

Der Digitale Knoten Stuttgart wird Realität

In der laufenden Umsetzung des Pilotprojekts zeigen sich deutliche Chancen, Risiken und Potenziale für die flächenhafte Umsetzung der Digitalen Schiene Deutschland.

MARTIN BEYER | VINCENT BLATEAU |
FLORIAN BITZER | FRANK DIETRICH |
CHRISTIAN LAMMERSKITEN | BERND LÜCK |
RENÉ RICHTER | CHRISTOPHER RUDOLPH |
THOMAS VOGEL

Während hunderte Mitarbeiter verschiedenster Bereiche der Deutschen Bahn (DB) und ihrer Partner das Pilotprojekt Digitaler Knoten Stuttgart (DKS) unter hoher Betriebstemperatur vorantreiben, mehrten sich die für die flächenhafte Umsetzung der Digitalen Schiene Deutschland (DSD) gewonnenen Erfahrungen: Insbesondere der Verzicht auf eine Doppelausrüstung der Infrastruktur (ETCS mit Ks/PZB) in Verbindung mit einer klug gestalteten, koordinierten und geförderten DSD-Fahrzeugausrüstung werden als Erfolgsfaktoren überdeutlich. Fahrzeug- und Infrastrukturausrüstung müssen dabei unbedingt effizienter werden. Mehr denn je gilt es dabei, das Gesamtsystem Bahn in den Blick zu nehmen – nicht nur, um die betriebliche Leistungsfähigkeit zu maximieren, sondern auch, um ein möglichst effizientes, einfaches und gleichzeitig robustes System zu schaffen.

Hintergrund

Im DKS, einem Pilotprojekt im Starterpaket der DSD, treten die DB und ihre Partner an, erstmals einen großen deutschen Knoten mit Digitalen Stellwerken (DSTW) samt integriertem Leit- und Bediensystem (iLBS), European Train Control System (ETCS) (ohne „Signale“ [1]) und weiteren, darauf aufbauenden Techniken auszurüsten [2]. Damit einhergehend werden 333 S-Bahn- und Regionaltriebzüge für die DSD nachgerüstet und weitere 130 Doppelstock-Regionaltriebzüge „ab Werk“ mit DSD-Fahrzeugausrüstung beschafft [3, 4].

Stand des Projekts

Die maßgeblich an Thales beauftragte Infrastruktur der Leit- und Sicherungstechnik (LST) für den Kern des DKS (Bausteine 1 und 2, Abb. 1) nimmt Kontur an. Im vergangenen Jahr wurden bereits zahlreiche Kabel gezogen und dafür zahllose neue Kabelwege geschaffen, etliche Fundamente erstellt und auch erste Weichenantriebe eingebaut. Parallel startete eine Felderprobung neuer digitaler Komponenten

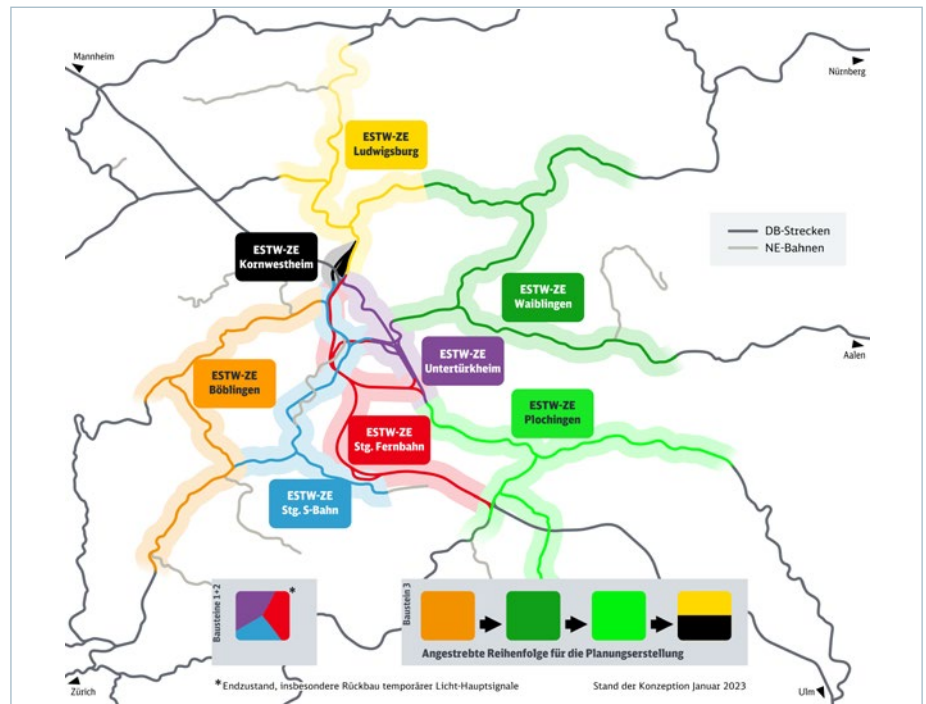


Abb. 1: Im Endzustand wird der DKS voraussichtlich acht Zentraleinheiten (ESTW-ZE) umfassen. In den drei bis 2025 entstehenden Bereichen wird die abschnittsweise noch vorgesehene Doppelausrüstung zurückgebaut.

in Kornwestheim. 2023 werden die Feldelemente ausgebracht, zunächst insbesondere im Bereich Bad Cannstatt/Untertürkheim, in dem das neue DSTW Ende Dezember 2023 (vorübergehend „mit Signalen“) in Betrieb gehen soll, fließend dann auch in den weiteren Bereichen. Damit einher werden auch Gleisfeldkonzentratoren (GFK) und Stromversorgung aufgebaut. Im Sommer 2023 werden die zentralen Komponenten des Stellwerks im Technikstandort (Abb. 2) aufgebaut, anschließend die Elemente im Feld in Betrieb gesetzt und ab Herbst die Funktionsfähigkeit hergestellt, um Ende 2023 abgenommen zu werden. Parallel werden Netzwerke wie bbIP [5] und GSM-R durch die DB auf- und ausgebaut und die IT-Sicherheit hergestellt.

Bei der Nachrüstung von 333 Triebzügen durch Alstom wurde die notwendige Hardware [3] in erste Prototyp-Züge (First of Class, FoC) der Baureihen 423, 430 und Talent eingebaut und wurden Integrationstests Ende 2022 begonnen (Abb. 3). Die Abstimmungen zur Nachrüstung der Flirt-Triebzüge durch Als-

tom gestalteten sich aufgrund von sechs zu koordinierenden Partnern – Aufgabenträger, Ausrüster, Fahrzeugeigentümer, Fahrzeughalter, Instandhalter und Verkehrsunternehmen – besonders aufwendig und sind um rund zwölf Monate verzögert, ohne Auswirkung auf die Inbetriebnahmen des DKS. Die übergeordnete Planung wurde für die übrigen drei Baureihen abgeschlossen, viele zuvor abgestimmte Details wie die Zugdateneingabe oder Ferndiagnose konnten bereits durch die Fahrzeugeigentümer und Verkehrsunternehmen in Augenschein genommen werden. Die ersten Prototypen wurden bereits für Tests wieder in Betrieb genommen. Die Testkampagne mündet dann in der Wiederzulassung der Triebzüge, auf deren Grundlage im Jahr 2024 der Serienumbau begonnen wird.

In gemeinsamen Innovationskooperationen haben Auftraggeber und -nehmer, zusammen mit weiteren Partnern, offene Fragen geklärt und die Lastenhefte ergänzt – beispielsweise zum Hochleistungsblock am Bahnsteig oder zur Ausrüstung von Fahrzeugen mit Zuginte-



Abb. 2: Bedien- und Technikstandort Waiblingen im Bau (Bauzustand 10. Dezember 2022)



Abb. 3: Im Deckenbereich einer S-Bahn der Baureihe 423 eingebauter ETCS/ATO-Fahrzeugrechner (EVC)

gritätsüberwachung (TIMS), standardisierten Schnittstellen (OCORA) und dem GSM-R-Nachfolger FRMCS [6, 7].

Auf all diesen Grundlagen von DSTW, ETCS und diversen Schnittstellen setzen nun zunehmend weitere Systeme und Verfahren auf: Weiterhin wird die Fahrdienstvorschrift (Ril 408) um zusätzliche Regeln für den DKS zur Inbetriebnahme ergänzt. Perspektivisch wird die Fahrdienstvorschrift für den digitalen Bahnbetrieb (Ril 400) ab Dezember 2027 die Ril 408 im DKS ablösen [8]. Damit wird erstmals ein neues Betriebsverfahren für ETCS L2oS eingeführt, um alle Möglichkeiten der neuen Infrastrukturausrüstung ausnutzen zu können. Für Stuttgart Hbf wird ein Abfertungsverfahren „ohne Signale“ für den Fernverkehr entwickelt. [9]

Im Rahmen der von der DSD geplanten weitreichenderen Digitalisierung des Bahnsystems entstehen mit dem Kapazitäts- und Verkehrsmanagementsystem CTMS und des dahinterstehenden zentralen Datenmanagementsystems für Infrastruktur- und Fahrzeugdaten (Digital Register, DR) bereits wesentliche Grundlagen für das hochautomatisierte Fahren mit Automatic Train Operation (ATO) GoA 2 – zunächst für eine einfache, zu ETCS kon-

sistente Datenversorgung, hin zu einer immer weiterreichenden Optimierung und Steuerung des Betriebs der Infrastruktur. Darüber hinaus läuft eine Studie zur Pilotierung zugentzerrter Sicherungslogik (Advanced Protection System, APS [10]) in einem Abschnitt. Diese soll zukünftig u.a. als Grundlage dienen, um die Level-3-Ausrüstung der Fahrzeuge auch in der Infrastruktur nutzbar zu machen. Parallel nehmen auch die Arbeiten für die Ausrüstung des Umlandes (übrige Netzbezirke

Stuttgart und Plochingen – Baustein 3 [2]) weiter an Fahrt auf. Für den Südwestraum (Abb. 1) läuft inzwischen die Vorplanung, wurden bereits umfangreiche Bestandsdaten erhoben, wird ein BIM-Modell gebildet, wurden erste Gespräche mit angrenzenden NE-Bahnen gesucht und Überlegungen zu Lösungsmodellen entwickelt. In weiteren Abschnitten wird die Vorplanung in diesem und im kommenden Jahr beginnen. Für den gesamten Baustein 3 läuft die Planung für Bahnübergänge, die einen besonders großen zeitlichen Vorlauf erwarten lassen. Die Infrastrukturplanung wurde von der DB vorfinanziert, die im Bundeshaushalt hinterlegten Mittel im November 2022 durch das Bundesfinanzministerium entspermt. Noch sicherzustellen ist die mit der durchgehenden Ausrüstung „ohne Signale“ einhergehende Finanzierung der DSD-Fahrzeugausrüstung, insbesondere zahlreicher durch den Ausrüstungsbereich fahrender Lokomotiven des Güterverkehrs.

Wesentliche Erfahrungen

Gleisfeldvernetzung

Die in Ringen aufgebaute und nahezu durchgängig redundante Gleisfeldvernetzung ist ein zentrales unter Dutzenden von Elementen für ein möglichst robustes Gesamtsystem im DKS [3, 11]. Die in der Umsetzung gesammelten Erfahrungen zeigen, wie insbesondere in vorübergehend noch doppelt (ETCS + PZB) [12] ausgerüsteten Bahnhöfen der Verkabelungsaufwand

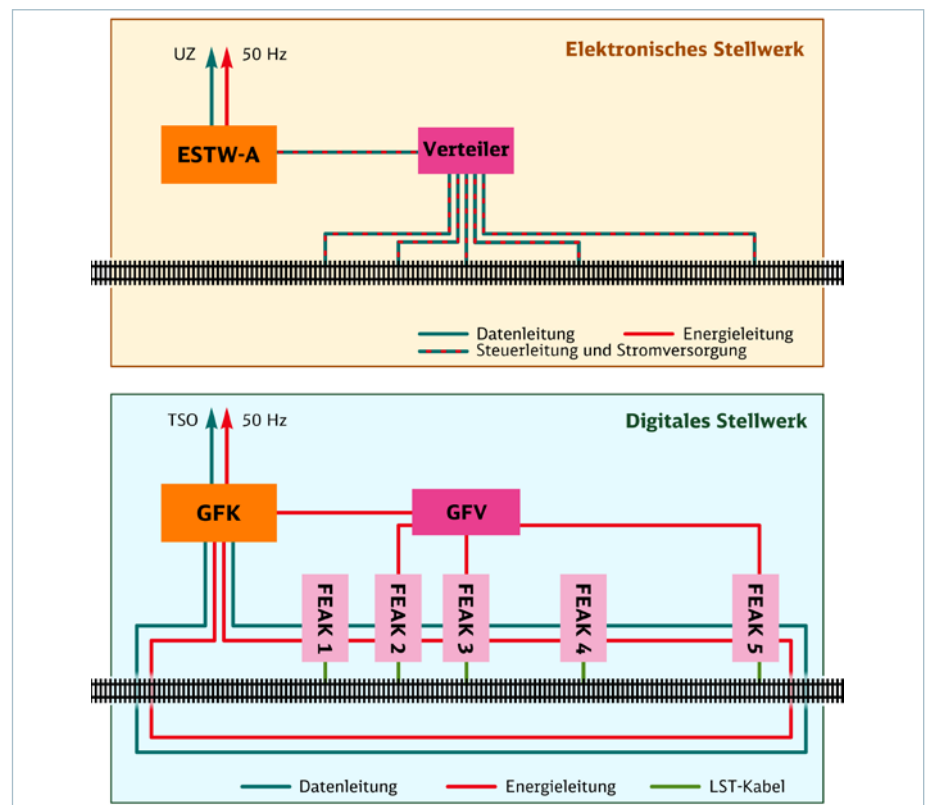


Abb. 4: Die Gleisfeldvernetzung mit DSTW führt insbesondere in Bahnhöfen „mit Signalen“ zu einem gegenüber dem ESTW deutlichen Mehraufwand.

für Strom und Daten ein kaum noch zu beherrschendes Niveau erreicht (Abb. 4). So wird, anders als geplant, im Bahnhof Bad Cannstatt ein zweiter GFK (ähnlich bisherigem ESTW-A) nötig, da die vielen auf einen einzigen GFK einzuführenden Kabel sich unter den beengten Verhältnissen im Bahnsteigbereich nicht mehr unterbringen ließen. Die Doppelausrüstung führt dabei zu einer verdreifachten Kabelmenge, einem Mehraufwand (einschließlich Rückbau) im unteren zweistelligen Millionen-Euro-Bereich und zahllosen zusätzlichen Sperrpausen. Eine Reihe von Optimierungen – darunter die Konzentration vieler Feldelementanschlusskästen (FEAK, für ein Feldelement) zu Feldelementanschlusschränken (FEAS, für mehrere Feldelemente) – wird bereits im Projekt verfolgt, weitere bleiben als Erfahrungen für Folgeprojekte. Die zentrale Erkenntnis der „McKinsey-Studie“ [13] von 2018 wird durch die Erfahrungen im DKS nicht nur bestätigt, sondern dick unterstrichen: Die vorübergehende Doppelausrüstung sämtlicher Triebfahrzeuge ist eine zentrale Voraussetzung, die LST-Infrastruktur mit DSTW und ETCS L2oS vergleichsweise einfach, kostengünstig und schnell zu modernisieren – im Übrigen gelingt es nur damit, die betriebliche Leistungsfähigkeit (wo nötig) zu maximieren [1].

DSD-Fahrzeugnachrüstung

Die laufende Nachrüstung der 333 Triebzüge für den DKS zeigt, wie es gelingen kann, ganze Flotten binnen weniger Jahre nicht nur mit ETCS, sondern – mit geringem Mehraufwand und weitestmöglich in einem Guss – gleich mit weiteren DSD-Techniken wie ATO GoA 2, FRMCS und Level 3/Zugintegritätsüberwachung auszurüsten. Unter anderem aufgrund von verschiedenen Untervarianten sowie Tests in Mehrfachtraktion werden für die vier Baureihen neun FoC-Projekte mit 15 Prototypfahrzeugen umgerüstet, dafür mehr als 18 Monate dem Betrieb entzogen und dies mit Ersatzfahrzeugen kompensiert. Die Seriennachrüstung der übrigen 318 Triebzüge folgt im Wesentlichen im Jahr 2024, die der Flirt-Triebzüge 2025. Wie auch die laufende Evaluierung der pilothaften 200-Millionen-Euro-Förderung [14] des Bundes zeigt, braucht es für die flächenhafte Umsetzung der DSD ein erheblich effizienteres Vorgehen, um die deutschlandweit etwa 13 500 nachzurüstenden Triebfahrzeuge aus mehr als 300 Baureihen verschiedenster Betreiber nachzurüsten. [15] Bei einer gänzlich unkoordinierten Arbeitsweise wäre allein mit an die 1000 FoC-Projekten zu rechnen, käme es zu vielen hundert Vergabeverfahren mit teils parallel laufenden Ausrüstungsprojekten gleicher oder ähnlicher Baureihen (mit teils unterschiedlichen Anforderungen) sowie einer völligen Überforderung ohnehin knapper Ressourcen. Eine zentrale Koordination, einhergehend mit einer klug gestalteten und an differenzierte Bedingungen geknüpften Förderung sowie eine weitestmögliche Bündelung gleicher und ähnlicher Baureihen sind für eine zügige Umsetzung der DSD

ebenso unabdingbar wie möglichst einheitliche und stabile Lastenheftgrundlagen.

Leistungsfähigkeit

Ein wesentliches Ziel des Pilotprojektes ist es, die Potenziale für Leistungssteigerungen in großen Knoten zu ergründen. [14] Die S-Bahn-Stammstrecke in Stuttgart zeigt besonders eindrücklich, wie weit bereits rein „digitale“ Optimierungen tragen können: Aufbauend auf der S-Bahn-ETCS-Untersuchung, die – unter konservativen Prämissen – Anfang 2019 mit ETCS und ATO GoA 2 rund 20 % verkürzte mittlere Mindestzugfolgezeiten erwarten ließ, [16] wurden inzwischen weitere der damals ausgewiesenen Potenziale gehoben: Zusammen mit den als gesichert geltenden Optimierungen – an Blockteilung, Infrastruktur- und Fahrzeuglaufzeiten, Bremskurven und Ortung – liegt die erwartete Verkürzung bei inzwischen rund 35 % [3, 17, 18]. Etliche Potenziale sind noch offen (Abb. 5); weitere Optimierungen zielen rein auf die Betriebsqualität, insbesondere Geschwindigkeitserhöhungen für verspätete Züge. Damit werden in der Planung mittlere Mindestzugfolgezeiten von rund 100 Sekunden je Richtung (mit Langzügen) erreicht. Um die in der Region langfristig gewünschte Angebotsausweitung, mit bis zu 36 Zügen pro Stunde und Richtung in der Stammstrecke, zu erreichen, ist noch etwa die Hälfte der verbliebenen Potenziale zu heben. [20] Der Verband Region Stuttgart (VRS), als Aufgabenträger der S-Bahn, hat zwischenzeitlich von DB Netz ein S-Bahn-Konzept zur Inbetriebnahme von Stuttgart 21 ausarbeiten lassen. Es sieht auf der Stammstrecke zunächst weiterhin 24 Züge pro Stunde und Richtung vor, im südlichen Anschluss daran bis zu vier zusätzliche

stündliche Zugpaare [21]. Im nächsten Schritt wird untersucht, wie die aus der Digitalisierung sukzessive gewonnenen verkürzten Zugfolgezeiten in sinnvolle Fahrplankonzepte umgesetzt werden können [22].

Abseits der Stammstrecke ist das Bild vielschichtiger, können im Lichte von heterogenem Rollmaterial, komplexen Fahrplänen und Mischverkehren keine einfachen Prozentangaben getroffen werden. Auch das Spektrum der Chancen und Grenzen für die Leistungsfähigkeit liegt anders: 2022 wurde beispielsweise die Einfahrt ins teilbesetzte Gleis mit 40 statt 20 km/h spezifiziert [23], während ein großes Potenzial an Schaltabschnittsgrenzen der Oberleitung [24] noch zu heben ist. Im Hinblick auf ihr Potenzial kaum zu unterschätzen sind auch die neuen, spurtarken und „digital durchoptimierten“ Doppelstock-Regionaltriebzüge. [3] Die 2019 ausgerufenen Ziele [25], im Hochleistungsbetrieb im Horizont 2030 unter Praxisbedingungen Fünf-Minuten-Zugfolgen je Gleis sowie Zwei-Minuten-Zugfolgen im Zulauf zu ermöglichen, sind greifbarer denn je. Auf den im Mischverkehr befahrenen Zulaufstrecken erhärtet sich dabei der Eindruck, wie haltende Züge während ihrer Haltezeit schlank überholt werden können [26]. Derartige, massive potenzielle Kapazitätserhöhungen fußen auf einer Kombination diverser „digitaler“ und überschaubarer konventioneller Optimierungen (wie Geschwindigkeitserhöhungen [27], zusätzliche Weichen und verbesserte Fahrdynamik) [28].

Im DKS wird an immer mehr Stellen offenbar, dass es zur Maximierung der verkehrlichen Leistungsfähigkeit nicht reicht, einfach nur ETCS einzuführen und bestenfalls ein wenig Blockverdichtung zu betreiben. Derartige Ansätze führen eher zu weniger Leistungsfähig-

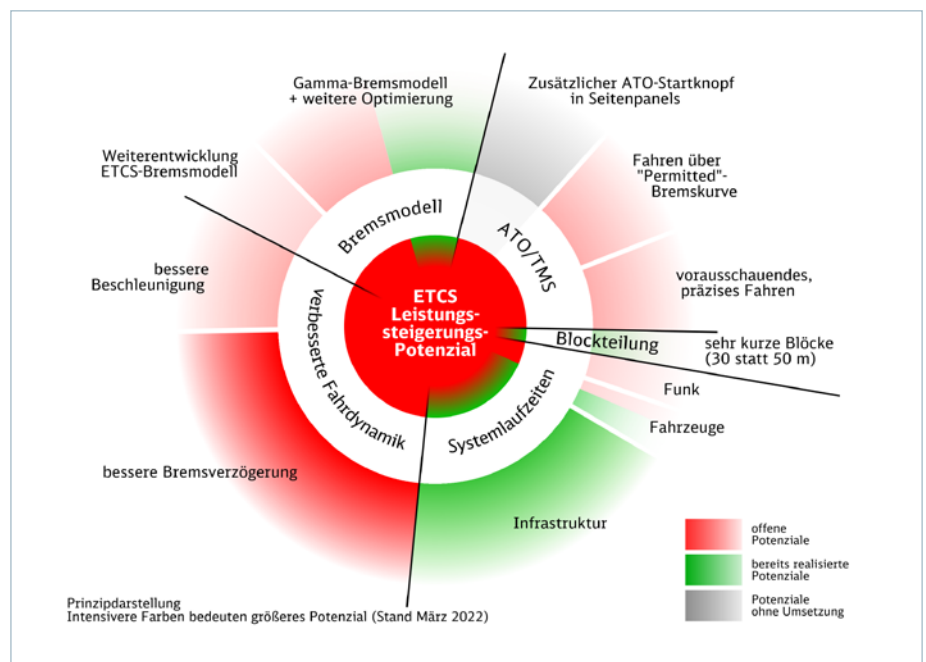


Abb. 5: Gehobene und offene Leistungsfähigkeitspotenziale für die S-Bahn-Stammstrecke (nicht dargestellt ist u. a. bessere Ortung von rund 5 m statt 55 m Konfidenzintervall nach vorne)

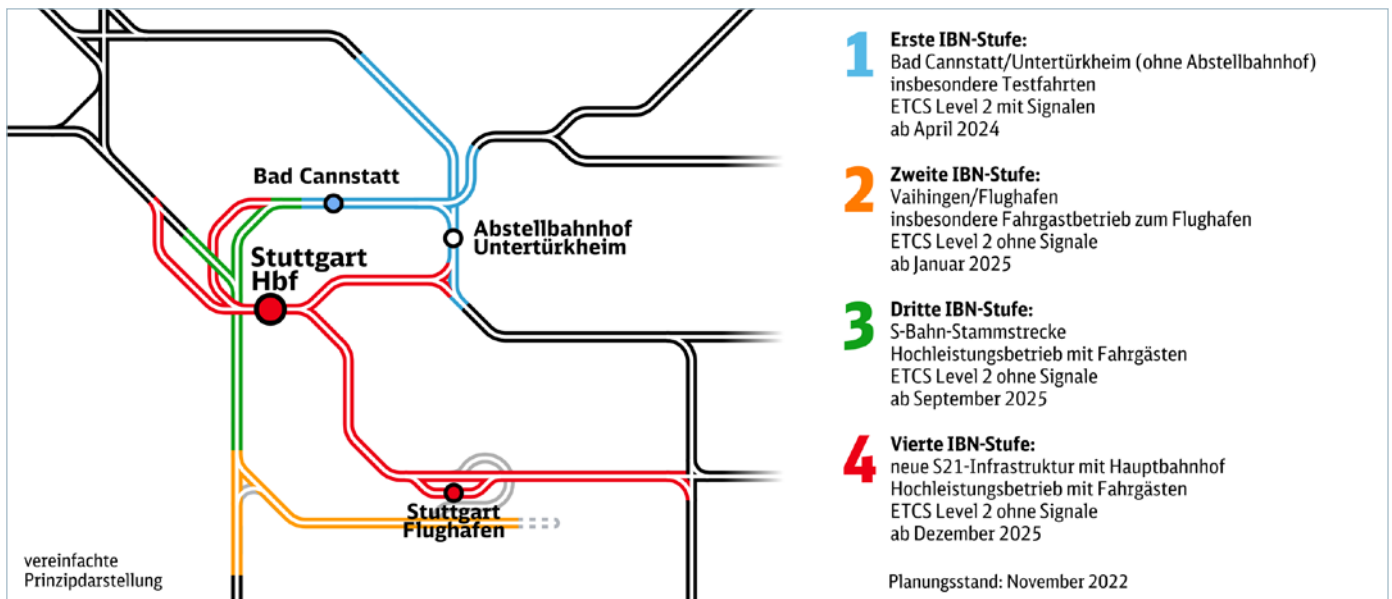


Abb. 6: Vereinfachter Zeitplan für die DSTW- und ETCS-Inbetriebnahmen bis Ende 2025

keit, weil beispielsweise neue Technik ohne klare Anforderungen oftmals langsamer und unflexibler als Alttechnik ist. Eisenbahningenieure sind mehr denn je gefordert, das System „ganzheitlich“ zu begreifen und zu optimieren. Mit einer Kombination „digitaler“ und konventioneller Optimierungen an Fahrzeugen, Infrastruktur und Betrieb kann es gelingen, in endlicher Zeit und mit endlichen Mitteln die Leistungsfähigkeit der Eisenbahn in Deutschland massiv zu erhöhen. Auch dafür wird der DKS als Blaupause dienen.

Ausblick

Mit aller Kraft wird daran gearbeitet, erste Teile der LST-Infrastruktur sowie erste wieder zugelassene FoC-Triebzüge ab Anfang 2024 in Betrieb zu nehmen. Nur so kann die auf die gemeinsame Inbetriebnahme mit Stuttgart 21 (2025) geplante Terminkaskade (Abb. 6) gehalten werden – nur so wird es gelingen, die Systeme auf Herz und Nieren zu testen und weit über 1000 betriebliche Mitarbeiter zu schulen, einzubinden und Kinderkrankheiten möglichst zu beseitigen, bevor ab Januar 2025 der L2oS-Fahrgastbetrieb zum Flughafen und ab Spätsommer 2025 der Hochleistungsbetrieb im Kern des Knotens aufgenommen wird.

Die Herausforderungen in der laufenden Umsetzung bleiben ebenso groß wie vielschichtig. So sind im Bestand noch zahlreiche zusätzliche Sperrpausen für Kabelführungen zu organisieren. Mehrere neue Softwareversionen sind so auszutrieren, dass neue Teilsysteme (wie iLBS) oder neue Funktionen (wie Wendezugstraßen [6]) rechtzeitig für Test- und kommerziellen Betrieb zur Verfügung stehen. Vereinzelt sind auch noch Planungsvorgaben fertigzustellen. Die schrittweise Inbetriebnahme des DKS wird allen Beteiligten auch weiterhin noch viel Kraft, Lösungsorientierung und Kompromissbereitschaft abverlangen – und sie wird auch

weiter mit Schmerzen und Umwegen verbunden sein, bis sich der Nutzen Schritt für Schritt entfaltet.

Die großen aktuellen Herausforderungen – Fachkräftemangel, Lieferzeiten, Inflation, knappe öffentliche Kassen, Bedrohungen Kritischer Infrastruktur usw. – machen dabei auch vor dem DKS nicht Halt. Umso wichtiger ist es, das Bahnsystem so zügig wie möglich und so sinnvoll wie nötig zu vereinfachen. Dazu gehört in der Infrastruktur insbesondere, unbedingt auf eine Doppelausrüstung zu verzichten, aber auch deren Planung zu vereinfachen [10] und zu teilautomatisieren [29] oder auch, „Balisenteppichen“ [30] und „Achszählwäldern“ [6] Einhalt zu gebieten. Fahrzeugseitig sollte die komplexe ETCS-Fahrzeugaus- und -nchrüstung genutzt werden, en bloc und möglichst auch Facetten für den DSD-Roll-out wie ATO GoA 2, Cold Movement Detection, ETCS Level 3 oder FRMCS mit auszurüsten.

Zu alledem gehören auch klare, glaubwürdige und längerfristige Perspektiven für den DSD-Roll-out und eine damit einhergehende Planungssicherheit, damit möglichst alle in einer Richtung an einem Strang ziehen und ausreichend qualifizierte Fachkräfte gewonnen werden können. Dabei ist eine klug gestaltete Förderung der DSD-Fahrzeugausrüstung durch den Bund unabdingbar, die nicht nur einen Kosten-Nutzen-Ausgleich schafft, sondern eine möglichst effiziente und einheitliche DSD-Nach- und -Ausrüstung der Fahrzeuge sicherstellt – im System Bahn effizient und über die eng umgrenzten Möglichkeiten des Netz-zugangsrechts hinaus.

Mehr denn je ist das Bahnsystem als Ganzes zu sehen, auch mit Blick auf mannigfaltige Wechselwirkungen und die Integration zwischen Fahrzeug und Strecke, aber auch zwischen den Gewerken der Infrastruktur – beispielsweise bei ATO, Netzwerken, Online Key Management

[31], IT-Sicherheit oder schlicht einer schlankeren und gleichzeitig robusteren Infrastruktur durch „kleine“ Optimierungen der Fahrzeugausrüstung [32]. Es zeigen sich viele Chancen, eine Eisenbahn zu schaffen, die nicht nur einfacher finanziert, geplant und gebaut werden kann, sondern gleichzeitig auch deutlich leistungsfähiger und robuster ist. Es muss freilich der Wille aller Beteiligten da sein, um die auch im DKS gewonnenen Erkenntnisse wirklich umsetzen zu wollen.

Die im DKS gesammelten Erfahrungen kommen dabei auf vielfältigen Wegen weiteren Projekten zugute, beispielsweise über Lastenhefte, Richtlinien und das Betrieblich-Technische Zielbild [33]. Auch weitere Berichte werden folgen.

Das Projekt wird kofinanziert von der Europäischen Union.



QUELLEN

- [1] Drescher, O.: ETCS Level 2 ohne „Signale“ in einem großen Knoten, Deine Bahn 3/2022 (<https://bit.ly/304n5i1>)
- [2] Bitzer, F.; Bateau, V.; Lammerskitten, C.; Lück, B.; Neuhäuser, N.; Vogel, T.; Wurmhäler, J.: Quo vadis Digitale Leit- und Sicherungstechnik? DER EISENBAHNINGENIEUR 11/2021 (<https://bit.ly/3Hv72X6>)
- [3] 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/3DHZi05>)
- [4] Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg: So sehen die 130 neuen Doppelstockzüge fürs Land aus. Webseite <https://bit.ly/3UQA5KR>, abgerufen am 13. November 2022
- [5] Seidler, E.; Reichert, B.; Kittler, C.: Das bahnbetriebliche IP-Netz als Schlüssel für die Digitalisierung der Schiene, SIGNAL+DRAHT 12/2021 (<https://bit.ly/30IKcjc>)
- [6] Barth, P.; Behrens, M.; Kümmling, M.; Mehnert, S.; Nenne, T.; Pieper, W.; Retzmann, M.; Trinkauf, J.: Innovationskooperation zur LST-Infrastruktur im Digitalen Knoten Stuttgart, SIGNAL+DRAHT 7+8/2022 (<https://bit.ly/3PR8NRF>)
- [7] Flöter, F.; Raichle, F.; Höhne, T.; Köstlbacher, J.; Sane, N.; Sauer, M.; Schlichting, J.; Wagner, P.: Innovationskooperation Fahrzeugausrüstung im Digitalen Knoten Stuttgart, SIGNAL+DRAHT 9/2022 (<https://bit.ly/3dxD0Z6>)
- [8] Zum Hintergrund: Pächl, J.: Der Weg zu einer neuen Fahrdienstvorschrift für den digitalen Bahnbetrieb, Deine Bahn 10/2021
- [9] Einsatz von örtlichen Aufsichtlichen im DB-Fernverkehr: Ein Erfolgsmodell? Deine Bahn 10/2022

[10] Skowron, F.; Treydel, R.: Blöcke waren gestern – Chancen einer zugzentrischen LST, DER EISENBAHNINGENIEUR 11/2022 (<https://bit.ly/3UXNYaH>)

[11] Behrens, M.; Eschbach, A.; Kampschulte, B.; Paltian, A.; Schöppach, M.; Wiedenroth, A.: Robuste Leit- und Sicherungstechnik im Digitalen Knoten Stuttgart, DER EISENBAHNINGENIEUR 11/2022, auch: <https://bit.ly/3hiu0ZL>

[12] Behrens, M.; Eckardt, E.; Kümmling, M.; Loef, M.; Otrzonek, P.; Schleele, M.; von Schaper, M.-L.; Wanstrath, S.: Auf dem Weg zum Digitalen Knoten Stuttgart: ein Überblick, DER EISENBAHNINGENIEUR 4/2020 (<https://bit.ly/3pyuXfg>)

[13] McKinsey & Company: Machbarkeitsstudie zum Roll-out von ETCS/DSTW, Zusammenfassung der Ergebnisse. Dezember 2018 (<https://bit.ly/3r2qral>)

[14] 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, BAnz AT 05.02.2021 B2 (<https://bit.ly/3hXSCXx>)

[15] DB Netz: DSD-Rollout – Fachliche Konsultation mit Marktteilnehmer:innen. Foliensatz vom 7. April 2022 (<https://bit.ly/3AQJdb8>), S. 15–17

[16] Ingenieurgemeinschaft Machbarkeitsstudie ETCS S-Bahn Stuttgart: Untersuchung zur Einführung von ETCS im Kernnetz der S-Bahn Stuttgart (<https://bit.ly/2Yyaw6h>)

[17] Denißen, J.; Flieger, M.; Kümmling, M.; Küpper, M.; Wanstrath, S.: Optimierung der Blockteilung mit ETCS Level 2 im Digitalen Knoten Stuttgart, SIGNAL+DRAHT (113) 7+8/2021, S. 60–67 (<https://bit.ly/3Ai0gQR>)

[18] Behrens, M.; Caspar, M.; Distler, A.; Fries, N.; Haredel, S.; Kreßner, J.; Lau, K.; Pensold, R.: Schnelle Leit- und Sicherungstechnik für mehr Fahrwegkapazität, DER EISENBAHNINGENIEUR 6/2021 (<https://bit.ly/2SiQvjY>)

[19] Verband Region Stuttgart: Kapazitätssteigerung der Stammstrecke und Ausbau der Knoten Stuttgart-Vaihingen und Böblingen (QSS-Maßnahmen). Sitzungsvorlage VA-267/2022 (<https://bit.ly/30J2xg3>), S. 3

[20] Deutsche Bahn: ETCS & Co. für „maximale Leistungsfähigkeit“. Foliensatz vom 24. Oktober 2022, S. 20 (<https://bit.ly/3DPG6qj>)

[21] Verband Region Stuttgart: Sitzungsvorlage Nr. VA-238/2022, Verkehrsausschuss am 21.09.2022 (<https://bit.ly/3B97hG5>)

[22] Verband Region Stuttgart: Sitzungsvorlage Nr. VA-150/2021, Verkehrsausschuss am 21.07.2021 (<https://bit.ly/3GTR3EG>), Punkt 4 [23] CR 1242 zum ETCS-L2-Lastenheft der DB (BTSF3) versus Richtlinie 819.0204 Abschnitt 4 (14)

[24] Bucht, N.; Ehret, B.: Streckentrennungen und die Digitale Schiene, Elektrische Bahnen 9/2021

[25] Deutsche Bahn: Stuttgart 21 ist wesentliche Voraussetzung für den geplanten Deutschland-Takt. Erklärung vor dem Gemeinderat Stuttgart vom 16. Juli 2019 (<https://bit.ly/3Vkg8wL>)

[26] Ohmayer, R.: Optimierung von Überholvorgängen mit digitaler Leit- und Sicherungstechnik. Bachelorarbeit Mai 2022 (<https://bit.ly/3BbuPJR>)

[27] Exemplarisch: <https://bsu.link/task-force-trassierung>, abgerufen am 3. Dezember 2022

[28] Kümmling, M.; Wanstrath, S.: Maximierung der Fahrwegkapazität mit Digitaler Leit- und Sicherungstechnik, Eisenbahntechnische Rundschau 7+8/2021 (<https://bit.ly/3eY0apT>)

[29] Exemplarisch: Bachmann, V.; Ibáñez, P.; Oetting, A.; Pejic, M.; Üyümez, B.; Vogel, S.: Teilautomatisierte ETCS L2-Planprüfung durch Formalisierung des Regelwerks, DER EISENBAHNINGENIEUR 8/2022 (<https://bit.ly/3GUPE0c>)

[30] Vogel, T.; Reinhart, P.: Kleiner Aufwand: große Wirkung: Fahrzeugausrüstung im Digitalen Knoten Stuttgart. Vortrag auf dem 22. SIGNAL+DRAHT-Kongress, PDF-Seite 19 (<https://bit.ly/3F9Smht>)

[31] Seither, S.: Online Key Management für ETCS, SIGNAL+DRAHT 9/2016

[32] 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>)

[33] Fries, N.: Betrieblich-Technisches Zielbild für die „Digitale Schiene“, Deine Bahn 3/2021 (<https://bit.ly/3HCOFis>)



Martin Beyer

Referent für Verkehrsplanung
Verband Region Stuttgart, Stuttgart
beyer@region-stuttgart.org



Vincent Blateau

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



Florian Bitzer

Gesamtprogrammleitung
Inbetriebnahme Stuttgart-Ulm
und Digitaler Knoten Stuttgart
Deutsche Bahn AG, Stuttgart
florian.bitzer@deutschebahn.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



Bernd Lück

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



René Richter

Project Lead DBS@DKS DB Netz AG,
Berlin
rene.richter@deutschebahn.com



Christopher Rudolph

Projektleiter DKS für die DB Netz AG
DB Netz AG, Berlin
christopher.c.rudolph@deutschebahn.com



Thomas Vogel

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

WISSEN, WAS BAHNEN BEWEGT

www.eurailpress.de

