpke, S.; Vogel, T.; von Schaper, M.-L.; Wanstrath, S.: Der Digitale Knoten Stuttgart zwischen Licht und Schatten, DER EISENBAHNINGENIEUR 3/2024 (https://bit.ly/3PBmr6v)
- [5] Zum Hintergrund: Spies, N.; Klein, M.; Schurig, J.; Schuhknecht, Th.: Planung der Vorserienprojekte Digitale Stellwerke bei der Deutschen Bahn, SIGNAL+DRAHT 9/2019
- [6] Zum Hintergrund: Müller, R.: Digitale Stellwerke tragen die Digitalisierung der Bahn, Eisenbahn Ingenieur Kompendium 2021 (https://bit.ly/49V4xN)
- [7] Hierzu erscheint in SIGNAL+DRAHT 4/2025 ein gesonderter Artikel
- [8] 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/41Mkqbg)
- [9] Exemplarisch: Pohlmann, T.; Heuer, V.: Innovative Integrierte Bedienung für RBC und Stellwerke, SIGNAL+DRAHT 4/2015
- [10] 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/3hiu0ZL)
- [11] Barth, P.; Behrens, M.; Kümmling, M.; Mehnert, S.; Nenke, T.; Pieper, W.; Retzmann, M.; Trinckauf, J.: Innovationskooperation zur LST-Infrastruktur im Digitalen Knoten Stuttgart, SIGNAL+DRAHT 7+8/2022 (https://bit.ly/3PR8NRF)
- [12] Wiedenroth, A.: Integriertes Leit- und Bediensystem der DB InfraGO – Bediensystem mit Zukunft, SIGNAL+DRAHT 9/2024 (https://bit.ly/4f5Nvkf)
- [13] DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH: Lenkungsreis Stuttgart 21, Foliensatz vom 11. Juni 2024 (https://bit.ly/48KQWXY), S. 4 bis 11
- [14] Bandmann, B.; Beck, M.; Behlen, K.; Hoffmann, M. T.; Lorch, Z.: Der Technik- und Bedienstandort Waiblingen, DER EISENBAHNINGENIEUR 6/2024 (https://bit.ly/46a0kCS)
- [15] Dietrich, F.; Meyer, M.; Neuhäuser, R.; Rohr, F.; Vogel, T.; Wenkel, W.: Fahrzeugrüstung für den Digitalen Knoten Stuttgart, DER EISENBAHNINGENIEUR 9/2021 (https://bit.ly/3fQWUW)
- [16] 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/3DHzIOS)
- [17] Dietrich, F.; Molterer, L.; Philippsen, F.; Reinhart, P.; Schunke-Mau, C.; Vogel, T.; Wester-Ebbinghaus, H.: Förderung der DSD-Fahrzeugrüstung im Digitalen Knoten Stuttgart, DER EISENBAHNINGENIEUR 4/2023 (https://bit.ly/3N24h5o)
- [18] Hierzu folgt vsl. im März 2025 noch ein ausführlicher Bericht in der „Eisenbahn-Revue International“.
- [19] Verband Region Stuttgart: Großer Wurf für Schienenknoten Stuttgart. Pressemitteilung, 30. Januar 2019 (https://bit.ly/3YW4Gvq)
- [20] https://www.dbinfra.go.com/web/schiennetz/etcs/anforderungen/etcs-systemkompatibilitaet-11089652, zuletzt abgerufen am 8. November 2024
- [21] ESC-Typ ESC-DE-02-BL3-L2 gemäß https://www.era.europa.eu/era-folder/de
- [22] 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/3CSZet6)
- [23] Druckenbrod, C.; Glass, T.; Klust, M.: Neue Doppelstocktriebzüge für den Digitalen Knoten Stuttgart, DER EISENBAHNINGENIEUR 2/2023 (https://bit.ly/3HD0M1c)
- [24] Eckhardt, M.; Glaß, T.; Vogel, T.: Erfahrungen mit der Digitalen Schiene Deutschland in Baden-Württemberg, DER EISENBAHNINGENIEUR 6/2024 (https://bit.ly/4CQKLT3)
- [25] https://digitale-schiene-deutschland.de/de/aktuelles/2023/foerderbescheid-vollautomatisiertes-fahren, zuletzt abgerufen am 8. November 2024
- [26] Verband Region Stuttgart: Sitzungsvorlage VA-343/2024 (https://bit.ly/3AKymSW), S. 5
- [27] DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH: Digitaler Knoten Stuttgart, Baustein 3: Marktinformation. Foliensatz vom 10. Oktober 2024 (https://bit.ly/3Uywf6F)
- [28] Dietrich, F.; Meyer, M.; Neuhäuser, R.; Rohr, F.; Vogel, F.; Wenkel, W.: Fahrzeugrüstung für den Digitalen Knoten Stuttgart, DER EISENBAHNINGENIEUR 9/2021 (https://bit.ly/3fQWUW)
- [29] Skowron, F.; Treydel, R.: Blöcke waren gestern – Chancen einer zugzentrischen LST, DER EISENBAHNINGENIEUR 11/2022 (https://bit.ly/3UXNVah)
- [30] Leuteritz, J.; Schiffmann, F.; Schneider, P.: Advanced Digital Infrastructure – betriebliche Szenarien für einen robusten Bahnbetrieb der Zukunft, Eisenbahntechnische Rundschau 7/2024 (https://bit.ly/3YL6gZ5)
- [31] 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 (https://bit.ly/48HUgmb)
- [32] 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.)
- [33] Bundesverfassungsgericht: Zweites Nachtragshaushaltsgesetz 2021 ist nichtig. Pressemitteilung Nr. 101/2023 vom 15. November 2023 (https://bit.ly/3AvHLx0)
- [34] DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH: Marktdialog Digitaler Knoten Stuttgart, Baustein 3. Foliensatz vom 12. November 2024 (https://bit.ly/3ZJXvW)
- [35] Erster Volumenvertrag bei digitaler LST, DER EISENBAHNINGENIEUR 8/2023
- [36] Altman, S.; Cichos, M.; Kopitzki, M.: Anwendung der Fahrdienstvorschrift für den digitalen Bahnbetrieb, Deine Bahn 10/2023 (https://bit.ly/4bpMjd8)
- [37] Achilles A.; Behrooz, A.; Beyer, M.; Lehmann, F.; Lies, R.; Schleede, M.; Trenschele, D.; Wanstrath, S.: Die Digitalisierung der S-Bahn-Stammstrecke Stuttgart (Teil 1), SIGNAL+DRAHT 9/2023 (https://bit.ly/46AZFOF)
- [38] Reinhart, P.: Licht und Schatten: Erfahrungen aus dem DKS. Vortrag auf der 26. Eisenbahn-Sachverständigentagung, 23. Februar 2024 (https://bit.ly/3U29kHx), S. 24
- [39] Bolay, R.: Halffallbewertung unter ETCS. Diplomarbeit TU Dresden 2023 (https://bit.ly/3NanwzD)
- [40] Evaluierung der Förderrichtlinie des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr zur Förderung der Ausrüstung von Schienenfahrzeugen mit Komponenten des europäischen Zugbeeinflussungssystems ERTMS (...) im Rahmen der infrastruktureitigen Einführung von ERTMS im „Digitalen Knoten Stuttgart“ (https://bit.ly/457iC61) vom 30. Dezember 2022, u. a. PDF-Seite 185, Anforderung 33091.BR423.AA.310
- [41] Fries, N.: Betrieblich-Technisches Zielbild für die „Digitale Schiene“, Deine Bahn 3/2021 (https://bit.ly/3CH0fIs)
- [42] Schunke-Mau, C.; Vogel, T.: Quo vadis DSD-Fahrzeugrüstung? Eisenbahntechnische Rundschau 6/2024 (https://bit.ly/4bZ4VJI)
- [43] López, J. T.; Bachmann, V.: BIM@DSD: Übergreifende Standardisierung, Eisenbahn Ingenieur Kompendium (https://bit.ly/3AycOUK)
- [44] Berger, F.; Behrens, M.; Falk, M.; Klaus, C.; Nehmsch, H.; Ketzsem, R.; Mayerle, T.; Rupp, F.: Beschleunigung der LST-Planung im Digitalen Knoten Stuttgart, DER EISENBAHNINGENIEUR 11/2023 (https://bit.ly/3GbkV95)
- [45] Grubor, N.; Crespo, A.; Oetting, A.; Kretschmer, E.; Bachmann, V.: Ansatz zur teilautomatisierten kapazitätsoptimierten Blockteilung von ETCS L2oS-Bereichen, Eisenbahntechnische Rundschau 12/2024
- [46] Exemplarisch: Achilles, A.; Narayanan, H.; Nitzschke, H.; Pistol, M.: Digitale Schiene Deutschland – Planungsprozess für Infrastrukturdaten für das hochautomatisierte Fahren, SIGNAL+DRAHT 11/2024 (https://bit.ly/4f4i6ul)
- [47] Vereinbarung zur Finanzierung von Beschleunigungsmaßnahmen im Rahmen der digitalen Schiene. Finanzierungsvereinbarung F 21 Q 0773, vom Dezember 2021 (https://bit.ly/3Y213DD), PDF-Seite 23
- [48] Eisenbahn-Bundesamt: Sektorleitlinie für die Zulassungsbewertung von Signal-, Telekommunikations- und Elektrotechnischen Anlagen. Ausgabe 2.0 vom 27. März 2024 (https://bit.ly/48XV13)
- [49] Lammerskitten, C.; Lück, B.: Neue Erkenntnisse aus der Realisierung des Digitalen Knotens Stuttgart. Vortrag auf dem SIGNAL+DRAHT-Kongress, 7. November 2024 (https://bit.ly/4geajLd)
- [50] Eckhardt, M.; Glaß, T.; Vogel, T.: Erfahrungen mit der Digitalen Schiene Deutschland in Baden-Württemberg, DER EISENBAHNINGENIEUR 6/2024 (https://bit.ly/4CQKLT3)
- [51] Dang, J.: Neue Ansätze in der Funkausrüstung im DKS. Vortrag auf der 22. Tk-Fachtagung des VDEI am 7. Oktober 2024 in Fulda (https://bit.ly/4iok2Ri)
- [52] Thude, U.: Erfahrungen aus der Realisierung des Digitalen Knotens Stuttgart. Beitrag zur 22. Tk-Fachtagung, 7. Oktober 2024
- [53] Berghorn, R.; Berner, T.; Blätzinger, A.; Henzler, L.; Reinhart, P.; Rohrer, M.: Der Pfaffensteigtunnel ist auf dem Weg, DER EISENBAHNINGENIEUR 6/2024 (https://bit.ly/3RVmdQA)
- [54] Kümmling, M.; Wanstrath, S.: „Digitale“ Kapazitätssteigerungen: ein Sachstand, Eisenbahn Ingenieur Kompendium 2024 (https://bit.ly/4cH8Of)
- [55] Büker, Th.; Heller, S.; Hennig, E.; Reinhart, P.; Weymann, F.: Zum verkehrlichen Nutzen der Digitalen Schiene Deutschland, DER EISENBAHNINGENIEUR 2/2024 (https://bit.ly/3SMoME9)
- [56] Bitzer, F.; Kümmling, M.: Der betrieblich-verkehrliche Nutzen des Projekts Stuttgart 21, DER EISENBAHNINGENIEUR 6/2024 (https://bit.ly/3xHzHbU)
- [57] Beyer, M.: Das S-Bahn-Netz in der Region Stuttgart wächst weiter, DER EISENBAHNINGENIEUR 6/2024
- [58] Behrens, M.; Caspar, M.; Distler, A.; Fries, N.; Harde, S.; Kreßner, J.; Lau, K.; Pensold, R.: Schnelle Leit- und Sicherungstechnik für mehr Fahrwegkapazität, DER EISENBAHNINGENIEUR 6/2021 (https://bit.ly/47RFeZl)
- [59] Küpper, M.: Das Capacity & Traffic Management System für die Digitale Schiene, DER EISENBAHNINGENIEUR 10/2023 (https://bit.ly/40BWDmT)
- [60] Deutsche Reichsbahn/Deutsche Bundesbahn: CIR-ELKE (HBL) Planungsgrundsätze. Oktober 1993
- [61] Hernández, L.; Harde, S.: Schaltschnittgrenzen und Bahnübergänge schränken Kapazitätseffekt von ETCS Level 2 ein, SIGNAL+DRAHT 1+2/2023 (https://bit.ly/4cleehO)
- [62] Trenschele, D.; Tietze, M.; Kretschmer, E.; Schindler, D.: ETCS-Planung im Projekt „Elektrifizierung Knappenrode – Horka“, DER EISENBAHNINGENIEUR 4/2024 (https://bit.ly/3CIVpUQ)
- [63] Zusammenfassung siehe https://de.wikipedia.org/wiki/Digitaler_Knoten_Stuttgart#Ziele (zuletzt abgerufen am 19.11.2024)
- [64] Deutsche Bahn: Pilotprojekt Digitaler Knoten Stuttgart. Foliensatz vom 15. März 2023 (https://bit.ly/3YTApxn)
- [65] Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Fraktion der CDU/CSU – Drucksache 20/13493 – Digitaler Knoten Stuttgart (https://bit.ly/3ZIEvIF)
- [66] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: Vereinbarung zur Finanzierung von Planungs- und Baukosten für ETCS/DSTW-Ausrüstung des Starterpakets DSD (Pilotprojekt Digitaler Knoten Stuttgart). Finanzierungsvereinbarung F 08 Q 0770 (https://bit.ly/46EpKYu)
- [67] 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)



Florian Bitzer

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



Frank Dietrich

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



Thomas Vogel

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



Sven Wanstrath

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

**Andy Grell**

Leiter
Systementwicklung integrierte LST
und Echtzeit-Verkehrsmanagement-
system
DB InfraGO AG, Berlin
andy.grell@deutschebahn.com

**Christian Lammerskitten**

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

**Bernd Lück**

GPM Digitaler Knoten Stuttgart (DKS)
Hitachi Rail, Ditzingen
bernd.lueck@urbanmainlines.com

**Christian Schunke-Mau**

Vertriebsdirektor Digitalisierung
Deutschland/Österreich/Schweiz
Alstom Transport Deutschland GmbH,
Berlin
christian.schunke-mau
@alstomgroup.com

**Frederik Schmale**

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

**Max-Leonhard von Schaper**

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

Mit Social Media zur TOP-REICHWEITE



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



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

