



Visualisierung der neuen S-Bahn-Station Mittnachtstraße am nördlichen Ende der S-Bahn-Stammstrecke in Stuttgart

## Pilotprojekt der Digitalen Schiene Deutschland

# Digitaler Knoten Stuttgart: Digitalisierung ist kein Selbstzweck

**René Neuhäuser**, Leiter Produktion, DB Regio S-Bahn Stuttgart, Plochingen, **Peter Reinhart**, Team Verkehr/Betrieb, DB Projekt Stuttgart-Ulm, Stuttgart, **René Richter**, Digitalisierung Bahnsystem, DB Netz AG, Berlin, **Thomas Vogel**, Leiter Projektgruppe Digitale Schiene, Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg, Stuttgart

Bis 2030 wird die Region Stuttgart schrittweise mit Digitaler Leit- und Sicherungstechnik ausgerüstet. Erstmals in Deutschland kommen Digitale Stellwerke, das europäische Zugbeeinflussungssystem ETCS „ohne Signale“ und weitere, darauf aufbauende Techniken in einem großen Knoten zur Anwendung. Damit werden die Grundlagen für weitere Großknoten in Deutschland gelegt. An der Schwelle zur Umsetzung ist es Zeit für einige Schlaglichter und Erfahrungen.

Bis zu 35 Prozent mehr Kapazität mit ETCS und Co., jedoch ohne einen Meter neues Gleis: Dieser vielfach zu hörenden Erwartungshaltung stehen wechselhafte Erfahrungen aus der Betriebspraxis gegenüber. So gelten Elektronische Stellwerke (ESTW) im Vergleich zu Relaisstellwerken als träge, ETCS-Bremskurven als flach, während Umfang und Komplexität der Regelwerke noch weiter zunehmen. Ist die Digitalisierung der Leit- und Sicherungstechnik (LST) also nur ein schöner Schein, ein unerfüllbarer politischer Wunsch fernab der Praxis?

### Rückblick

2015 entzündeten sich in der Region Stuttgart an der S-Bahn-Stammstrecke erste ernsthafte Diskussionen über die „Digitalisierung“ der LST. Im Lichte einer bestenfalls stagnierenden Betriebsqualität und einer ohnehin im Rahmen von Stuttgart 21 (S 21) notwendigen völligen LST-Erneuerung brachten Land, Region und DB Anfang 2017 eine umfassende Untersuchung zur möglichen Einführung von ETCS auf den Weg. Im Ergebnis erwies sich ETCS Ende 2018 nicht nur als technisch machbar, sondern auch

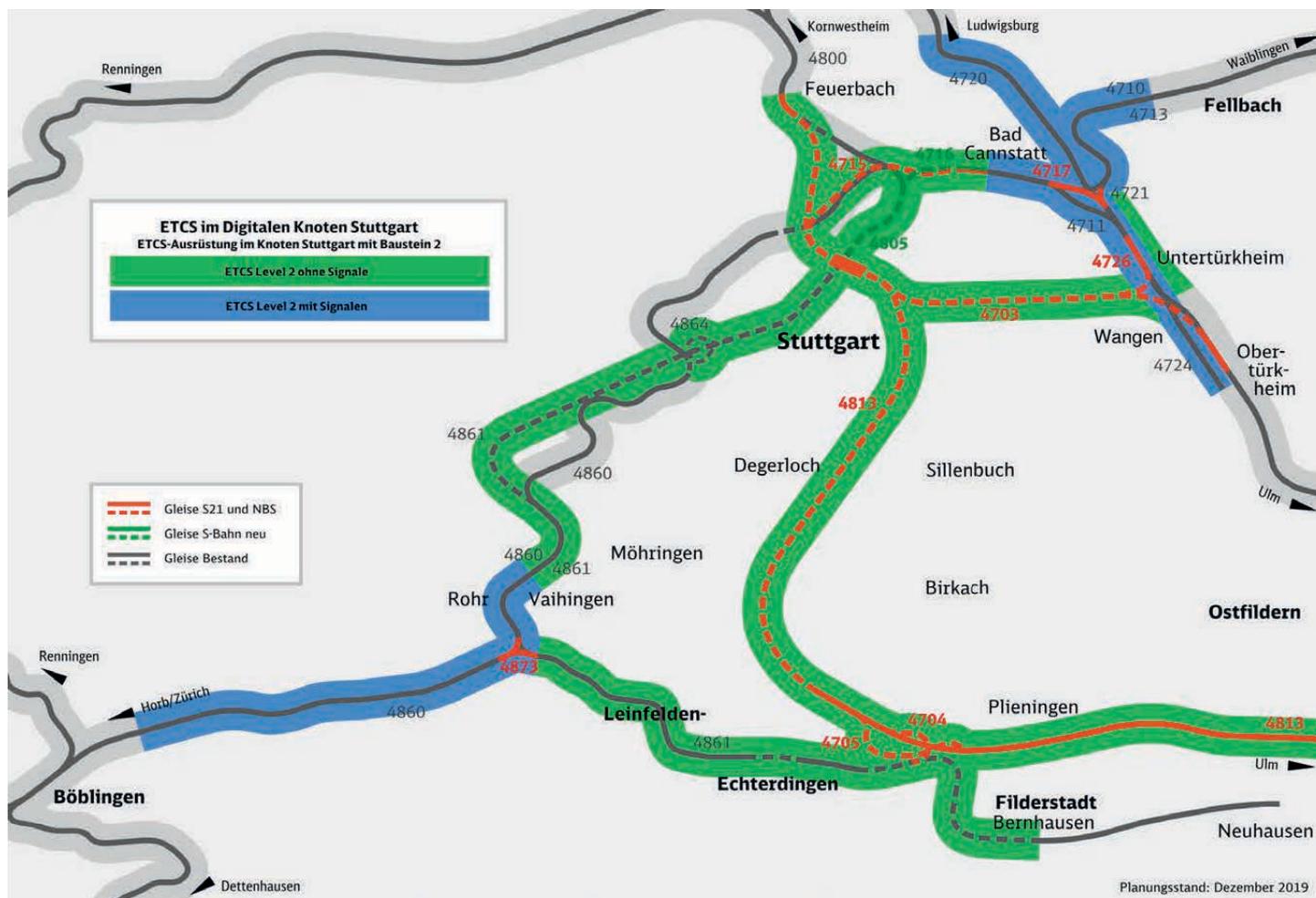
als betrieblich sinnvoll.<sup>[1]</sup> In Verbindung mit hochautomatisiertem Fahrbetrieb mit Triebfahrzeugführer (ATO GoA 2) wurde eine Leistungssteigerung gegenüber konventioneller LST (Ks/PZB) von rund 20 Prozent ausgewiesen.<sup>[2]</sup> Mit diesem klaren Ergebnis war der anfänglichen Skepsis ein klarer Wille gewichen, diese Chance zu ergreifen.

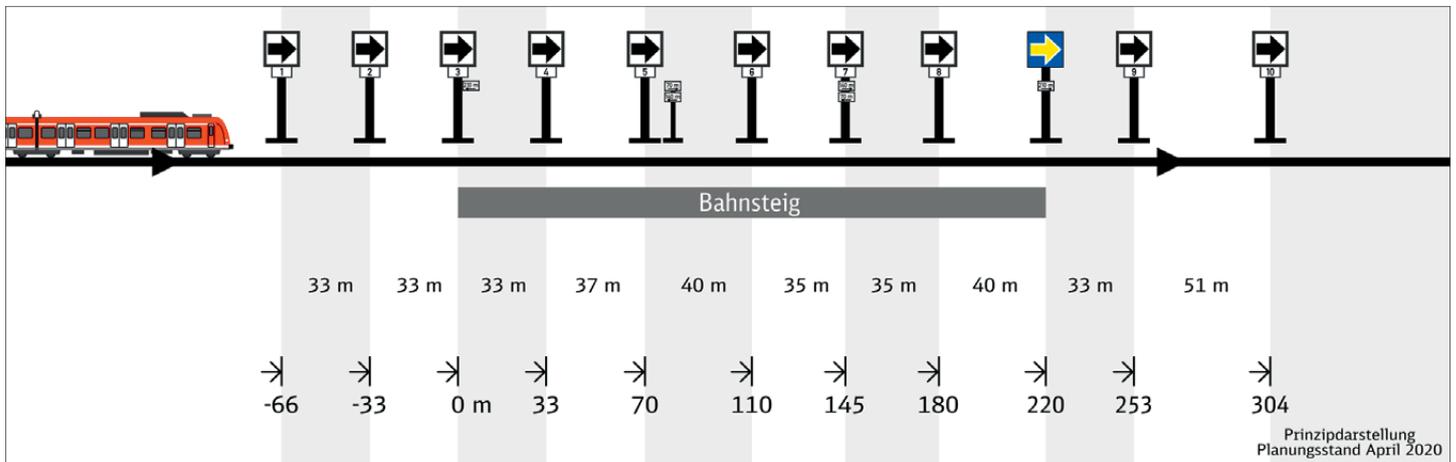
Verzögerungen bei S 21 eröffneten darüber hinaus ein kurzes Zeitfenster, um auch die LST-Konzeption der im Bau befindlichen Infrastruktur zu überdenken. Für diese war ohnehin weitgehend ETCS (Level 1 und 2) als Ergänzung zu konventioneller LST (Ks/PZB) geplant. ETCS diene dabei der Interoperabilität und Schnellfahrten auf der NBS Richtung Ulm.<sup>[3]</sup> In enger Zusammenarbeit wurde auch diese Chance für eine LST-Neukonzeption ergriffen.

Die Ausrüstung des S-Bahn-Kernbereichs sowie der S-21-Fern- und Regionalverkehrsbereiche bilden die Bausteine 1 und 2 des Pilotprojekts Digitaler Knoten Stuttgart. Im Rahmen des Starterpakets der Digitalen Schiene Deutschland (DSD) werden damit zunächst bis 2025 rund 125 Streckenkilometer ausgerüstet, weit

*Die ETCS-Ausrüstung erfolgt möglichst „ohne Signale“ (grün). Konventionelle LST ist nur noch vorübergehend in Bereichen vorgesehen, in denen das DSTW vor abgeschlossener ETCS-Fahrzeugausrüstung in Betrieb geht (orange), sowie der Güterumgehungen (blau)*

Quelle: Deutsche Bahn





*Hochleistungsblock an Stationen der S-Bahn-Stammstrecke. Die Prinzipdarstellung zeigt eine brettebene Station, die es so nicht gibt. Die tatsächliche Blockteilung wurde anhand der örtlichen Rahmenbedingungen (zum Beispiel Längsneigungen) mikroskopisch optimiert*

Quelle: Deutsche Bahn

überwiegend „ohne Signale“ (oS). Damit einher geht die Aus- beziehungsweise Nachrüstung von rund 500 Triebfahrzeugen. Einer mit oS deutlich vereinfachten LST-Infrastruktur steht dabei eine deutlich aufwendigere LST-Fahrzeugausrüstung gegenüber, die im Rahmen des Pilotprojekts gefördert wird. Auf dieser Grundlage folgt schließlich im Zuge des Bausteins 3 bis 2030 die übrige Region – die Ausrüstung der Netzbezirke Stuttgart und Plochingen, einschließlich des gesamten heutigen S-Bahn-Netzes.

### Sachstand

Mit der Vergabe der LST-Infrastrukturausrüstung der Bausteine 1 und 2 an das Unternehmen Thales wurde Ende 2020 ein wichtiger Meilenstein erreicht.<sup>[4]</sup> Die Vergabeverfahren für bis zu 230 neue Regionaltriebzüge (mit ETCS und ATO) durch das Land Baden-Württemberg sowie zur Nachrüstung von 215 S-Bahn- und 118 Nahverkehrs-Triebzügen werden in den kommenden Monaten abgeschlossen.

Die LST-Infrastruktur wird von Ende 2023 an schrittweise in Betrieb genommen und erste Fahrzeuge bis dahin ausgerüstet. Nach rund 18 Monaten Tests, Vorlaufbetrieb und Betrieb in Randbereichen wird die S-Bahn-Stammstrecke im Sommer 2025 mit ETCS oS in Betrieb gehen, gefolgt vom neuen Hauptbahnhof und der weiteren S-21-Infrastruktur im Dezember 2025.

### Kapazitätspotenziale

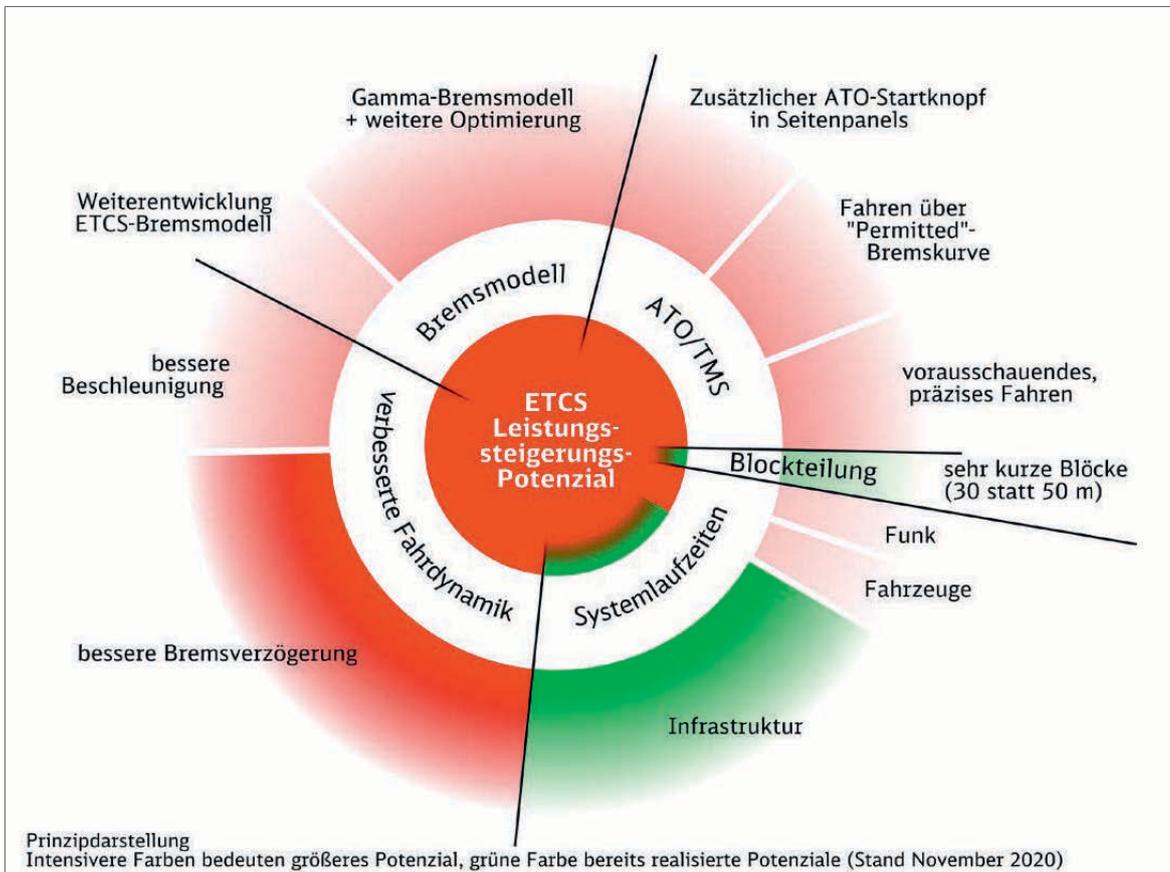
Nach landläufigem Verständnis fußt das Leistungssteigerungspotenzial der Digitalen Leit- und Sicherungstechnik (DLST) im Wesentlichen auf dem bereits von der LZB bekannten Hochleistungsblock. Dieser war auch zentraler Bestandteil von CIR-ELKE in den 1990er Jahren – das damals kommunizierte Ziel<sup>[5]</sup> einer im Mittel 20- und in der Spitze 30-prozentigen Leistungssteigerung auf Kernnetzstrecken wurde nicht erreicht. Durch eine weitere Optimierung der CIR-ELKE-LZB

und Hochleistungsblock wurde die Leistungsfähigkeit der S-Bahn-Stammstrecke München im Jahr 2004 von 24 auf 30 Züge pro Stunde und Richtung erhöht.

Der auf ETCS aufsetzende Hochleistungsblock war auch in der S-Bahn-ETCS-Untersuchung in Stuttgart der wesentliche Faktor für die ausgewiesene rund 20-prozentige Leistungssteigerung. Er ermöglichte gegenüber konventioneller LST per se eine um eine halbe Minute verkürzte Zugfolge in den für die Leistungsfähigkeit maßgebenden Bahnsteigebereichen. Dem wirkten um rund 4 Sekunden verlängerte LST-Laufzeiten entgegen.<sup>[6]</sup> Unter dem Strich wurden Mindestzugfolgezeiten von 107 beziehungsweise 120 Sekunden erreicht.<sup>[7]</sup>

Um die Zugfolgezeiten noch weiter zu verkürzen, führt kein Weg daran vorbei, das Gesamtsystem auf den Prüfstand zu stellen, regelrecht zu sezieren und ETCS dabei als Trägersystem für die Digitalisierung zu verstehen. Die Untersuchung zeigte dazu bereits fünf Potenzialfelder auf:

- Ein überschaubares Potenzial verblieb in der Blockteilung, die in Bahnsteigebereichen mit einheitlich rund 50 Meter modelliert wurde.
- Die Systemlaufzeiten von Stellwerk, ETCS und den dazwischenliegenden Schnittstellen wurden (ohne Weichen) mit insgesamt 14 Sekunden modelliert. Zwei Drittel davon entfällt auf die Infrastruktur (Zuglenkung, Stellwerk und RBC).
- Die ETCS-Bremskurven wurden konservativ mit dem Brems-hundertstel-Modell (anhand Brems-hundertstel, Bremsstellung, Zuglänge) modelliert. Für das flexiblere Gamma-Modell standen noch nicht alle notwendigen Daten<sup>[8]</sup> vollumfänglich zur Verfügung. Darüber hinaus verbleiben Potenziale in der ETCS-Spezifikation, beispielsweise weil in wechselnden Längsneigungen Bremskurven anhand des größten an einer beliebigen Stelle



Ein Teil der in der S-Bahn-ETCS-Untersuchung erkannten Leistungsfähigkeitspotenziale (rot) wurde inzwischen gehoben (grün). Weitere (nicht dargestellte) Potenziale bestehen in den Fern- und Regionalverkehrsbereichen des DKS

Quelle: Deutsche Bahn

unter dem Zug liegende Gefälle berechnet werden – ein Leistungshemmnis, wenn vielfach aus steilem Gefälle in ebene Bahnsteiggleise eingefahren wird.

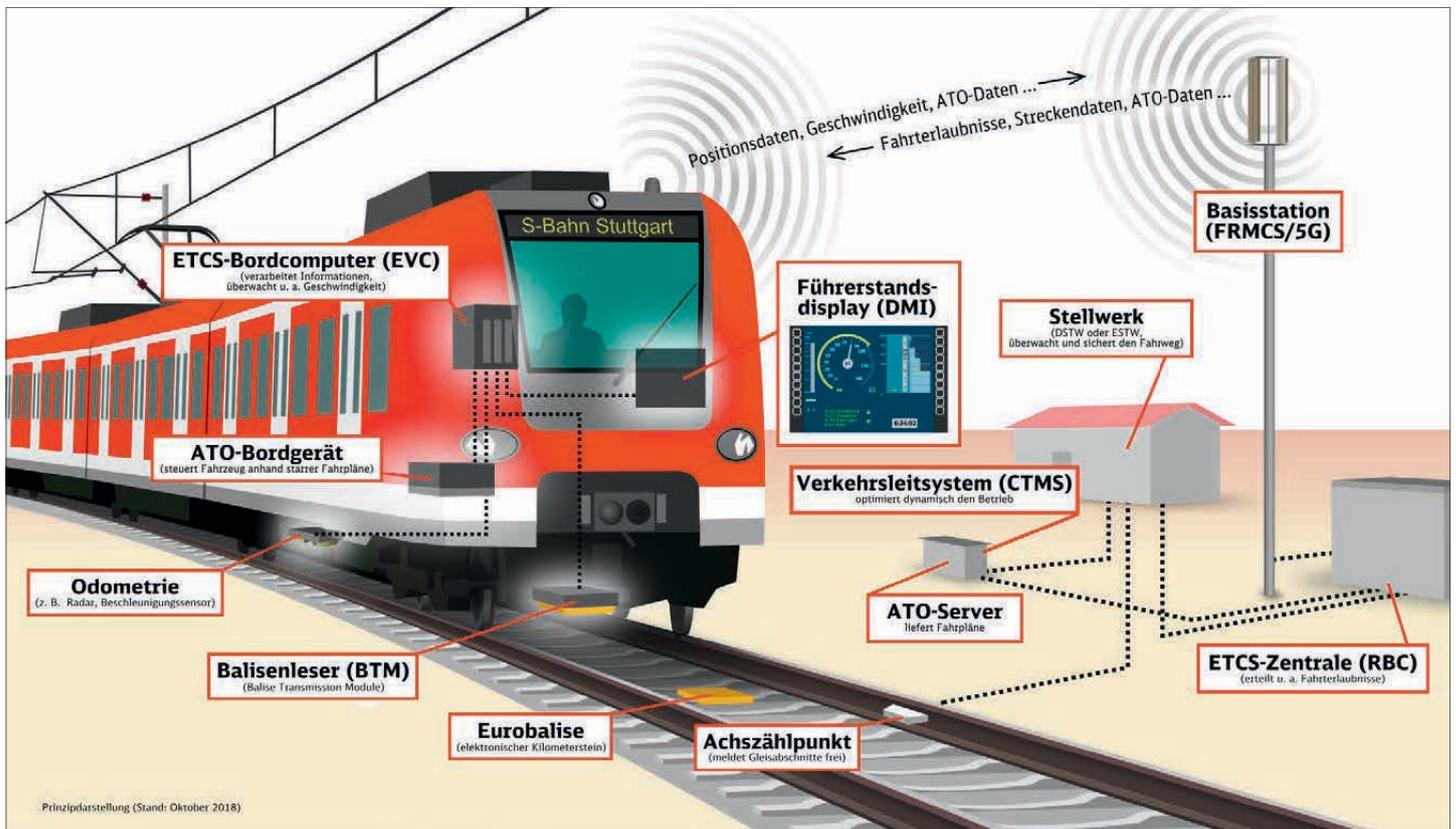
um bis zu 9 Sekunden verkürzt werden. Dabei entsteht in Stuttgart das schnellste Stellwerk in Deutschland, mit Laufzeiten von teils nur noch einer einzigen Sekunde.<sup>[9]</sup>

- Das automatisiert-vorausschauende Fahren (im Zusammenspiel von ATO und TMS) wurde mangels Erfahrungen als Fahren an der „Permitted“-Bremskurve von ETCS mit konservativer konstanter Bremsverzögerung (0,7 m/s<sup>2</sup>) modelliert. Ein vorausschauend agierendes Verkehrsleitsystem (TMS) kann im Übrigen mit heutigen Werkzeugen (noch) nicht simuliert werden.
- Bei Neufahrzeugen verbleiben fahrdynamische Potenziale, insbesondere durch besser wirkende Bremsen, die mit ETCS unmittelbar zu späteren Bremsensatzpunkten führen.

Im engen Zusammenspiel des Kollegiums aus verschiedensten Einheiten konnte ein Teil der Potenziale aus der S-Bahn-ETCS-Untersuchung inzwischen ebenso gehoben werden wie weitere Potenziale für den Fern- und Regionalverkehr. Einige Beispiele:

- Durch Anreize im Rahmen der Ausschreibung konnten die Systemlaufzeiten der Infrastruktur

- Durch mikroskopische Optimierung der Blockteilung, mit Längen zwischen 30 Meter (S-Bahn-Stammstrecke) und einem Kilometer (auf der NBS von/nach Ulm), wurden Mindestzugfolgezeiten über alle Zugfolgefälle hinweg minimiert.
- Bei der Fahrzeugaus- und -nachrüstung bestehen besondere Anforderungen an die Gamma-Bremsmodelle, beispielsweise durch die (für das Modell günstige) Unterscheidung bestimmter Bremsmodell-Parameter nach Zuglänge oder der Vermeidung bislang beobachteter Rundungsverluste.
- Die neuen Regionaltriebzüge müssen auch in ungünstigen Zugkonfigurationen mindestens eine zur PZB gleichwertige (in der Praxis eher größere) Schnellbremsverzögerung erreichen.
- Mit ETCS werden Durchrutschwege schneller Einfahrten von typischerweise etwa 200 auf rund 50 Meter verkürzt, womit zusätzliche Parallelfahrmöglichkeiten entstehen. Da in projektierten



Übersicht wesentlicher Bestandteile der Leit- und Sicherheitstechnik im Digitalen Knoten Stuttgart im Horizont 2030. Einer gegenüber heute vereinfachten LST-Infrastruktur steht eine deutlich aufwendigere Fahrzeugausrüstung gegenüber

Quelle: Deutsche Bahn

(Wahl-)Durchrutschwegen grundsätzlich keine Blockkennzeichen aufgestellt werden dürfen und „ohne Signale“ längere D-Wege nicht mehr gebraucht werden, kann der Hochleistungsblock in Bahnhofsköpfen weiter verdichtet werden.

Weitere bedeutende Feinheiten, die noch bearbeitet werden, liegen unter anderem in der Ausreizung der Trassierung für die metergenaue Signalisierung in 5-km/h-Schritten oder Verkehrsleitsystemen, die durch Vorausschau unter anderem eine Perspektive zur Verdichtung des Hochleistungsblocks in Bahnhofsbereichen bieten (zum Beispiel an elektrischen Schaltabschnittsgrenzen). Überdies ermöglichen erst diese Systeme ein effizientes, kundenfreundliches Störungsmanagement. Das viel diskutierte ETCS Level 3 kann im Übrigen zu einer weiter vereinfachten LST-Infrastruktur führen.

### Ausblick

Um die „digitale“ Bahn tatsächlich zu einer besseren und leistungsfähigeren zu machen, muss sich die DB mit einem außerordentlich facettenreichen Spektrum an Themen auseinandersetzen. Das Betrieblich-Technische Zielbild und der darauf aufsetzende Technologieentwicklungsplan legen dazu wesentliche Grundlagen, die auch zu einer konsequenten Vereinfachung der betrieblichen Regelwerke führen werden (siehe den Beitrag ab S. 6.). In enger Zusammenarbeit

verschiedenster DB-Einheiten und Partnern wird in den 2020er Jahren damit schrittweise das Fundament des flächenhaften DLST-Rollouts in Deutschland geschaffen. Die Erfahrungen aus dem Digitalen Knoten Stuttgart fließen darin ein.

Sechs Jahre nach den ersten konkreten Überlegungen hat der DKS nunmehr die Schwelle zur Umsetzung überschritten. Ohne die vertrauensvolle, enge und intensive Zusammenarbeit der Beteiligten wäre dies nicht möglich gewesen. Auch hängt doch die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems mehr denn je nicht mehr nur von der Infrastruktur, sondern auch von den Fahrzeugen ab. Bei gleicher Länge könnte ein vorausschauend, hochautomatisiert und in ETCS Level 3 geführter Triebzug – mit optimierter Fahrzeugtechnik und optimierten Bremskurven – zukünftig nur noch etwa halb so viel Fahrwegkapazität wie ein nicht optimierter Zug gleicher Länge verbrauchen.

Um die Digitale Leit- und Sicherheitstechnik zum Erfolg zu führen, ist die Eisenbahn als komplexes, facettenreiches Gesamtsystem zu begreifen. Nur in enger und intensiver Zusammenarbeit zwischen Infrastruktur, Fahrzeugen und Betrieb kann es gelingen, die „digitale“ Eisenbahn zu einer besseren zu machen. Gemeinsam stehen die Chancen besser denn je, am Ende auch in vielen hochbelasteten Bereichen die Fahrwegkapazität um mehr als 30 Prozent zu steigern – zum Nutzen der Kunden. ■

---

## Abkürzungen

ATO GoA 2	Automatic Train Operation – Grade of Automation 2 (hochautomatisierter Fahrbetrieb)
CIR-ELKE	Computer Integrated Railroadng – Erhöhung der Leistungsfähigkeit im Kernnetz
DSD	Digitale Schiene Deutschland
DSTW	Digitales Stellwerk
ETCS	European Train Control System
Ks	Kombinationssignal
LST	Leit- und Sicherungstechnik
LZB	Linienförmige Zugbeeinflussung
NBS	Neubaustrecke
oS	ohne Signale (ETCS ohne Licht-Hauptsignale)
PZB	Punktförmige Zugbeeinflussung
RBC	Radio Block Centre (ETCS-Zentrale)
TMS	Traffic Management System (Verkehrsleitsystem)

---

## Quellen und Anmerkungen

- [1] Ingenieurgemeinschaft Machbarkeitsstudie ETCS S-Bahn Stuttgart (Hrsg.): Untersuchung zur Einführung von ETCS im Kernnetz der S-Bahn Stuttgart. Abschlussbericht. (<https://bit.ly/2Yyaw6h>).
- [2] ETCS als Trägersystem zur Leistungssteigerung bei der S-Bahn Stuttgart. Signal + Draht, 6/2019 (<https://bit.ly/2MJ4zAY>).
- [3] Auf dem Weg zum Digitalen Knoten Stuttgart: ein Überblick. Der Eisenbahningenieur, 4/2020 (<https://bit.ly/3pyuXfg>).
- [4] Deutsche Bahn: Bahn erteilt ersten Auftrag für Digitalen Knoten Stuttgart. Presseinformation, 11. Dezember 2020 (<https://bit.ly/3jfUTdf>).
- [5] Betriebliche Gesamtkonzeption für CIR-ELKE. Die Deutsche Bahn, 7/1992, S. 723 ff.
- [6] 0,5 s RBC-Verarbeitungszeit, 1,8 s für Schnittstellen und GSM-R, 1,5 s Verarbeitungszeit auf dem Fahrzeug.
- [7] Mit Langzügen und 30 s Haltezeit: 107 s in südlicher und 120 s in nördlicher Richtung.
- [8] Nach Geschwindigkeitsstufen unterschiedene Momentanverzögerungen, Verfügbarkeit von Komponenten des Bremssystems, Bremsaufbauzeiten.
- [9] Summe von Fahrstraßenauflöse- und Bildezeit, einschließlich Zuglenkung, ohne Weichen und Lichtsignale.

### Lesen Sie auch

#### **Ausrüstungsvarianten bei ETCS Level 3**

Deine Bahn November 2019

#### **Assistiertes, automatisiertes und autonomes Fahren im ÖPNV**

Deine Bahn September 2018

#### **Inbetriebnahme des ersten digitalen Stellwerks für die DB Netz AG**

Deine Bahn August 2018