



Kofinanziert durch die
Europäische Union

Alles digital – alles gut?

Eine Einführung in den
Digitalen Knoten Stuttgart



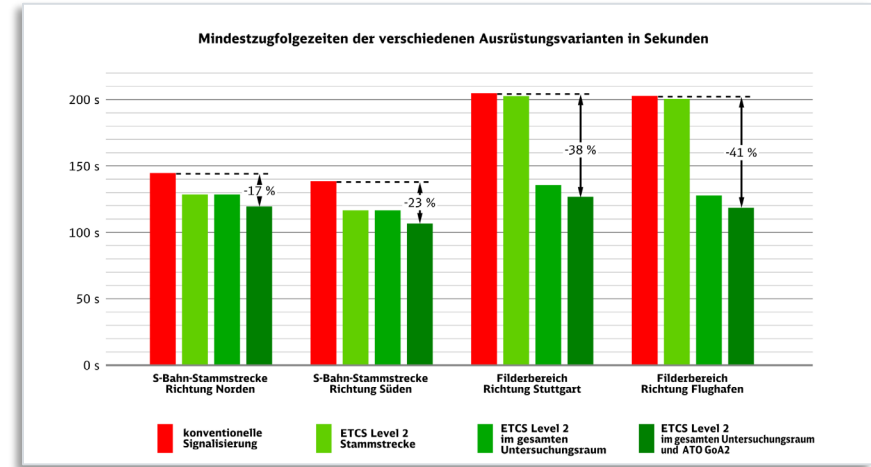
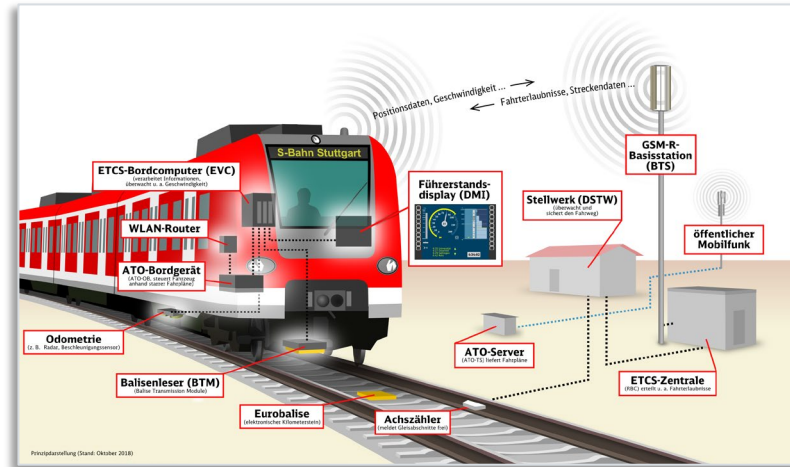
DB InfraGO AG | Gesamtprogrammleitung Knoten Stuttgart | 11.04.2024

Alle Abbildungen, soweit nicht anders angegeben: Deutsche Bahn

1. Der DKS im Überblick
2. Optimierung für „maximale Leistungsfähigkeit“
3. Systemwirkungen
4. Wesentliche Erfahrungen

- 1. Der DKS im Überblick**
2. Optimierung für „maximale Leistungsfähigkeit“
3. Systemwirkungen
4. Wesentliche Erfahrungen

Die S-Bahn-ETCS-Untersuchung war 2018 der Zündfunke für den Digitalen Knoten Stuttgart (DKS).



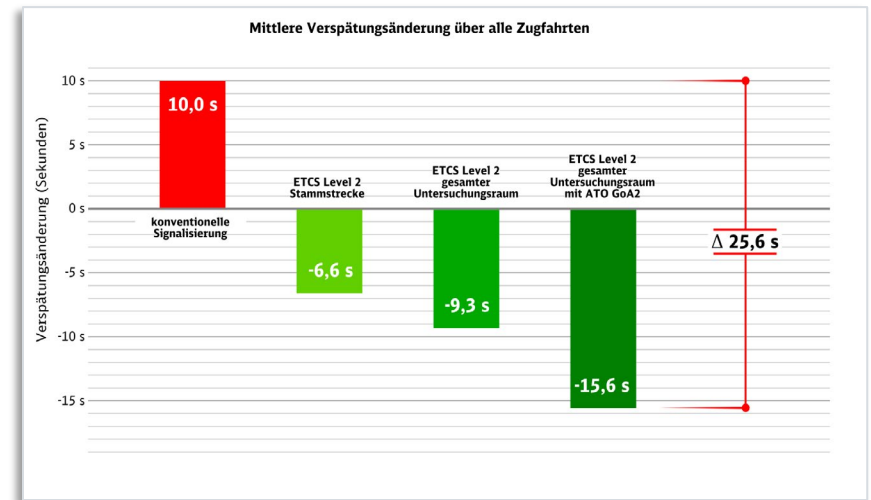
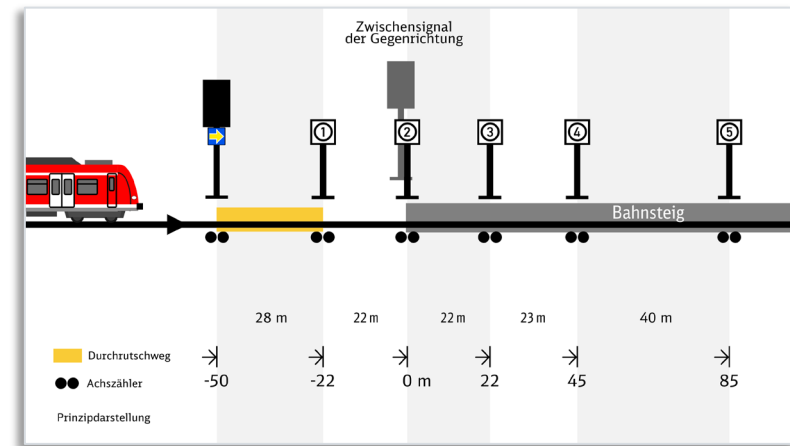
Untersuchung zur Einführung von ETCS im Kernnetz der S-Bahn Stuttgart Abschlussbericht

Version 2.0 vom 31.01.2019

Vorgangs-Nr.: 17FEI27440

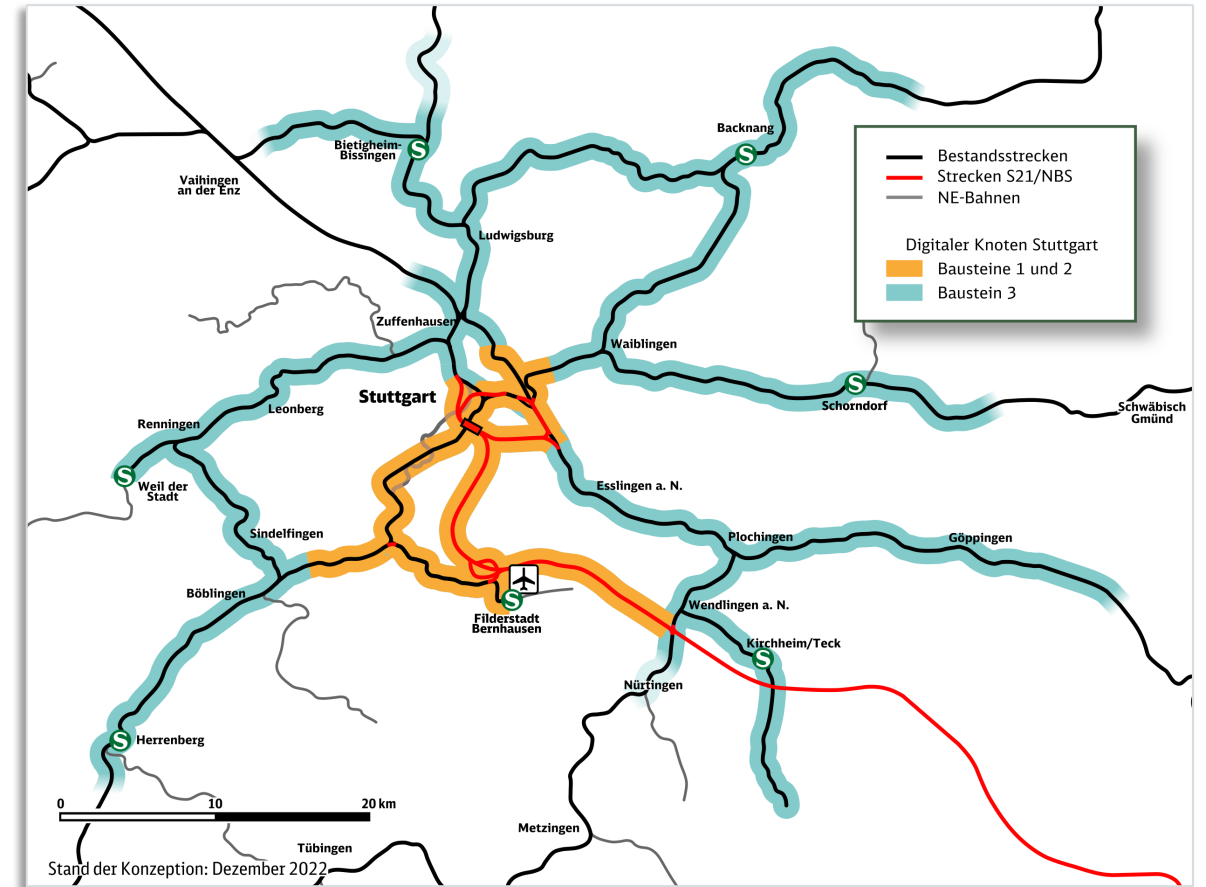
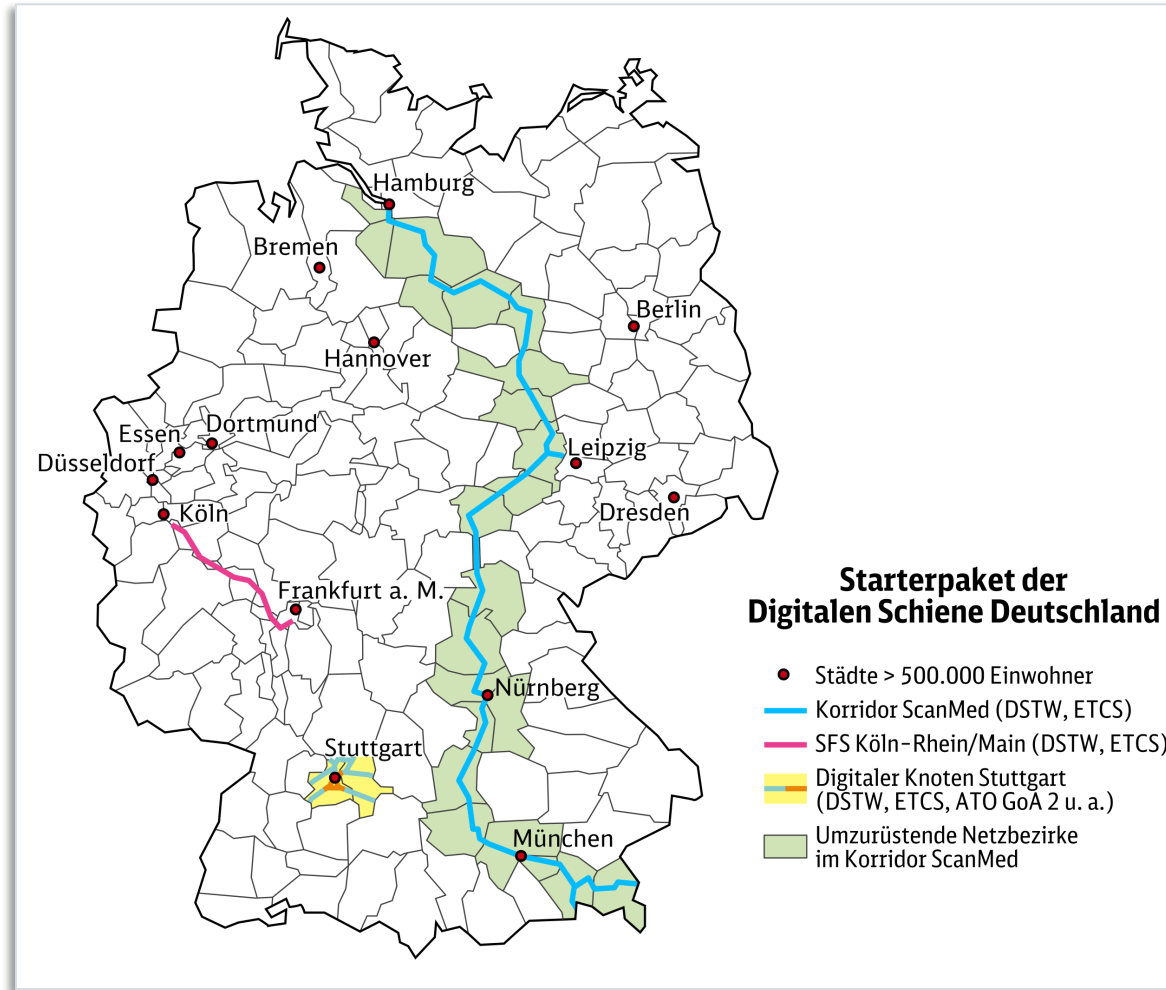
Ingenieurgesellschaft:

- WSP Infrastructure Engineering GmbH
- NEXTRAIL GmbH
- quatron management consulting GmbH
- VIA Consulting & Development GmbH
- Railistics GmbH



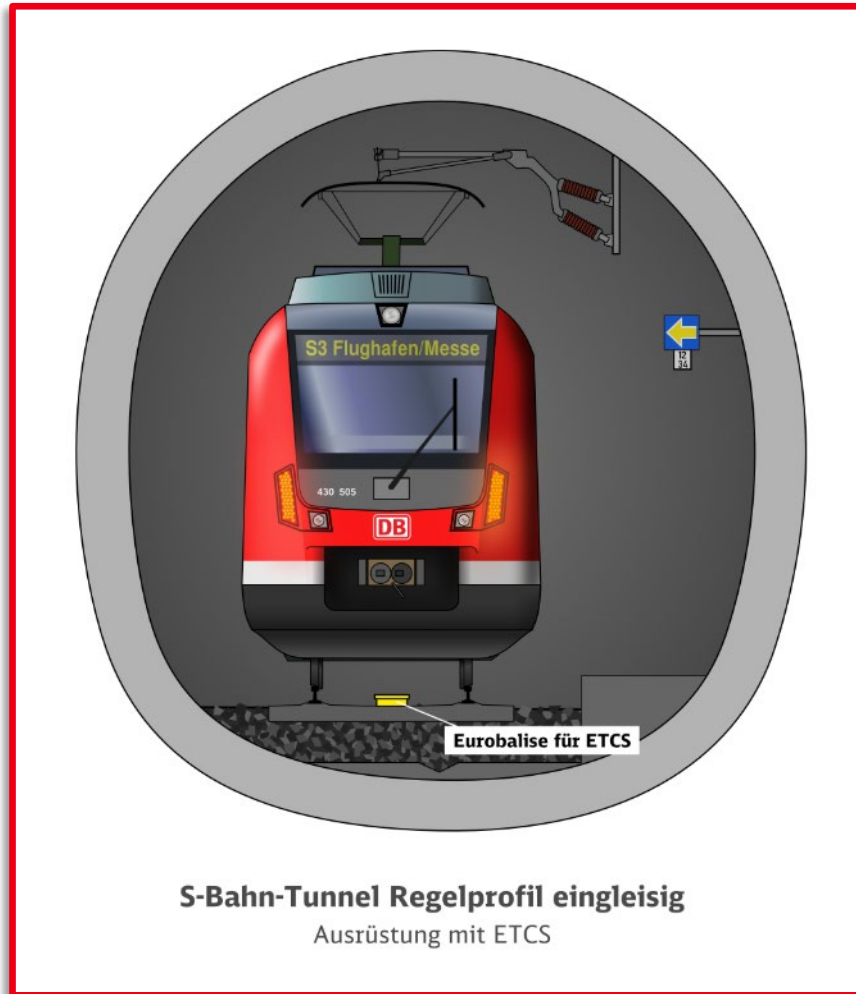
Linke Abbildung: Deckblatt des Abschlussberichts der S-Bahn-ETCS-Untersuchung vom 31. Januar 2019 (<https://bit.ly/2Yyaw6h>). Vertiefend: *ETCS als Trägersystem zur Leistungssteigerung bei der S-Bahn Stuttgart*. Signal+Dracht 6/2019 (<https://bit.ly/2MJ4zAY>) sowie *Die Digitalisierung der S-Bahn-Stammstrecke Stuttgart (Teil 1)*. Signal+Dracht 9/2023 (<https://bit.ly/46AzFOF>).

Der Digitale Knoten Stuttgart (DKS) ist ein Pilotprojekt im Starterpaket der Digitalen Schiene Deutschland (DSD) und geht weit über S21 hinaus.



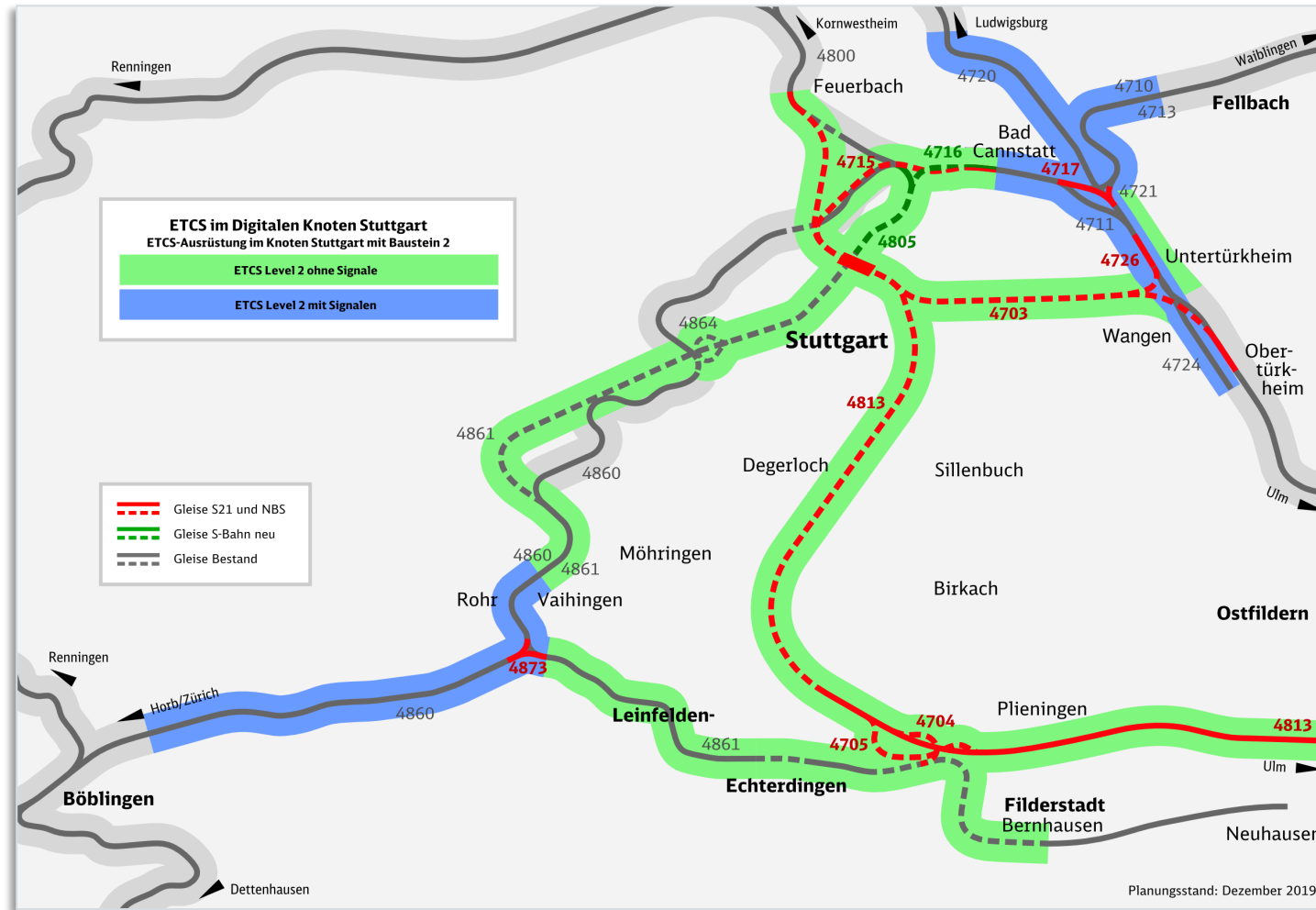
Vertiefend: *Der Digitale Knoten Stuttgart wird Realität*. Der Eisenbahningenieur 1/2023 (<https://bit.ly/3hiuOZL>).

Wir haben uns im DKS ganz bewusst entschieden, auf eine Doppelausrüstung zu verzichten – mit allen daraus folgenden Themen.



links: reine ETCS-Ausrüstung (Eurobalise und „Blechtefel“)
rechts: zusätzliche Ausrüstung mit konventionellen Lichtsignalen und zugehöriger Punktförmiger Zugbeeinflussung (PZB)
Vertiefend: *ETCS Level 2 ohne „Signale“ in einem großen Knoten*. Deine Bahn 3/2022 (<https://bit.ly/3S4NBdj>).

2025 sollte der Kern des DKS mit ETCS L2oS in Betrieb genommen werden – mit voraussichtlich rund 1.700 Zügen pro Tag.



Vertiefend: Auf dem Weg zum Digitalen Knoten Stuttgart: ein Überblick. Der Eisenbahningenieur 4/2020 (<https://bit.ly/3pyuXfg>).

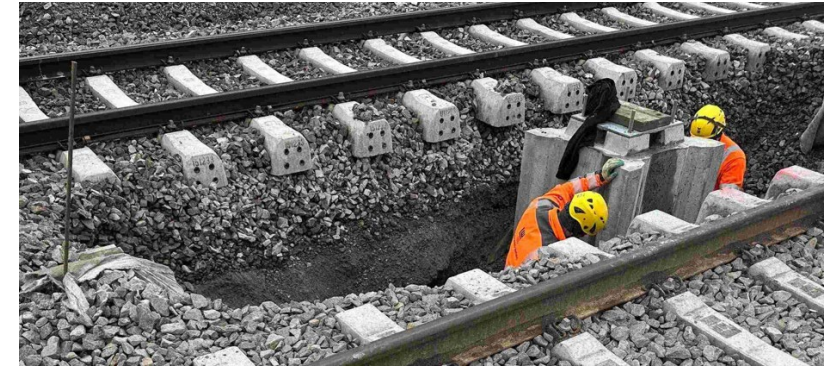
Die LST-Infrastruktur im Kern des Knotens nimmt zunehmend Konturen an. Erste geplante Teilbetriebnahmen wurden gleichwohl verfehlt.



Kabelzug in eingleisigem S-Bahn-Bestandstunnel (August 2023)



Gedoppelte Achszählpunkte auf der Stammstrecke (September 2023)



Schachtarbeiten in Stuttgart-Vaihingen (Januar 2024)

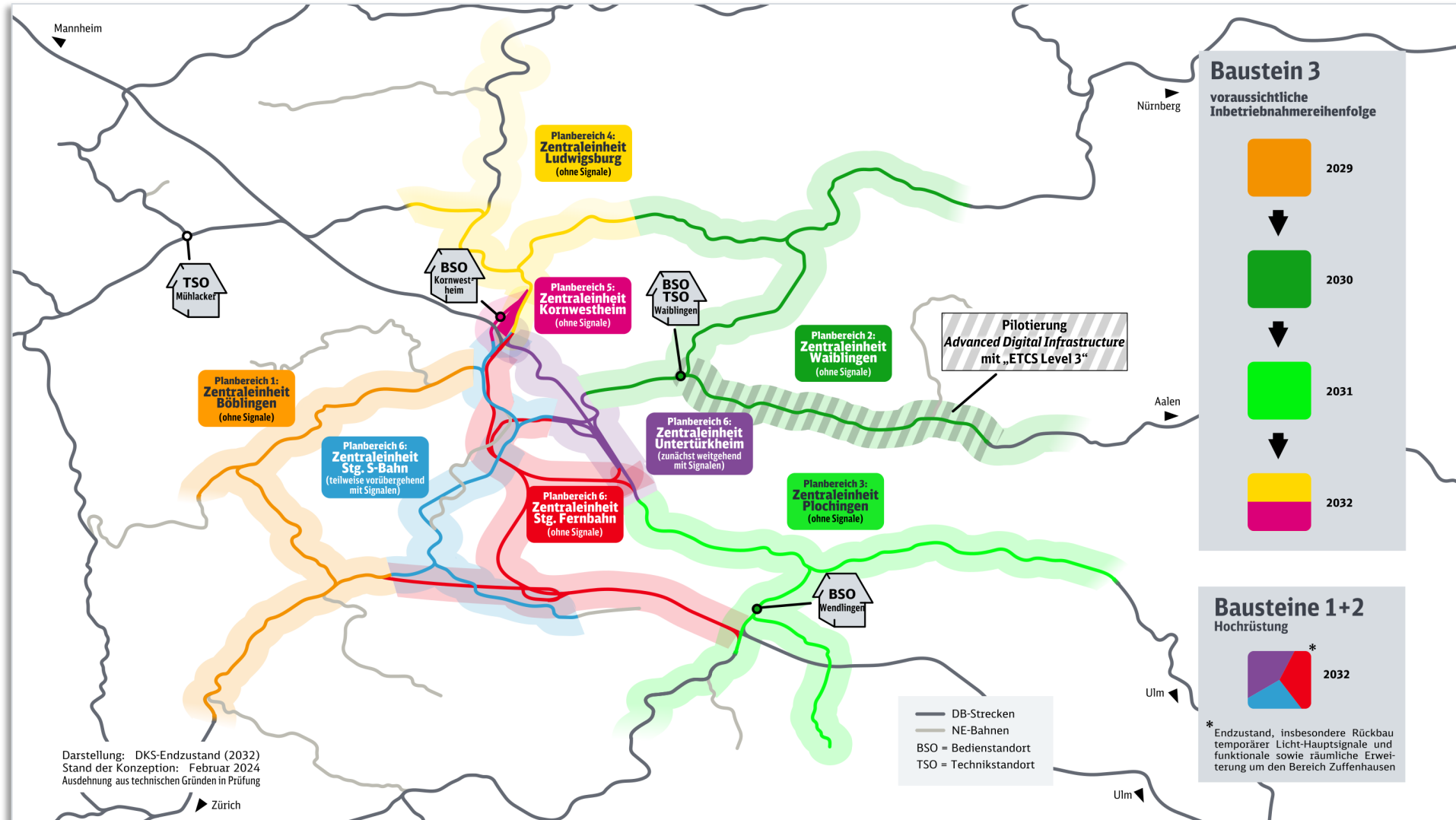


Bestandsstellwerk (links) und einer der beiden neuen Gleisfeldkonzentratoren (rechts) in Bad Cannstatt (im September 2023)



TSO/BSO Waiblingen (Januar 2024)





Die Planung des Stuttgarter Umlands (Baustein 3) nimmt weiter an Fahrt auf und beschäftigt inzwischen rund 150 DB-Mitarbeitende.



Vertiefend: *Der Digitale Knoten Stuttgart zwischen Licht und Schatten*. Der Eisenbahningenieur 3/2024 (<https://bit.ly/3PBmrv6>) sowie *Die Planung der Bahndigitalisierung der übrigen Region (DKS-Baustein 3) nimmt Kontur an*. Plakat zu den „Tagen der offenen Baustelle“ 2024 (<https://bit.ly/4cTZ7CU>).

Ein Großprojekt im Großprojekt: DSD-Nach- und -Ausrüstung von zunächst insgesamt mehr als 500 Triebzügen und Nebenfahrzeugen.



Typ	Hersteller	Anzahl	Baujahre	Konfiguration	Eigentümer	Betreiber	Ausstattung
 BR 423 S-Bahn	ALSTOM	60	1999 - 2005	4-teilig	DB Regio	DB Regio	PZB
 BR 430 S-Bahn	ALSTOM	97 58 (2. Serie)	2011 - 2022	4-teilig	DB Regio	DB Regio	PZB
 Flirt 3 Regionalverkehr	STADLER	13 9 19 14 11	seit 2018 seit 2018 seit 2018 seit 2018 seit 2019	3-teilig 4-teilig 5-teilig 6-teilig "XL", 3-teilig	SFBW	Go-Ahead	PZB PZB, LZB PZB PZB, LZB PZB
 Talent 3 Regionalverkehr	ALSTOM	26 26	seit 2019 seit 2017 (Vorserie)	3-teilig 5-teilig	SFBW	SWEG	PZB PZB

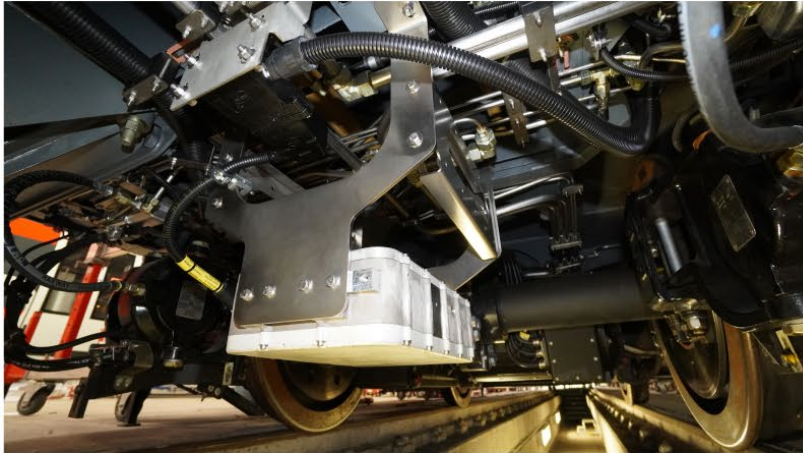


Visualisierungen rechts: Alstom (oben) und Siemens Mobility (unten). Nicht dargestellt ist die Nachrüstung von Nebenfahrzeugen.

Vertiefend: *Fahrzeugnachrüstung für den Digitalen Knoten Stuttgart*. Der Eisenbahningenieur 9/2021 (<https://bit.ly/3tFQWUB>), *Neue Doppelstocktriebzüge für den Digitalen Knoten Stuttgart*. Der Eisenbahningenieur 2/2023 (<https://bit.ly/3HD0M1c>) sowie *Siemens Mobility liefert 28 Mireo-Regionalzüge für Baden-Württemberg*. Presseinformation vom 10. August 2023 (<https://bit.ly/3LjBHe2>).

DB InfraGO AG | I.IDKXS | 11.04.2024

Eindrücke aus der First-of-Class-/Prototyp-Umrüstung von 18 S-Bahn- und Regionaltriebzügen.



Balisenantenne unter einer S-Bahn der Baureihe 430



Wegimpulsgeber unter einer S-Bahn der Baureihe 430



Dopplerradar unter einer S-Bahn der Baureihe 430



Antenne für 4G/5G auf dem Dach eines FLIRT 3



ein ETCS-/ATO-Fahrergerät (EVC) in der Baureihe 423



Verkabelungsarbeiten im FLIRT 3



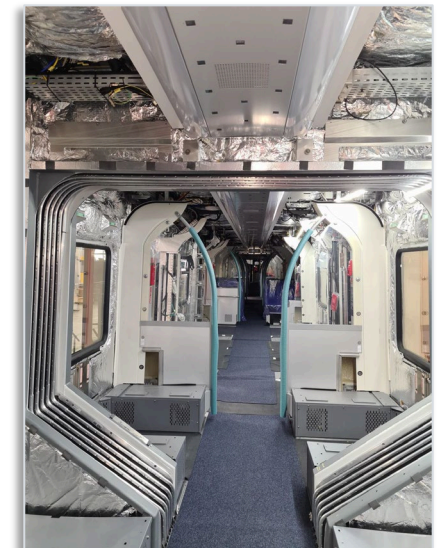
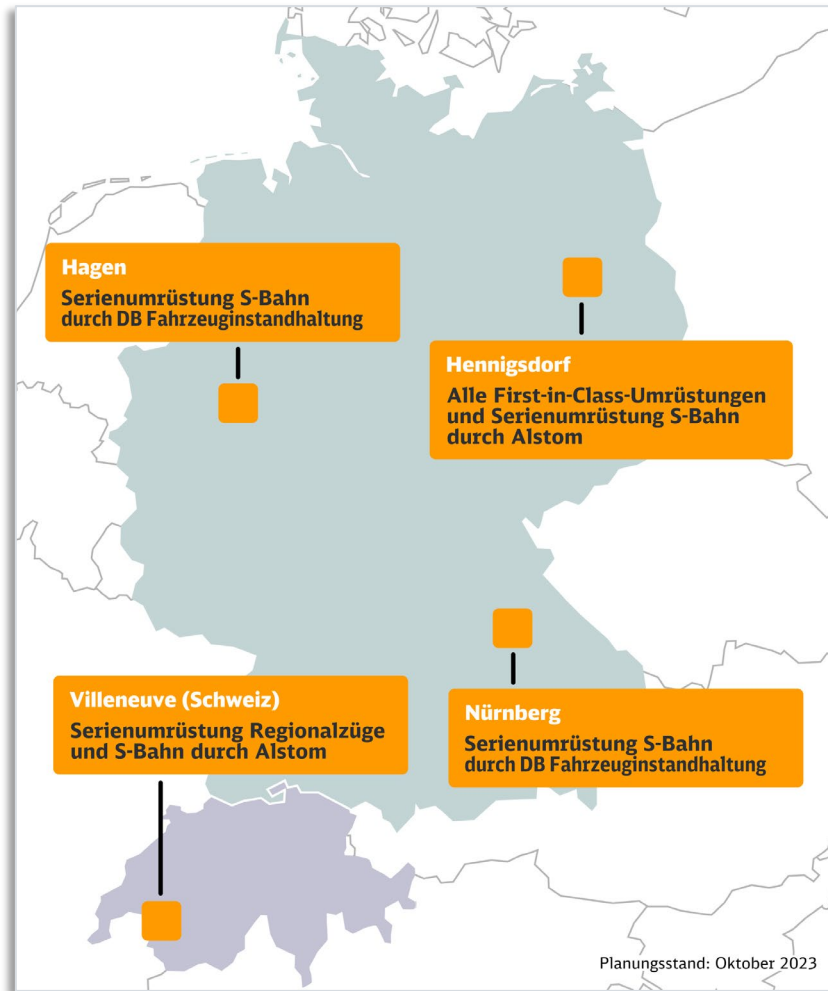
neue Displays und ATO-Taster in einer S-Bahn der Baureihe 423

Auszüge aus einem Plakat zu den „Tagen der offenen Baustelle“ 2024 (<https://bsu.link/tdob-infotafeln>)

Abbildungen: Alstom

DB InfraGO AG | I.IDKXS | 11.04.2024

Die Serienausrüstung einer ersten Baureihe (430.2) wurde im November 2023 begonnen und läuft inzwischen an vier Standorten.



Mittlere und rechte Spalte: Eindrücke aus der im November 2023 begonnen Nachrüstung im Alstom-Werk Villeneuve. Momentan sind insgesamt 16 Triebzüge in Serienrüstung.
Vertiefend: *Der Digitale Knoten Stuttgart zwischen Licht und Schatten*. Der Eisenbahningenieur 3/2024 (<https://bit.ly/3PBmrv6>).
DB InfraGO AG | I.IDKXS | 11.04.2024

Ab 2028 soll eine grundlegend neu gefasste Fahrdienstvorschrift für den digitalen Bahnbetrieb im DKS pilotiert werden.



„Klassische“ Fahrdienstvorschrift (Richtlinie 408)

Handlungs- & funktionsorientierter Aufbau

Alle Handlungen, die zu einem Unfall führen können, werden ausgeschlossen.

Aufteilung der Regelungen in Abläufe und detaillierte Beschreibung.

Regelwerk für den Betrieb im historisch gewachsenen Gesamtnetz

Berücksichtigung unzähliger technischer Ausrüstungsstände.

Klassische analoge Darstellungsform

Papiergebundene Ausgabe oder abrufbar via PDF.



Fahrdienstvorschrift für den digitalen Bahnbetrieb (Richtlinie 400)

Schutzziel- & prozessorientierter Aufbau

Durch Einhaltung der vorgegebenen Schutzziele werden Unfälle ausgeschlossen.

Regelungen werden prozessorientiert zusammengefasst und prozessual dargestellt.

Regelwerk für den Betrieb bei standardisierten Rahmenbedingungen

Anwendung bei identischen Rahmenbedingungen und daher Einführung parallel zum Rollout des Digitalen Bahnbetriebs.

Neue digitale Darstellungsform

Herausgabe erfolgt über eine digitale Anwendung.

Vertiefend: *Anwendung der Fahrdienstvorschrift für den digitalen Bahnbetrieb*. Deine Bahn 10/2023 (<https://bit.ly/4bpMJd8>).

Zusammenspiel von Fahrzeugen, Infrastruktur und Betrieb im DKS (Horizont 2030)

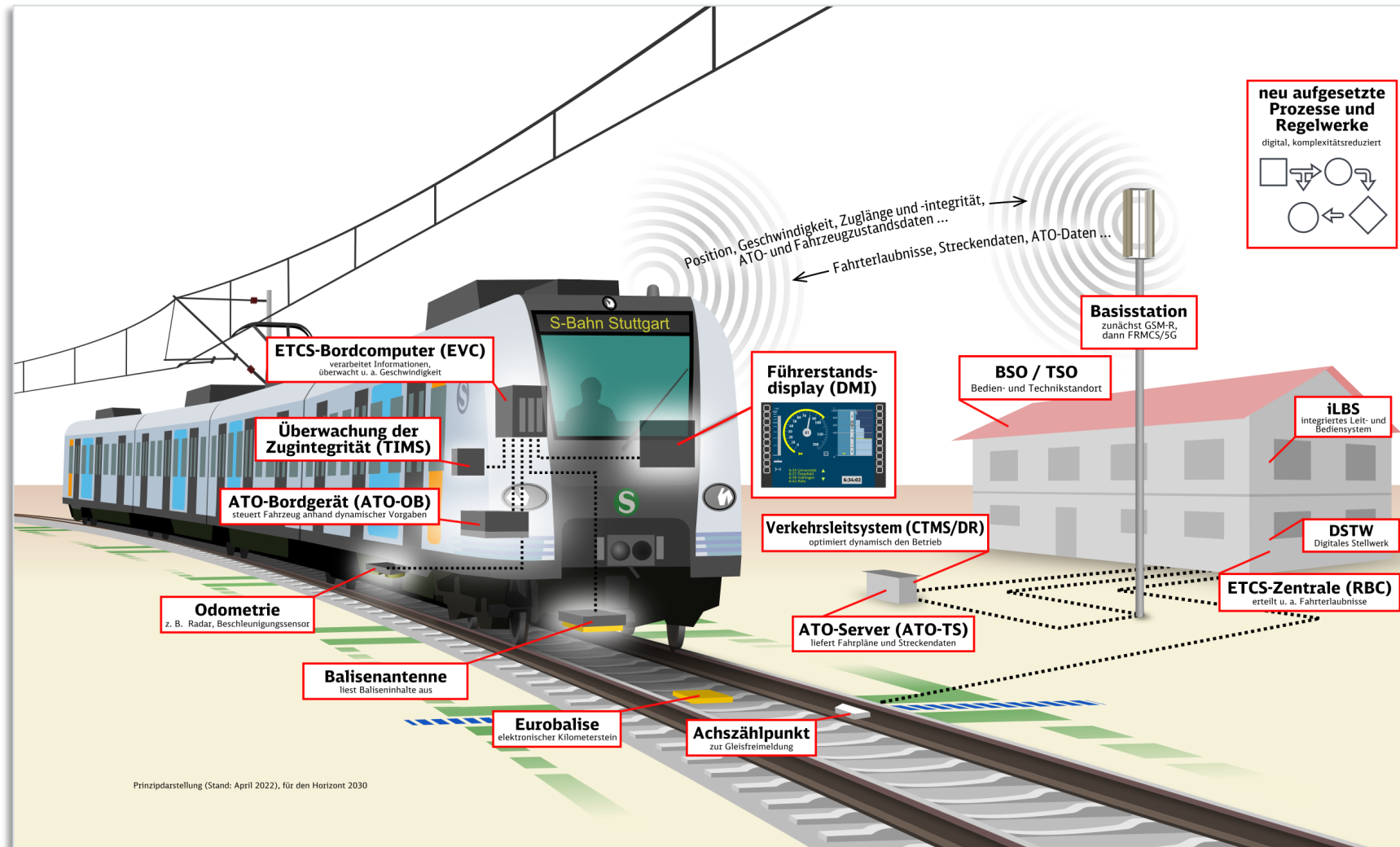
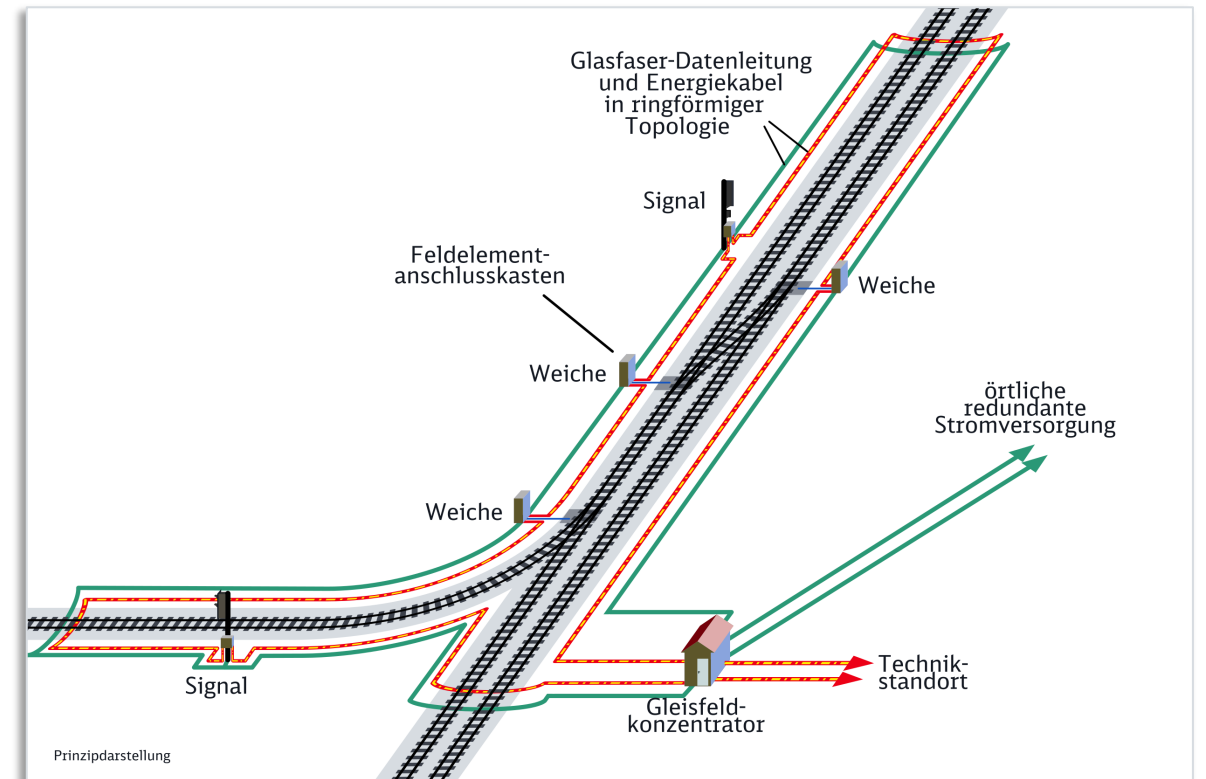
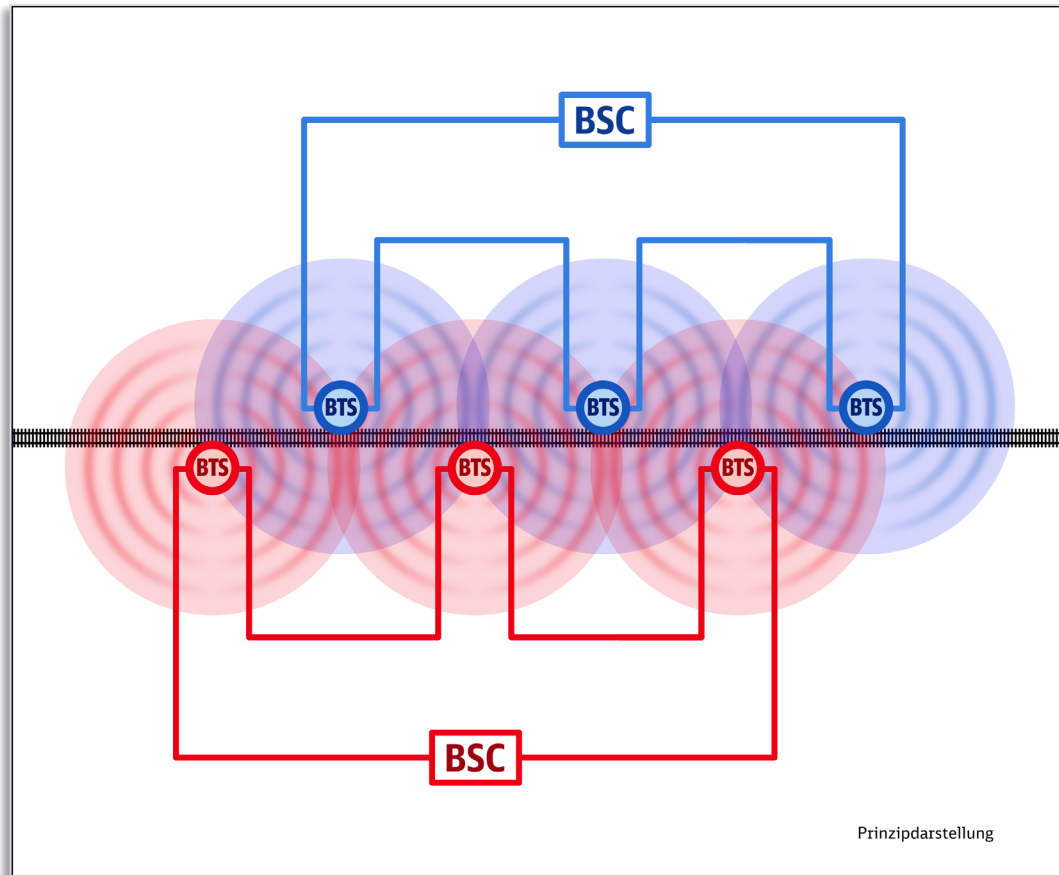


Abbildung: vereinfachte Architektur im Endzustand des DKS (mit Baustein 3, Horizont 2030)

Vertiefend: *Fahrzeugnachrüstung für den Digitalen Knoten Stuttgart*. Der Eisenbahningenieur 9/2021 (<https://bit.ly/3tFQWUB>).

Zwei von vielen Facetten eines robusten Gesamtsystems: Gleisfeldvernetzung in Ringen, voll redundantes GSM-R



Linke Abbildung: Alternierende Anbindung von in verdichteten Abständen aufgestellten GSM-R-Basisstationen (BTS) an die übergeordneten „Vermittlungsstellen“ (BSC).
Vertiefend: *Robuste LST-Infrastruktur im Digitalen Knoten Stuttgart*. Der Eisenbahningenieur 11/2022 (<https://bit.ly/3hiu0ZL>).

Im DKS arbeiten eine Reihe von Partnern insgesamt vertrauensvoll und lösungsorientiert zusammen.



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr

ALSTOM
• mobility by nature •



THALES



Verband Region
Stuttgart



Kofinanziert durch die
Europäische Union

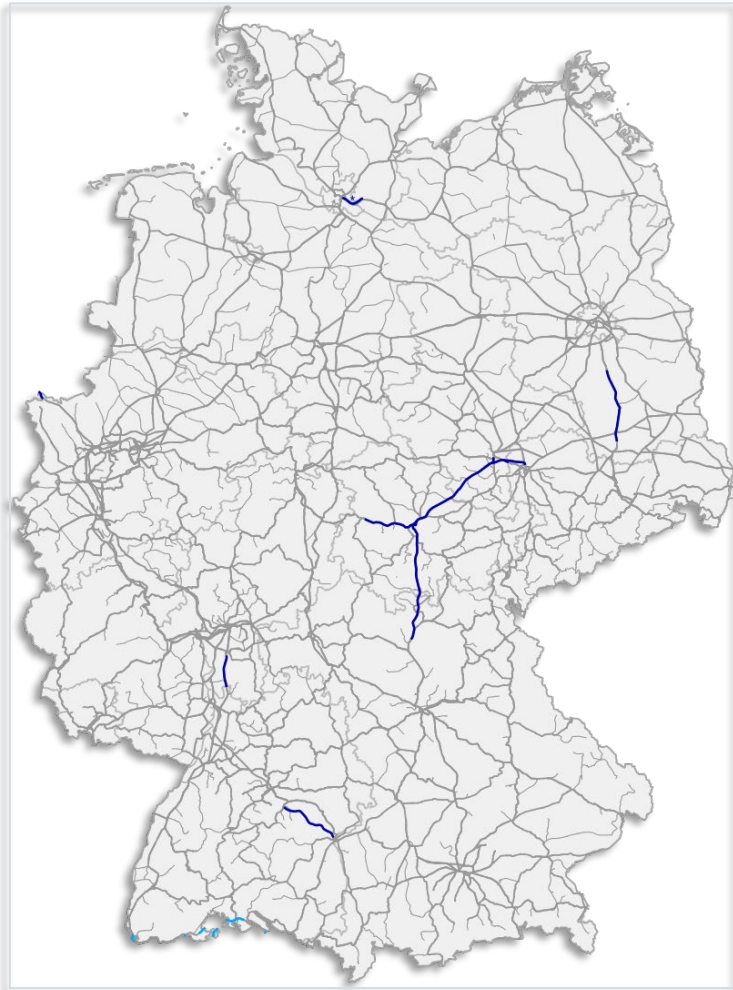


Ministerium für Verkehr
Baden-Württemberg

- Der DKS konnte so nur entstehen, indem vielfach
- nach Lösungen statt nach Problemen gesucht wurde.
 - dabei immer wieder um die beste Lösung gerungen wurde.
 - offen und vertrauensvoll *direkt miteinander* statt *auf Umwegen übereinander* gesprochen wurde.
 - das Bahnsystem als Ganzes in den Blick genommen wurde – mit Fahrzeugen, Infrastruktur und Betrieb.
 - Transparenz und Glaubwürdigkeit geschaffen wurde, auch Knackpunkte klar benannt wurden.
 - laufend über den Tellerrand geblickt wurde (gerade auch in die Schweiz).

1. Der DKS im Überblick
- 2. Optimierung für „maximale Leistungsfähigkeit“**
3. Systemwirkungen
4. Wesentliche Erfahrungen

Wir haben 520 km ETCS in Betrieb – und bislang offenbar nirgends Kapazität erhöht, sondern eher gesenkt. Warum eigentlich?



Beispielsweise

- wurde ETCS 1:1 der bestehenden Leit- und Sicherungstechnik übergestülpt und keine Optimierungen (wie Blockteilung) genutzt.
- denken wir kaum über Blockteilungen hinaus.
- nehmen wir vielfach (deutlich) längere Systemlaufzeiten (als konventionell/LZB) noch hin.
- müssen Züge aufgrund eher flacherer Bremskurven früher bremsen.
- kommt es zu Geschwindigkeitsbegrenzungen an ETCS-Einstiegen.
- überlagern sich Nachteile der Doppel- und Dreifachausrüstung (ETCS mit PZB und ggf. LZB).
- sind wir (DB) oft intransparent, führen kaum konkrete Debatten, machen Arbeit nicht selten „doppelt und dreifach“.

Was können wir daraus lernen?

Linke Abbildung: ETCS-Ausrüstungskarte (Wikimedia Commons, Urheber „Hbf878“, CC-BY-SA-2.0-Lizenz).

Die Diskussion um den Kapazitätsnutzen der LST-„Digitalisierung“ beschränkt sich allzu oft auf die Blockteilung.

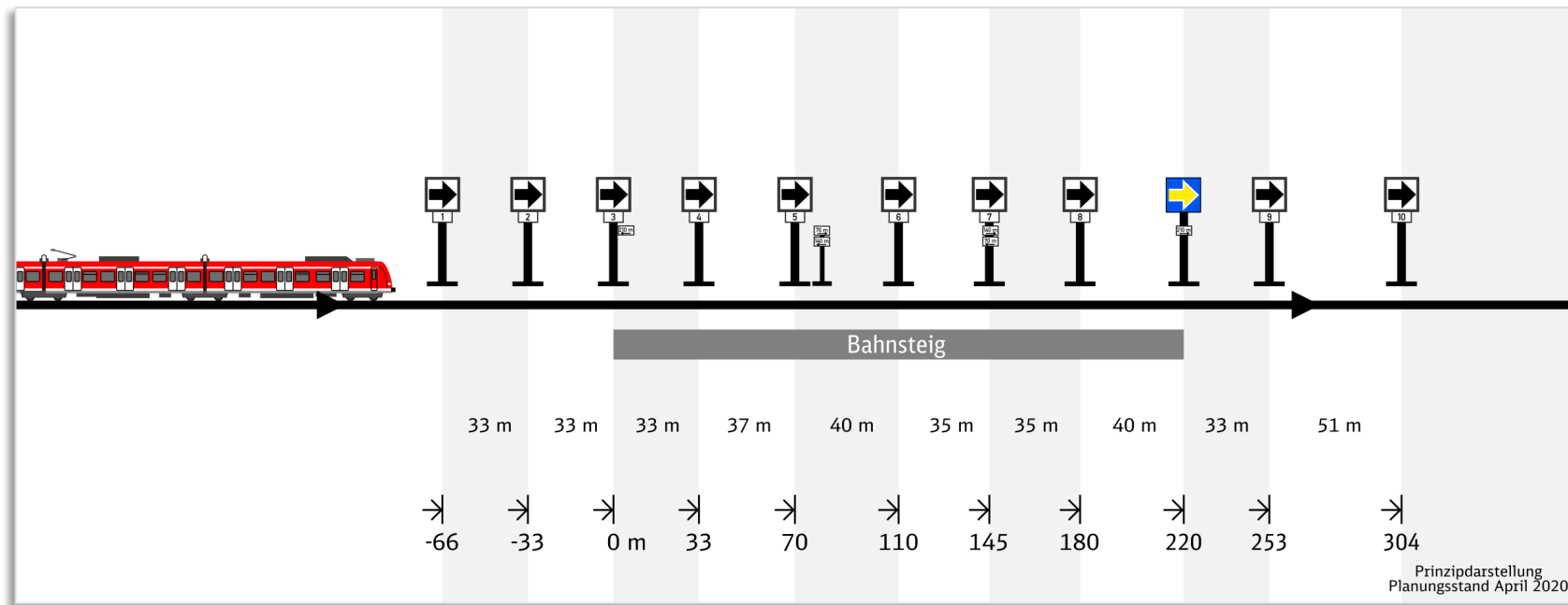
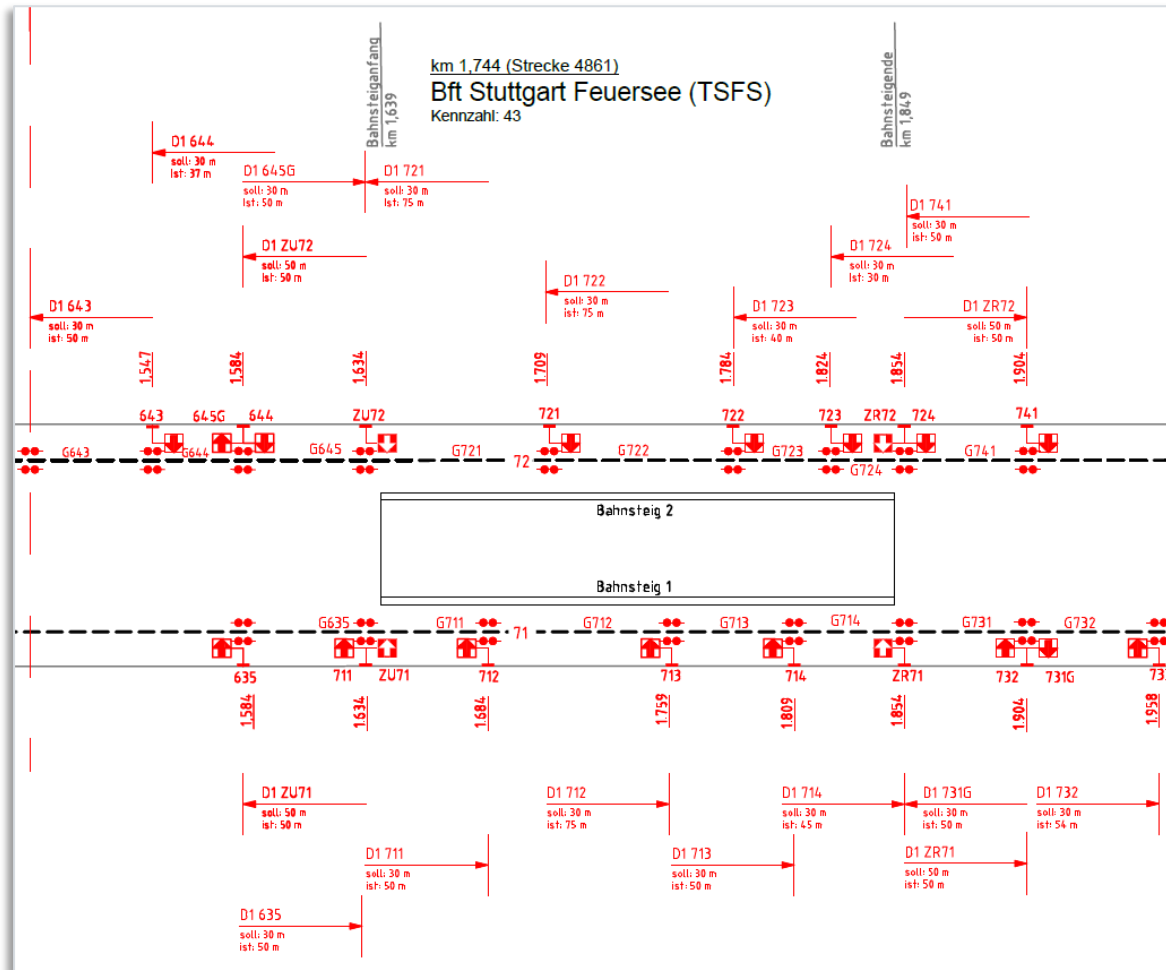


Abbildung: Prinzipdarstellung des Hochleistungsblock im Bereich der S-Bahn-Stammstrecke Stuttgart für eine fiktive, brettebene Station.
Vertiefend: *Optimierung der Blockteilung mit ETCS Level 2 im Digitalen Knoten Stuttgart*. Signal+Draht 7+8/2021 (<https://bit.ly/3Ai0gQR>).

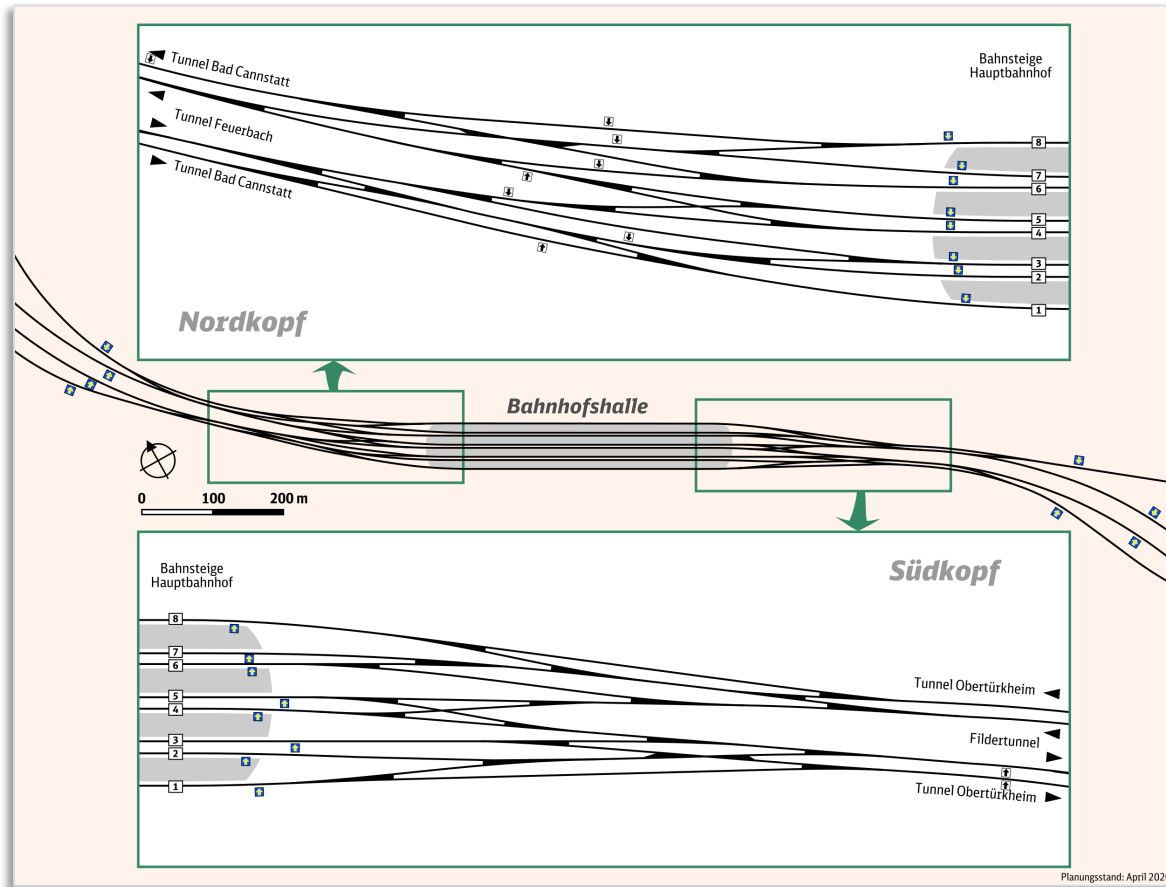
Eine optimierte Blockteilung kann durchaus leistungsfähiger und gleichzeitig einfacher als eine Standardblockteilung sein.



- Der S-Bahn-ETCS-Untersuchung in Stuttgart lag 2018 in Bahnsteigbereichen der S-Bahn-Stammstrecke eine starre Teilung mit rund 55 m langen Blöcken zu Grunde.
- Zur Ausführung kommt eine optimierte Blockteilung (Abbildung): Sie wurde mikroskopisch optimiert, um über alle Zugfolgefälle hinweg möglichst kurze Zugfolgezeiten zu erreichen.
- Im Beispiel werden 30 bis 75 m lange Abschnitte geplant.
- Die Mindestzugfolgezeiten auf der Stammstrecke konnten insgesamt gegenüber der S-Bahn-ETCS-Untersuchung um nochmals 2 % verkürzt, die Zahl der Signale/Blockkennzeichen gleichzeitig um 10 % gesenkt werden.

Abbildung: Auszug aus der PT1-Planung für die S-Bahn-Stammstrecke Stuttgart
Vertiefend: *Optimierung der Blockteilung mit ETCS Level 2 im Digitalen Knoten Stuttgart*. Signal+Draht 7+8/2021 (<https://bit.ly/3Ai0gQR>) sowie *Die Digitalisierung der S-Bahn-Stammstrecke Stuttgart (Teil 1)*. Signal+Draht 9/2023 (<https://bit.ly/46AzFOF>).

Auch die Blockteilung im Hauptbahnhof Stuttgart stößt aufgrund mehrerer Restriktionen zunächst an enge Grenzen.



Im Hauptbahnhof überlagern sich mehrere Restriktionen für die Blockteilung:

- an elektrischen Streckentrennungen (zwischen Einfahrtsignalen und Bahnsteigen)
- aus dem Brandschutz- und Rettungskonzept (keine signalbedingten Zughalte an der Zusammenführung verschiedener Tunnelröhren)
- bislang kein Hochleistungsblock an Bahnsteigen abseits der S-Bahn zulässig (Vermeidung nur teilweise am Bahnsteig haltender Züge)

Durch zukünftige Leittechnik (CTMS) können diese Restriktionen voraussichtlich weitestgehend aufgelöst werden: beispielsweise durch Berücksichtigung von Zuglänge, Stromabnehmerposition sowie der Bewegung des vorausfahrenden Zuges.

**Und an dieser Stelle hören wir (DB) bei „digitalen“
Leistungssteigerungen meist auf zu denken...**

**... dabei liegt der Großteil des „digitalen“
Kapazitätspotenzials nicht in der Blockteilung!**

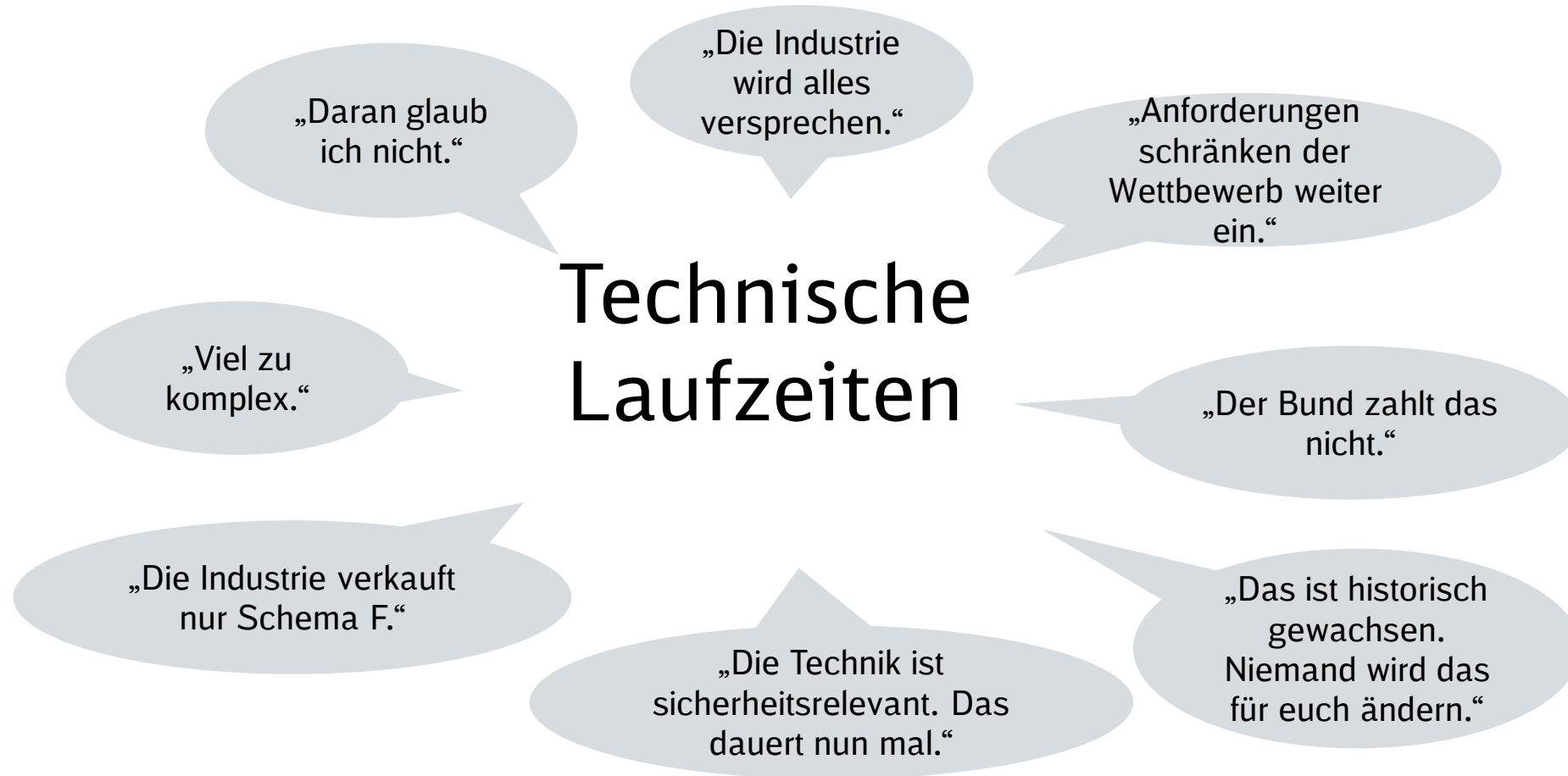
Es geht nicht nur um Blockteilung: Beispielsweise konnten uns die noch 2018 unterstellten Systemlaufzeiten nicht zufriedenstellen.



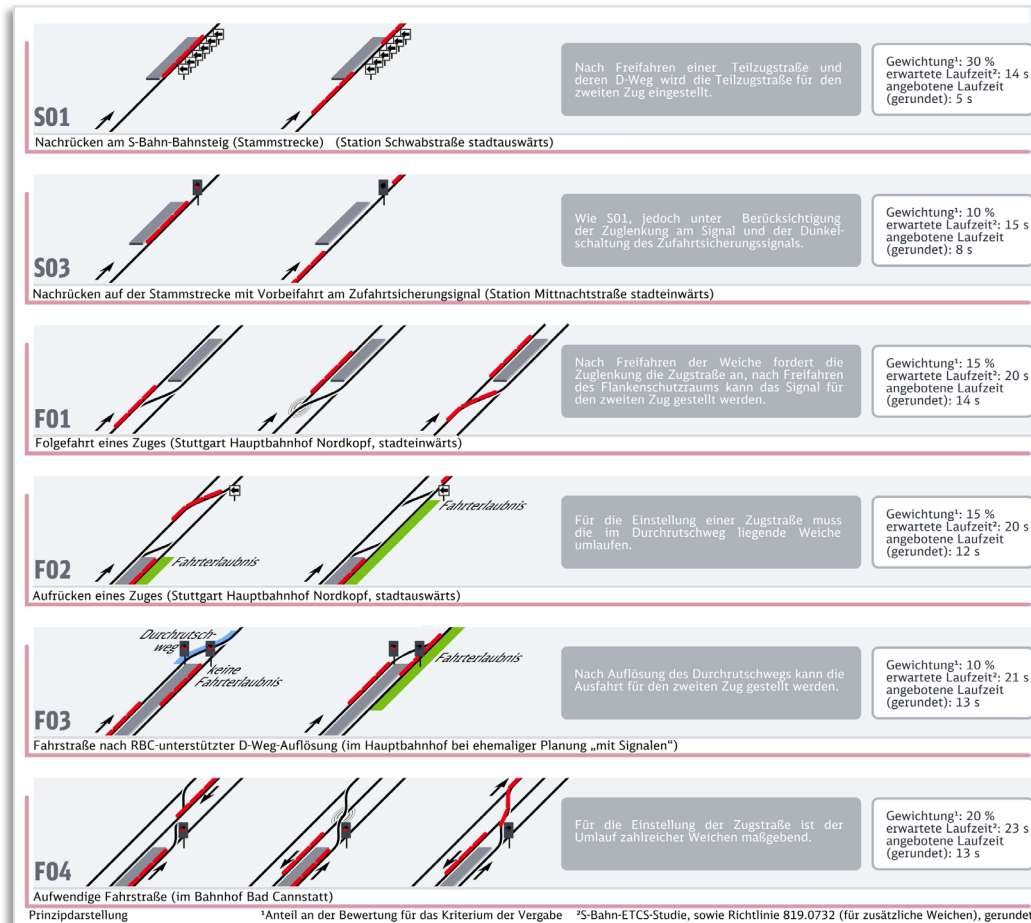
	Zeitanteil	Zeit (s)
Infrastruktur	Fahrstraßenauflösung	3,0
	Fahrstraßenbildung (ohne Weiche, mit Zuglenkung)	6,0
	Übertragung Stellwerk => ETCS-Zentrale (RBC)	0,5
	Verarbeitung in der ETCS-Zentrale	0,5
(Luft-)Schnittstelle	Übertragung der Fahrterlaubnis per Funk (GSM-R)	0,8
	Laufzeitverzögerung an weiteren Schnittstellen	1,0
Fahrzeug	Verarbeitung im ETCS-Fahrzeuggerät	1,5
Summe (gerundet)		14

Tabelle: In der S-Bahn-ETCS-Untersuchung von 2018 unterstellte technische Laufzeiten (Szenario ohne Weichen).
 Vertiefend: *Schnelle Leit- und Sicherungstechnik für mehr Fahrwegkapazität*. Der Eisenbahningenieur 6/2021 (<https://bit.ly/2SIQvjY>).

Eine Frage der Einstellung: Viele Kolleginnen und Kollegen sahen die technischen Laufzeiten als unveränderlich, beinahe gottgegeben.



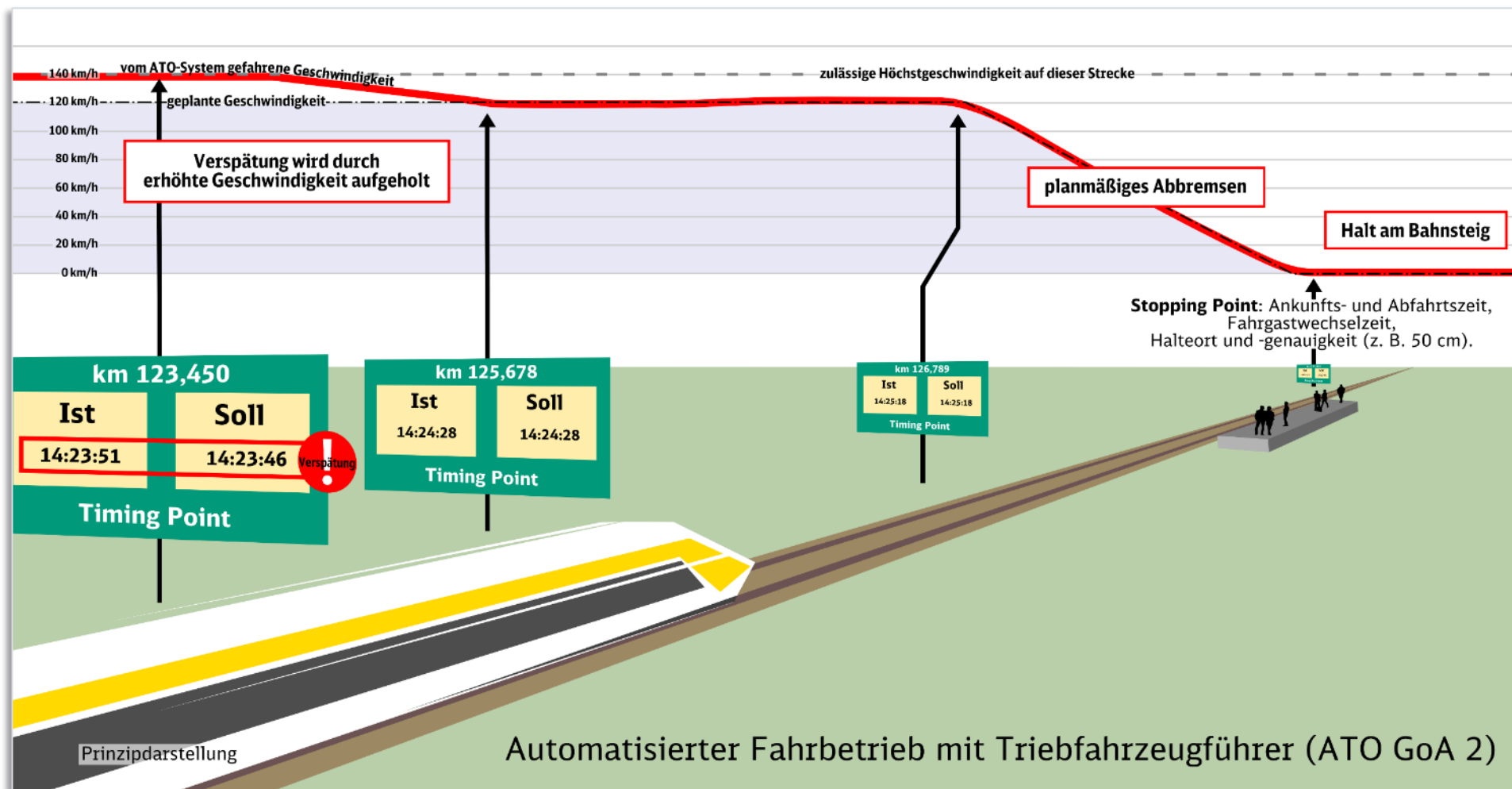
Nach einem Laufzeitwettbewerb wurden für den Kern des DKS deutlich reduzierte Infrastrukturlaufzeiten vertraglich vereinbart.



- Für sechs kapazitätskritische Szenarien (Abb.) zugesagte und nachzuweisende Laufzeiten waren, neben dem Preis und weiteren Kriterien, zuschlagsrelevant.
- Gegenüber dem Ergebnis der S-Bahn-ETCS-Untersuchung konnten die Laufzeiten um 5 bis 10 Sekunden verkürzt werden.
- Auf den maßgebenden Abschnitten der S-Bahn-Stammstrecke (Teilzugstraßen ohne Weichen) wurde die Infrastrukturlaufzeit (Stellwerk + RBC) von 11 auf 2 Sekunden reduziert.
- Die Umsetzung dieser Laufzeiten ist unter Praxisbedingungen (Last) nachzuweisen.
- In Verbindung mit weiteren Optimierungen (schnelle Fahrzeuggeräte, FRMCS) werden perspektivisch Ende-zu-Ende-Laufzeiten (ohne Weichen) von gerade einmal **2 Sekunden** erwartet.
- 12 Sekunden weniger entspricht beispielsweise 2 bis 4 zusätzlichen S-Bahnen pro Stunde und Richtung über die Stammstrecke.

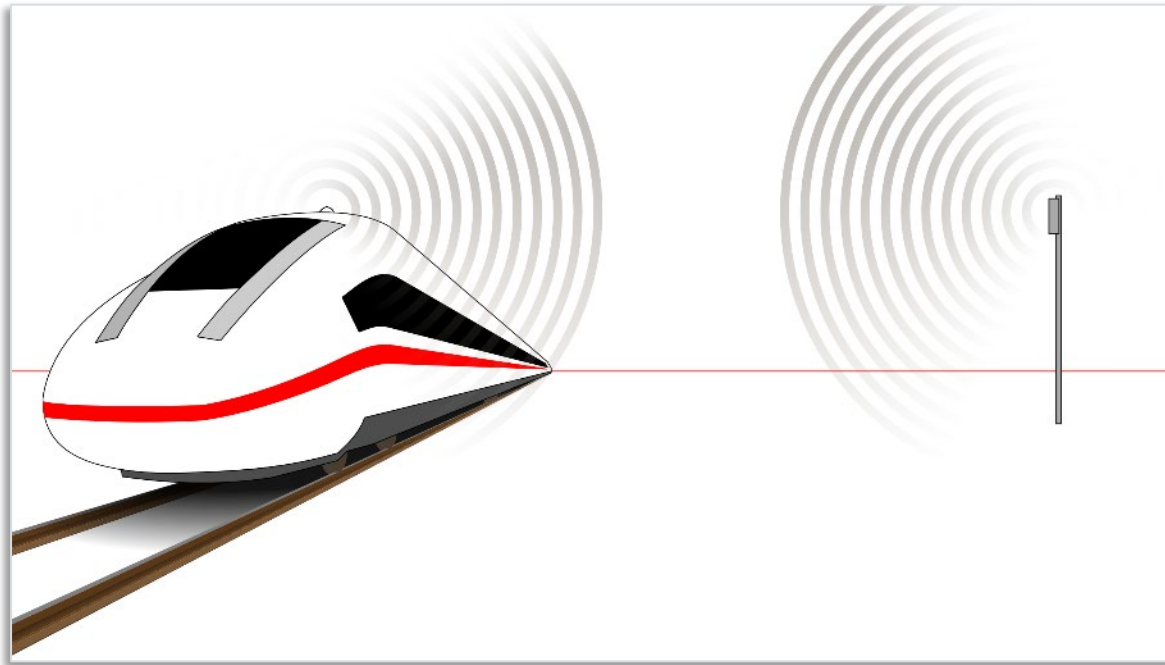
Vertiefend: *Schnelle Leit- und Sicherungstechnik für mehr Fahrwegkapazität*. Der Eisenbahningenieur 6/2021 (<https://bit.ly/2SIQvjY>) sowie *Nachrüstung von 333 Triebzügen für den Digitalen Knoten Stuttgart*. ZEVrail 5/2022 (<https://bit.ly/3DHZIOS>).

Auf ETCS setzt beispielsweise hochautomatisiertes Fahren mit Triebfahrzeugführer (ATO GoA 2) auf.



Vertiefend: *Nachrüstung von 333 Triebzügen für den Digitalen Knoten Stuttgart*. ZEVrail 5/2022 (<https://bit.ly/3DHZIOS>) sowie „Digitale“ Kapazitätssteigerungen: ein Sachstand. Eisenbahn Ingenieur Kompendium 2024 (<https://bit.ly/4cHBOfi>).

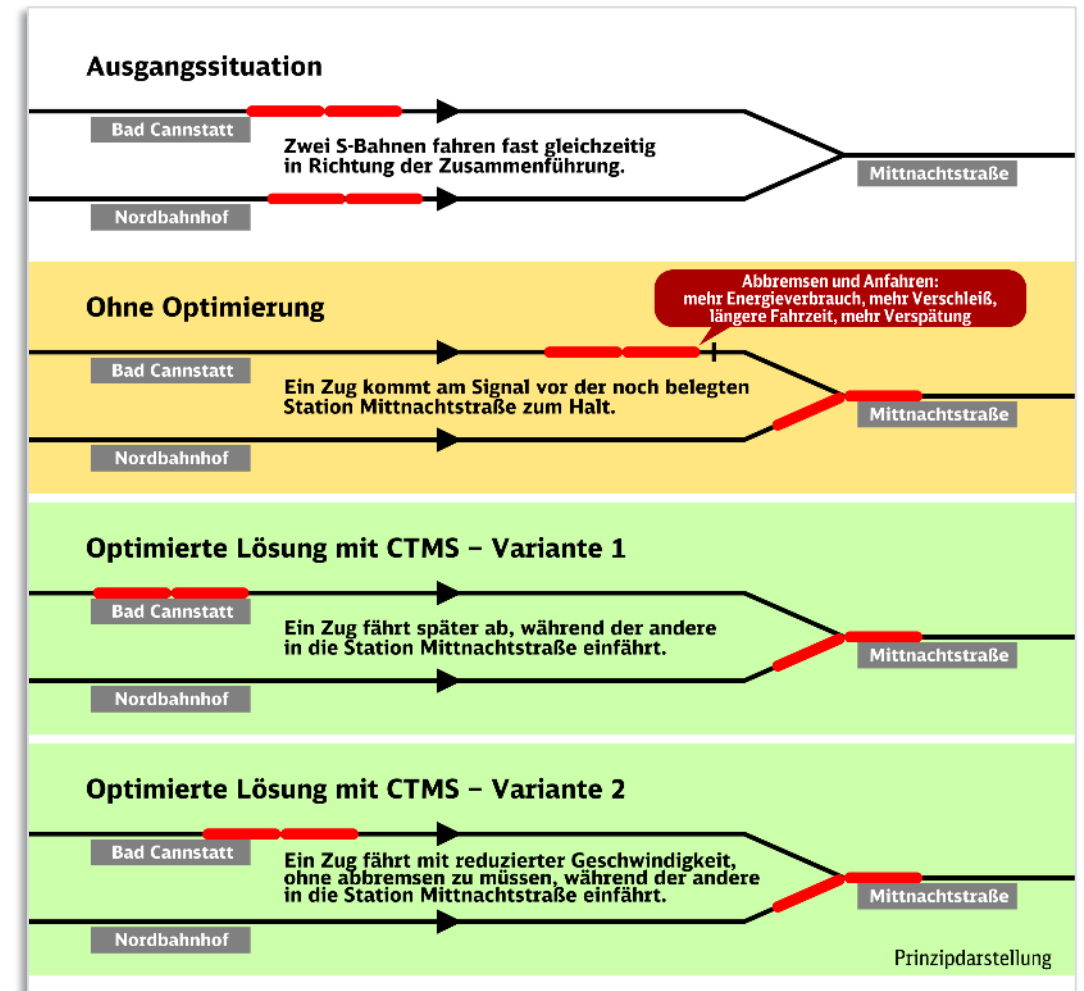
Zahlreiche Daten ebnen den Weg für viele Optimierungen, beispielsweise mit dem Verkehrsmanagementsystem CTMS.



Einige Beispiele für durch den Zug übermittelte Daten:

- Position und Geschwindigkeit (ETCS)
- präzise prognostizierte Durchfahrzeiten (ATO)
- Status von Traktion, Bremse und Stromabnehmer (Fahrzeugzustandsdaten – Train Capability Report)
- diverse Diagnosedaten (z. B. Funkpegel)

Vertiefend: „Digitale“ Kapazitätssteigerungen: ein Sachstand. Eisenbahn Ingenieur Kompendium 2024 (<https://bit.ly/4cHBOfi>) sowie Zum verkehrlichen Nutzen der Digitalen Schiene Deutschland. Der Eisenbahningenieur 2/2024 (<https://bit.ly/3SMoME9>).



Geschwindigkeitsempfehlungen per ETCS-Textmeldung (Lötschberg-Basistunnel, seit 2007)

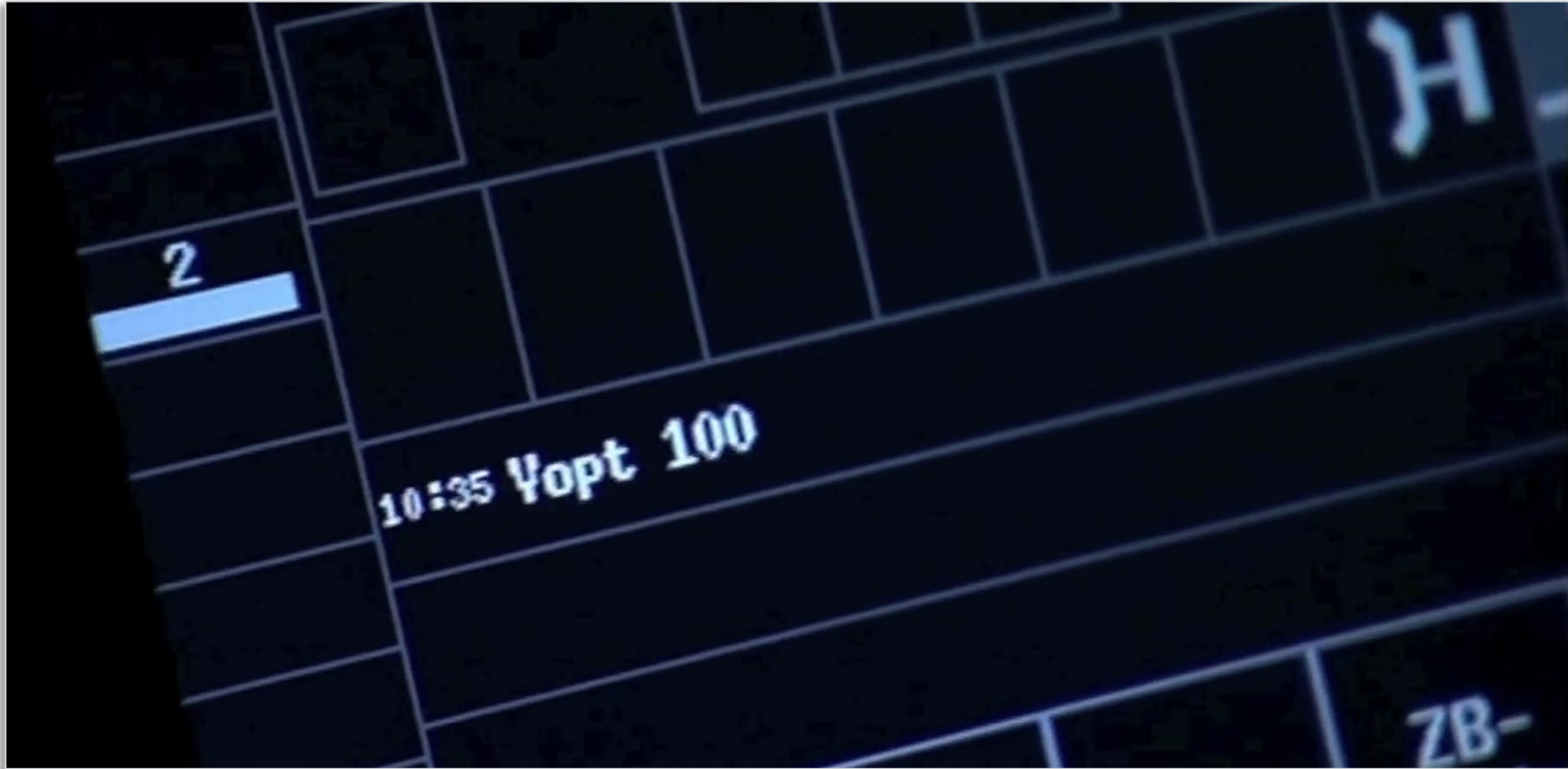
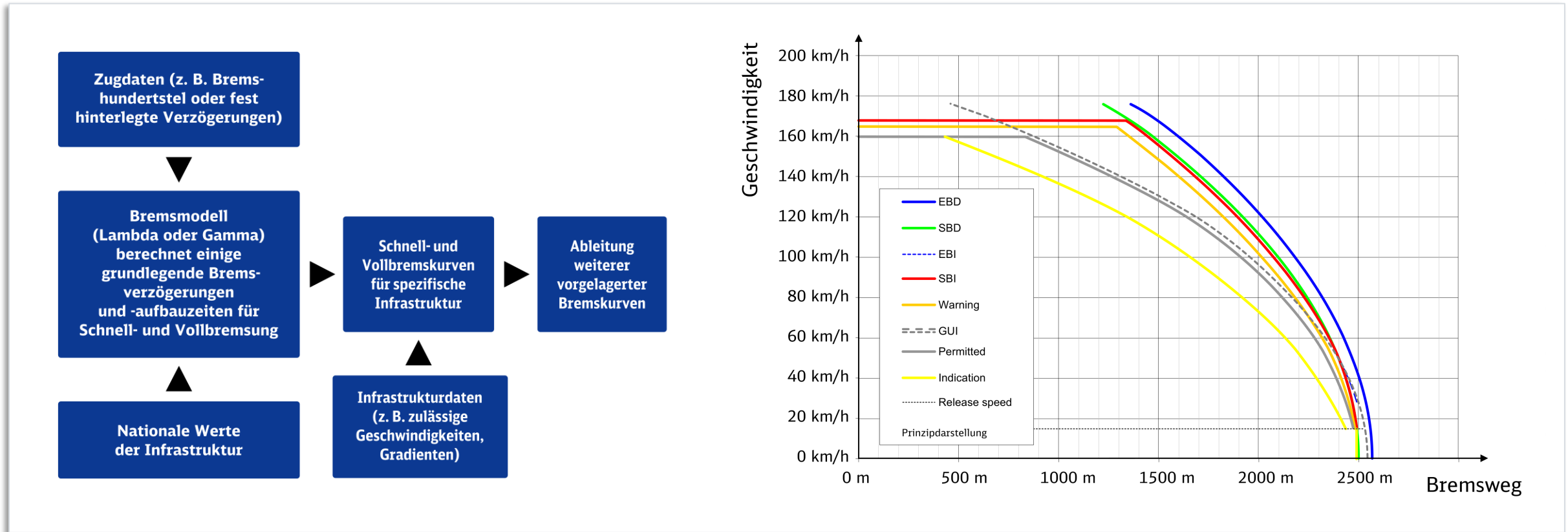


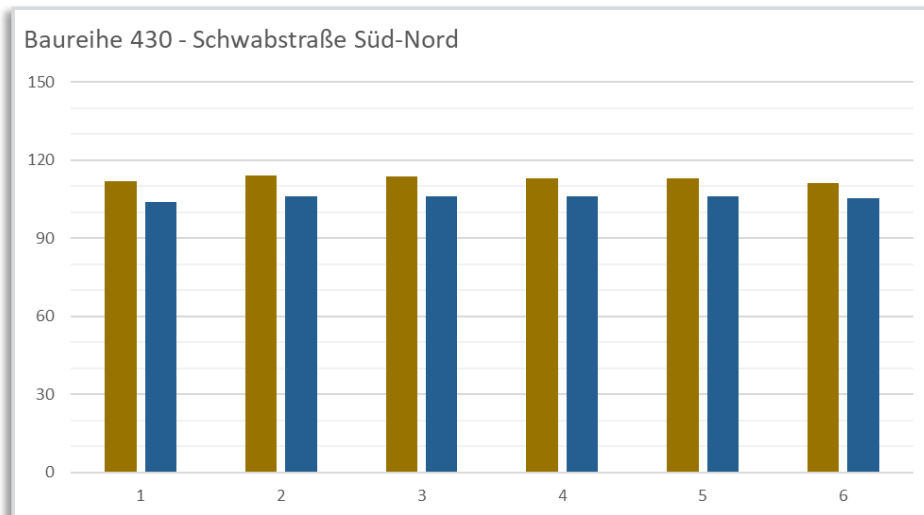
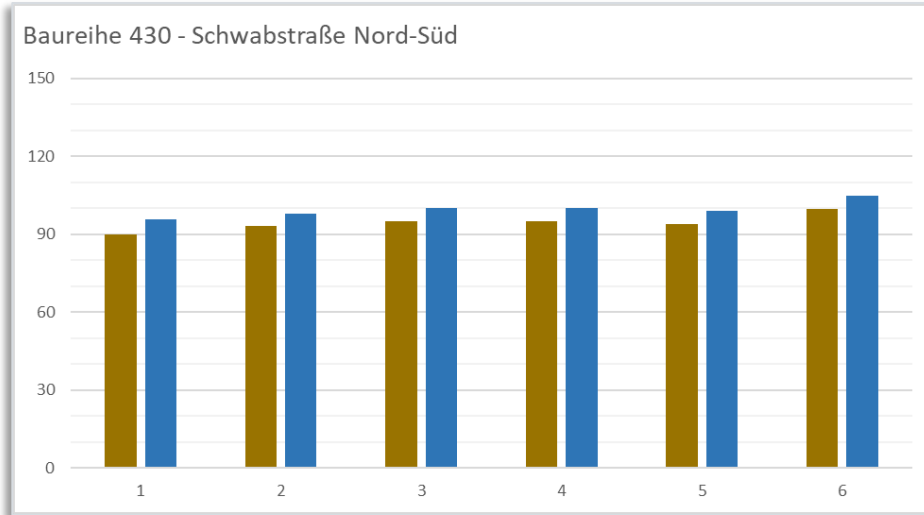
Abbildung: Geschwindigkeitsempfehlung für einen Güterzug per Textmeldung in der Führerraumanzeige (DMI), aus einem Bericht des SRF-Magazins „Einstein“ von 2010 (<https://bit.ly/3S2dI4t>)
TMS: „Traffic Management System“

Im Betrieb mit ETCS berechnen Züge eine Bremskurvenschar anhand einer Reihe von Zug- und Infrastrukturdaten mittels Bremsmodell.



Vertiefend: <https://de.wikipedia.org/wiki/ETCS-Bremskurven> sowie *ETCS-Bremskurven im Spiegel der Praxis*. Der Eisenbahningenieur 6/2023 (<https://bit.ly/3plqlhR>).

ETCS bietet für Triebzüge zwei Bremsmodelle (Lambda/Gamma), mit völlig unterschiedlichen Ansätzen, Stärken und Schwächen.



- ETCS bietet zur Bremskurvenberechnung zwei Modelle:
 - Lambda: Berechnung anhand althergebrachter Parameter wie Zuglänge, Bremsleistung u. a.
 - Gamma: gänzlich andere Berechnung anhand von Faktoren wie Schnellbremsverzögerungen und Sicherheitsfaktoren
- Feste Kompositionen (wie Triebzüge) können grundsätzlich beide Modelle nutzen.
- Das sich im Vergleich ergebende Bild ist vielschichtig. Für die Zugfolge ist beispielsweise das Gammamodell in Steigungen eher von Vorteil, im Gefälle eher Lambda (Abbildung), Gamma eher bei längeren Zügen.
- Für den DKS wurden Optimierungen ergriffen, z. B.:
 - Lambda-Gamma-Auswahl beim Aufstarten in Abhängigkeit von der Zuglänge und Bremszustand.
 - Präzise Modellierung von Sicherheitsfaktoren und rotierender Massen (statt Standardwerten).
- Im Kern des DKS wird überwiegend das Gammamodell verwendet und führt insgesamt zu etwas kürzeren Zugfolge- und Fahrzeiten.

Belegungszeiten an Bahnsteigabschnitten der S-Bahn-Station Schwabstraße für einen Triebzug der Baureihe 430 (als rund 140 m langer Vollzug) im Vergleich. Gamma-Werte stehen in Braun, Lambda-Werte in blau. Vertiefend: *ETCS-Bremskurven im Spiegel der Praxis*. Der Eisenbahningenieur 6/2023 (<https://bit.ly/3qURLLK>).

Je nach Zuglänge, Längsneigung und Geschwindigkeit kann das Lambda- oder Gamma-Modell für die Zugfolgezeit von Vorteil sein.



BR 430

Einfachtraktion

Neigung [‰]	Geschwindigkeit [km/h]				
	60	80	100	120	140
40	-1,4	-0,2	1,0	2,2	3,2
30	-0,8	0,6	2,2	3,6	4,7
20	0,0	1,8	3,6	5,3	6,7
10	1,1	3,3	5,7	7,8	9,5
0	2,7	5,6	8,6	11,3	13,4
-10	5,1	9,0	13,0	16,6	19,4
-20	9,0	14,5	20,3	25,5	29,2
-30	16,2	24,8	34,1	42,1	47,5
-40	32,2	48,6	66,9	81,7	90,2

Doppeltraktion

Neigung [‰]	Geschwindigkeit [km/h]				
	60	80	100	120	140
40	-3,0	-2,4	-1,7	-1,0	-0,6
30	-2,8	-2,0	-1,1	-0,4	0,1
20	-2,4	-1,5	-0,5	0,4	1,0
10	-2,0	-0,8	0,4	1,4	2,1
0	-1,3	0,0	1,5	2,8	3,7
-10	-0,5	1,3	3,2	4,8	5,9
-20	0,7	3,0	5,5	7,7	9,0
-30	2,6	5,8	9,2	12,1	13,9
-40	5,7	10,4	15,5	19,7	22,1

Dreifachtraktion

Neigung [‰]	Geschwindigkeit [km/h]				
	60	80	100	120	140
40	-3,2	-2,9	-2,3	-1,8	-1,5
30	-3,1	-2,6	-1,9	-1,3	-1,0
20	-3,0	-2,2	-1,4	-0,7	-0,3
10	-2,6	-1,7	-0,8	0,1	0,6
0	-2,2	-1,1	0,1	1,1	1,7
-10	-1,6	-0,2	1,3	2,5	3,3
-20	-0,7	1,0	3,0	4,6	5,5
-30	0,6	2,9	5,5	7,7	8,9
-40	2,6	5,9	9,7	12,7	14,3

BR 423

Neigung [‰]	Geschwindigkeit [km/h]				
	60	80	100	120	140
40	-2,2	-1,3	-0,5	0,3	0,7
30	-1,9	-0,9	0,2	1,0	1,5
20	-1,5	-0,3	1,0	2,0	2,6
10	-0,9	0,5	2,0	3,3	4,0
0	-0,2	1,5	3,5	5,1	6,0
-10	0,8	3,0	5,7	7,7	8,8
-20	2,2	5,3	8,9	11,6	13,0
-30	4,6	9,0	14,2	18,1	19,9
-40	8,8	15,7	24,1	30,0	32,5

Neigung [‰]	Geschwindigkeit [km/h]				
	60	80	100	120	140
40	-3,0	-2,5	-2,0	-1,5	-1,4
30	-2,9	-2,3	-1,6	-1,1	-1,0
20	-2,7	-2,0	-1,2	-0,6	-0,4
10	-2,5	-1,7	-0,7	0,0	0,3
0	-2,2	-1,2	0,0	0,9	1,2
-10	-1,8	-0,5	1,0	2,1	2,4
-20	-1,2	0,4	2,5	3,8	4,3
-30	-0,4	1,9	4,6	6,5	7,0
-40	1,0	4,2	8,2	10,8	11,5

Neigung [‰]	Geschwindigkeit [km/h]				
	60	80	100	120	140
40	-3,3	-2,9	-2,4	-2,1	-2,1
30	-3,2	-2,8	-2,2	-1,8	-1,8
20	-3,1	-2,6	-1,9	-1,5	-1,4
10	-3,0	-2,3	-1,5	-1,0	-0,9
0	-2,8	-2,0	-1,0	-0,4	-0,3
-10	-2,5	-1,6	-0,3	0,5	0,6
-20	-2,1	-0,9	0,7	1,7	1,8
-30	-1,5	0,0	2,2	3,5	3,7
-40	-0,6	1,5	4,5	6,4	6,5

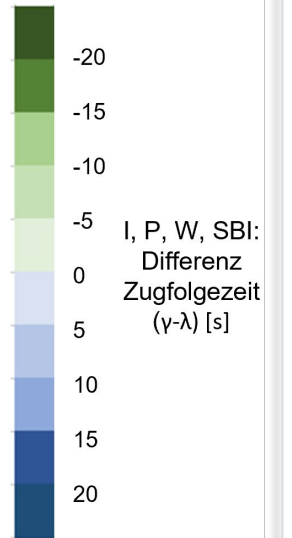


Abbildung: Unterschiede zwischen Gamma- und Lambda-Modell in Bezug auf die Mindestzugfolgezeiten bei den S-Bahn-Baureihen 423 und 430 und konstanten Geschwindigkeiten und Neigungen. Bei grünen Werten ist das Gamma-Modell von Vorteil, bei blauen Lambda. Vertiefend: *ETCS-Bremskurven im Spiegel der Praxis*. Der Eisenbahningenieur 6/2023 (<https://bit.ly/3plqlhR>).

Die im Gammamodell präzise modellierbaren Bremsaufbauzeiten führen zu eher späteren Bremseinsatzpunkten als im Lambdamodell.

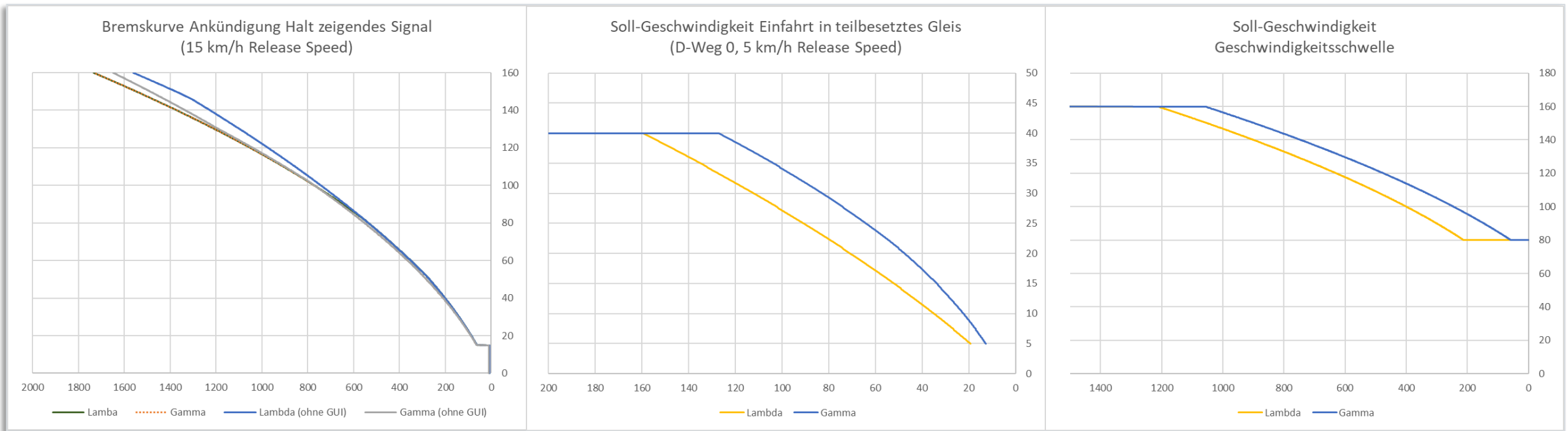
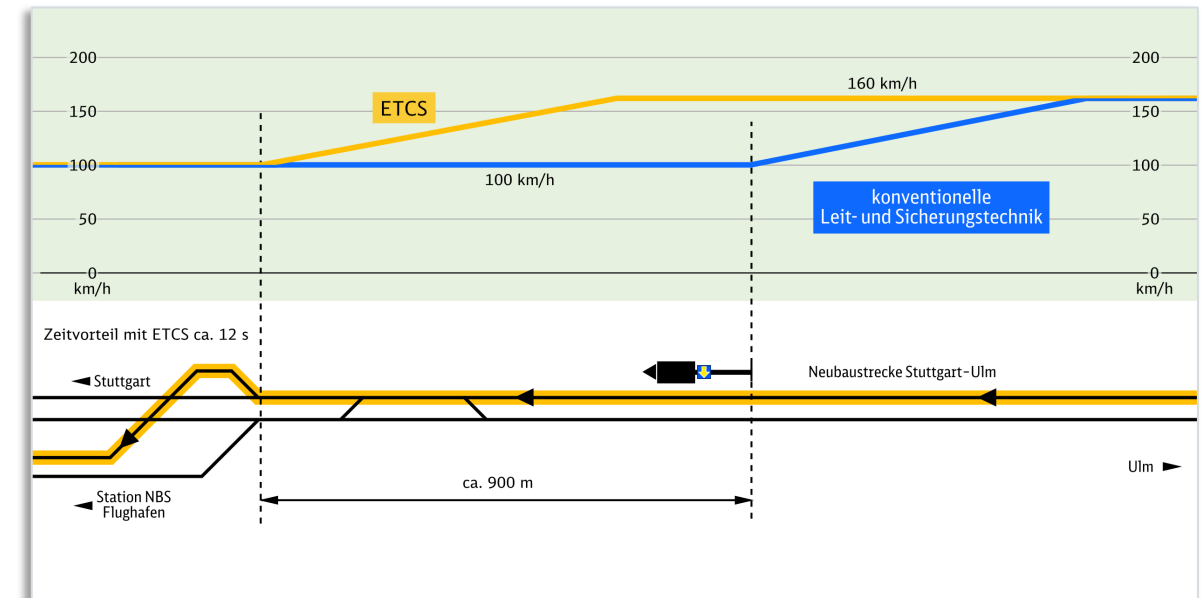
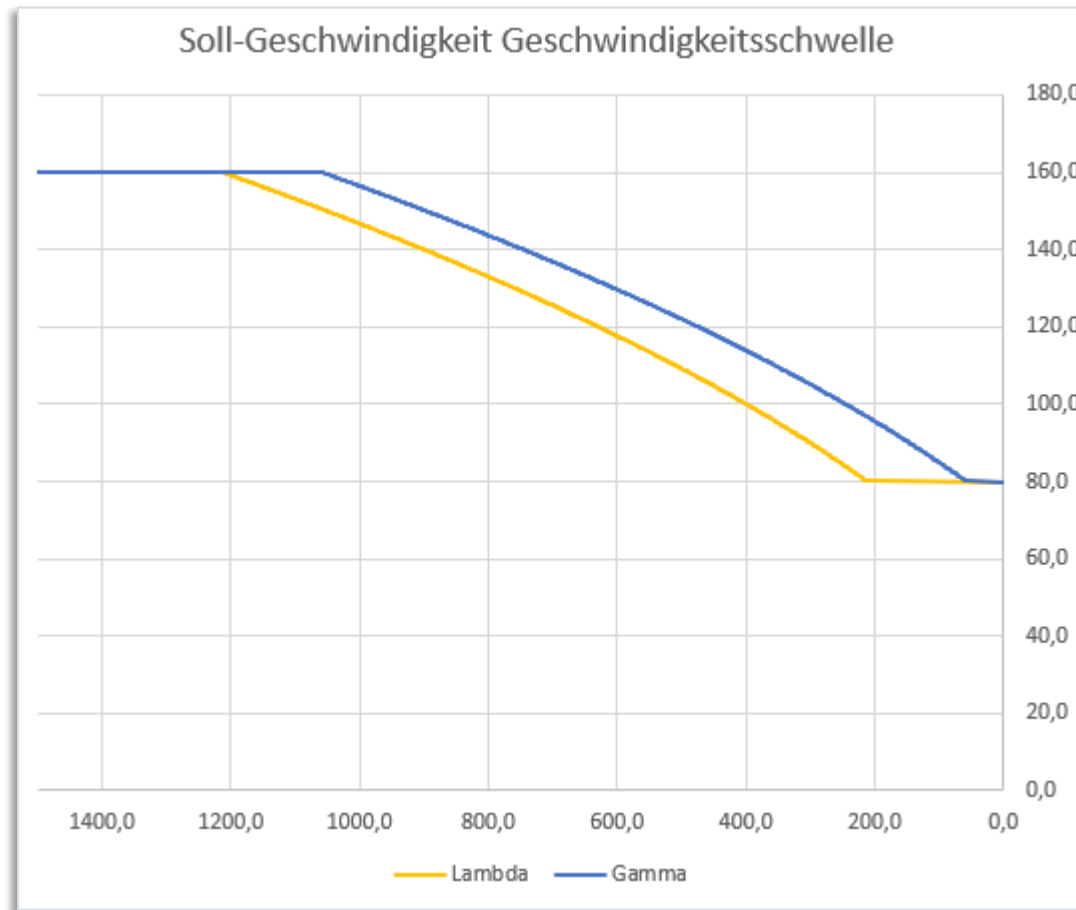


Abbildung: Aus dem Gamma- und Lambda-Modell resultierende Sollbremskurven in verschiedenen Betriebsfällen für einen Talent-Triebzug mit 15 Wagen. Vertiefend: *ETCS-Bremskurven im Spiegel der Praxis*. Der Eisenbahningenieur 6/2023 (<https://bit.ly/3plqlhR>).

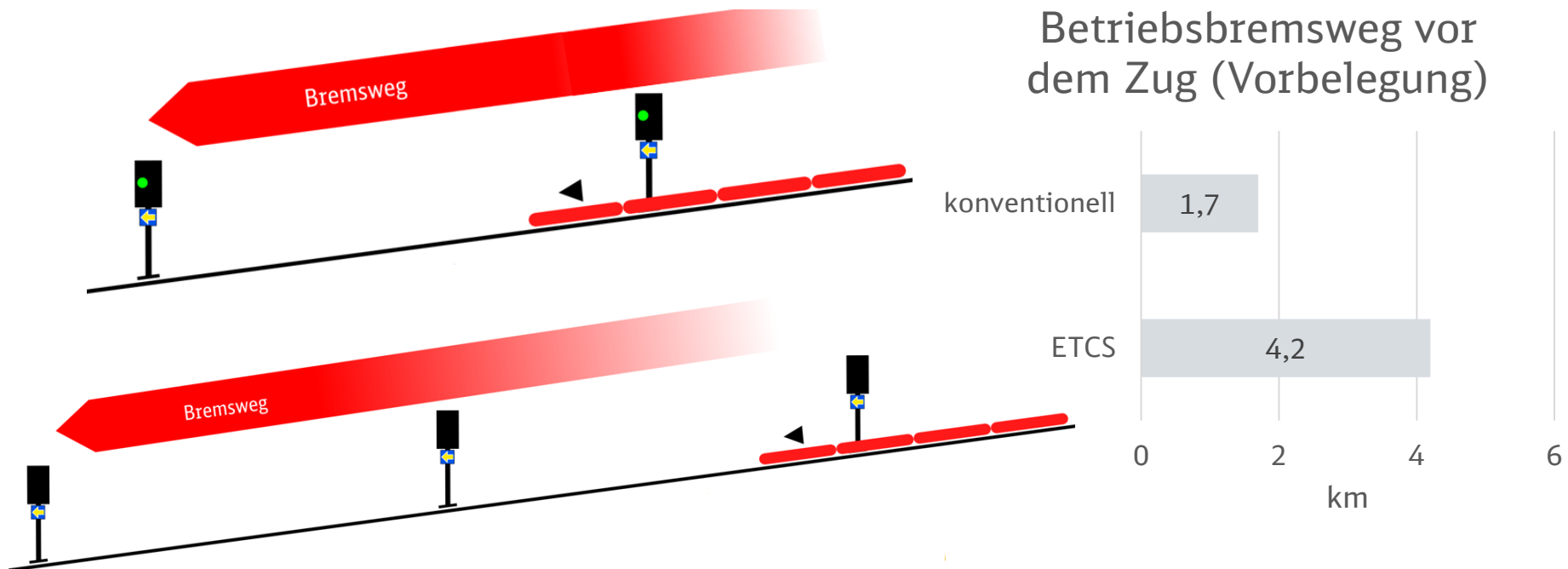
Bremskurven sind eine von vielen Facetten von ETCS (& Co.) für die Leistungsfähigkeit. Ihre Wirkung sollte im System bewertet werden.



Links: „Frühe“ Bremsung auf eine Geschwindigkeitsschwelle mit ETCS-Bremskurven (Permitted) mit Lambda- und Gammamodell für einen 160 km/h schnellen Regionaltriebzug (15-teiliger TALENT) bei einer Bremsung auf eine Geschwindigkeitsschwelle. Rechts: vergleichende Prinzipdarstellung der elementscharfen Geschwindigkeitssignalisierung mit ETCS im Vergleich zu konventioneller Signalisierung. Vertiefend: *ETCS-Bremskurven im Spiegel der Praxis*. Der Eisenbahningenieur 6/2023 (<https://bit.ly/3plqlhR>).

Eine bloße, nicht optimierte ETCS-Fahrzeugausrüstung kann zu Kapazitätsverlusten führen, z. B. aufgrund flacher Sollbremskurven.

Ein (extremes) Beispiel eines tatsächlich im DKS erwarteten Zuges in der Zufahrt auf Stuttgart Hauptbahnhof mit 160 km/h in 25 Promille Gefälle:



Der Zug verzehrt mit ETCS im Zulauf auf Stuttgart Hbf deutlich mehr Kapazität als mit konventioneller Technik – trotz optimierter Infrastrukturtechnik (Blockteilung, Laufzeiten).

Notwendiger Bremsweg vor dem Zug für unbehinderte Fahrt (Vorbelegung), wie er in der Fahrplankonstruktion unterstellt wird.

Konventionell: 1,2 km typischer Vorsignalabstand (ehemalige Planung im Fildertunnel) zzgl. 12 s Sichtzeit bei 160 km/h

ETCS: Vorgelagerte Indication-Bremskurve aus 160 km/h, abgeleitet aus Guidance Curve von 0,5 m/s² in 25 Promille Gefälle => Bremsverzögerung von rund 0,25 m/s².

Eine über bloßes ETCS hinausgehende, optimierte DSD-Fahrzeugausrüstung stiftet im System Bahn großen Nutzen.

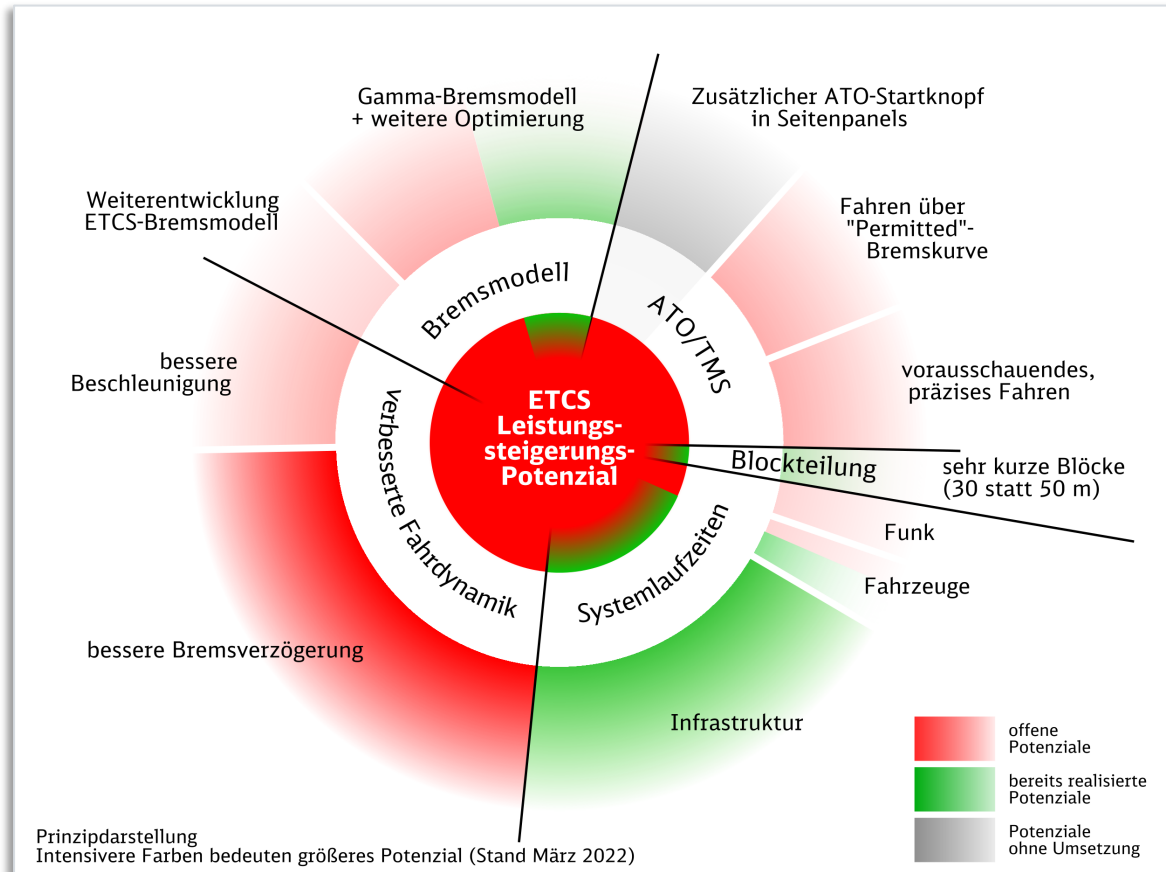


Am Beispiel zweier realer Züge ähnlicher Länge und Fahrdynamik im DKS:

	Wesentlicher Kapazitätseffekt	Zug 1	Zug 2
ETCS-Ausrüstung	Hochleistungsblock => schnellere Räumung	ja	ja
ATO GoA 2	präzise, straffe Steuerung (weniger Pufferzeit erforderlich)	ja	nein
verkürzte Laufzeiten sowie 5G-basierter Funk (FRMCS)	kürzere Belegung	ja	nein
Zugintegritätsüberwachung/ETCS Level 3	schnellere Räumung (kürzere Nachbelegung)	ja	nein
Fahrzeugzustandsdaten (Train Capability Report)	präzisere Steuerung (weniger Pufferzeit erforderlich)	ja	nein
ETCS-Bremssmodell	kürzere Vorbelegung	optimiert (Gamma-Bremssmodell)	nicht optimiert (Lambda-Bremssmodell)
Relevante Bremsverzögerung und Bremskurve für Zugfolge (Kapazität)	kürzere Vorbelegung	(>)1,0 m/s ² (mit ATO nahe EBI)	0,5 m/s ² (Guidance Curve)

- Beide Züge erfüllen die Mindestanforderungen des Netzzugangs (ETCS).
- Bereits 2025 (mit ETCS) wird Zug 1 wesentlich weniger Kapazität als Zug 2 verzehren.
- Mit Einführung weiterer Techniken in der Infrastruktur (ATO GoA 2, FRMCS, ETCS Level 3 ...) wird Zug 1 nur etwa die Hälfte der Fahrwegkapazität von Zug 2 verbrauchen.

Beispiel Stammstrecke: Im Zusammenwirken vieler Optimierungen werden rund 35% kürzere Zugfolgen erreicht – mit Potential für mehr.



Nicht dargestellt: genauere Lokalisierung als zunächst unterstellt (rund 5 statt modellierten 55 m Ortungsfehler) sowie reine Qualitätspotenziale (z. B. Geschwindigkeitserhöhungen für verspätete Züge).

- Die S-Bahn-ETCS-Untersuchung wies 2018 – unter konservativen Prämissen – mit ETCS und ATO GoA 2 um rund 20 Prozent kürzere Mindestzugfolgezeiten aus.
- Einschließlich gehobener Potenziale (grün in Abbildung) werden inzwischen rund 35 % kürzere Mindestzugfolgezeiten als konventionell erwartet.
- Weitere Potenziale (rot) werden noch untersucht.
- Eine Fahrzeugausrüstung, die über bloßes „Irgendwie-ETCS“ hinausgeht, ist für fast alle diese Optimierungen elementar.
- Die Frage ist nicht mehr, *ob* langfristig 36 statt heute 24 Züge pro Stunde und Richtung in der Leit- und Sicherungstechnik umgesetzt werden können,¹ sondern „nur“ noch *wie*.
- Das größte verbliebene Potenzial liegt dabei in der Fahrdynamik zukünftiger Neufahrzeuge. Würden sie beschleunigen und bremsen wie heutige (SSB-) Stadtbahnen, entspräche dies fast 20 s Zugfolgezeit.

(1) 100-s-Zugfolge einschließlich wenigstens ca. 15 s Pufferzeit, als Grundvoraussetzung, um das S-Bahn-System mit 6 Linien von einem 15- auf einen 10-Minuten-Takt zu verdichten.

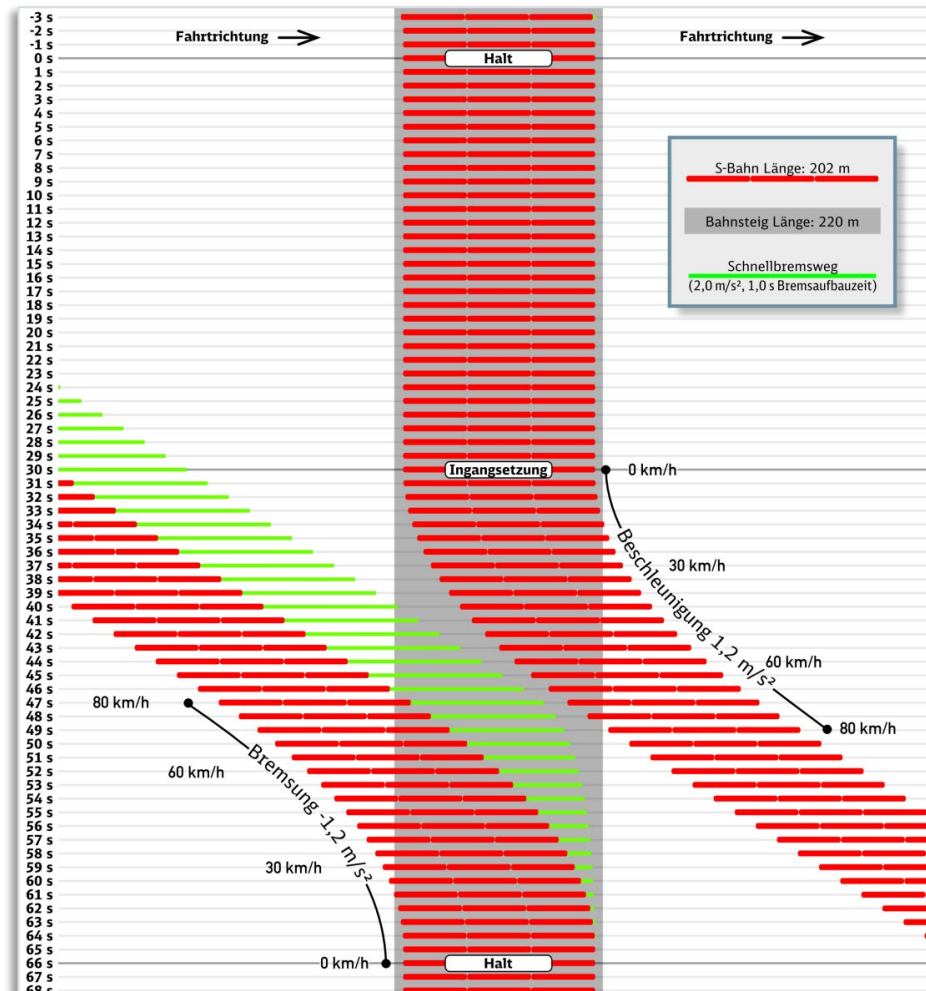
Leistungsziel für Stuttgart Hauptbahnhof mit dem DKS: 2-Minuten-Zugfolge im Zulauf, 5-Minuten-Zugfolge an jedem Bahnsteiggleis.



Der Pilotknoten der Digitalen Schiene Deutschland verbindet eine hochleistungsfähige Infrastruktur mit smarterer Technik: Auf jedem der acht Bahnsteiggleise kann ohne Weiteres alle fünf Minuten ein Zug fahren, auf jedem der acht daran anschließenden Streckengleise im Schnitt alle zwei Minuten. *Im S-Bahn-ähnlichen*

Ausschnitt: Statement des Konzernbevollmächtigten Thorsten Krenz vor dem S21-Ausschuss des Stuttgarter Gemeinderats am 16. Juli 2019 (<https://bit.ly/43NSwVL>)
Vertiefend: „Digitale“ Kapazitätssteigerungen: ein Sachstand. Eisenbahn Ingenieur Kompendium 2024 (<https://bit.ly/4cHBOfi>).
Ein weiterer vertiefender Artikel, zur Leistungsfähigkeit von Stuttgart 21, erscheint im „Eisenbahningenieur“ 6/2024.

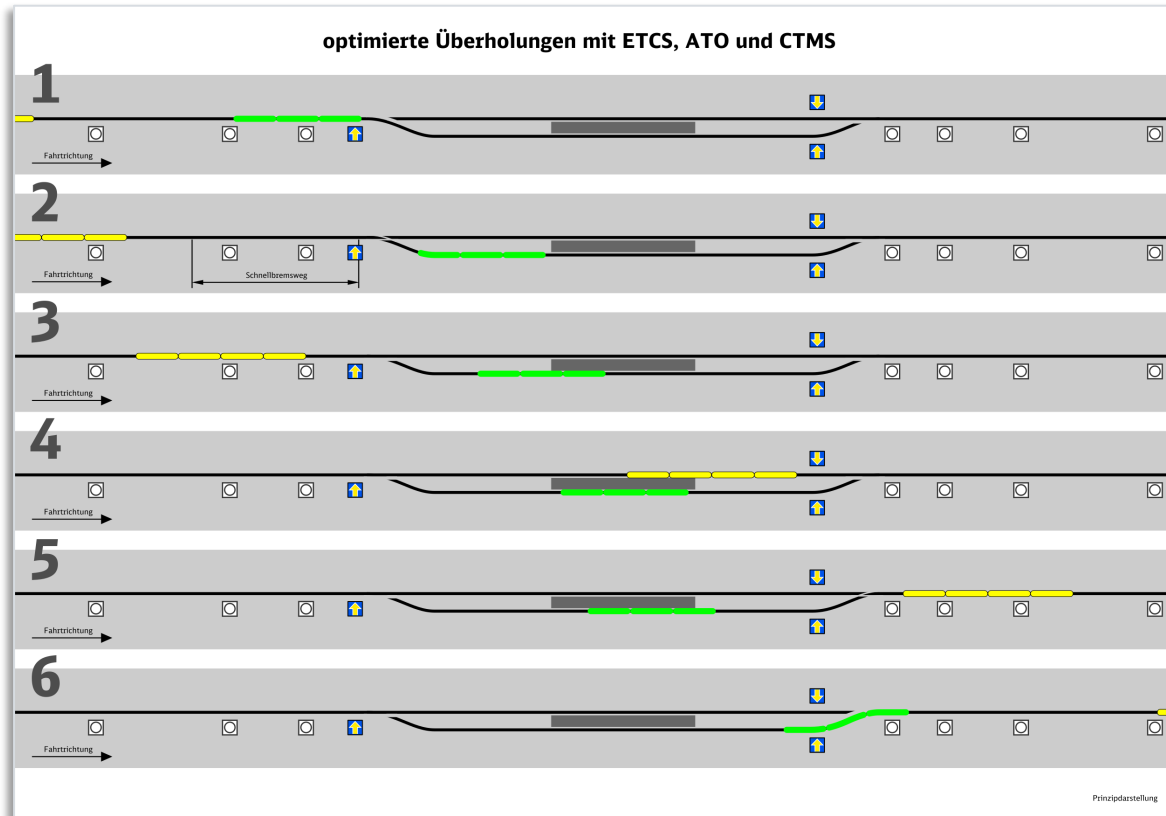
Und wie viel Kapazitätssteigerung können wir nun am Ende erwarten? Zunächst eine Näherung für eine S-Bahn-Stammstrecke.



- Mit ETCS wird eine (nahezu) beliebig feine Blockteilung ermöglicht.
- Mit ATO GoA 2 können Züge präzise Trajektorien vorausschauend bis knapp unter die Zwangsbremseinsatzkurve (EBI) geplant und gefahren werden.
- Das Verkehrsleitsystem CTMS führt anhand zahlreicher Daten (aus DSTW, ETCS sowie ATO GoA 2 mit Fahrzeugzustandsdaten) den nachfolgenden Zug präzise nach.
- In Verbindung mit fahrdynamisch optimierten Fahrzeugen, die eine ähnliche Fahrdynamik wie Stadtbahnen aufweisen, wird im vereinfachten Modell eine Zugfolgezeit von rund 66 Sekunden erreicht, einschließlich 30-sekündigen Halten am Bahnsteig.
- Um 36 Züge pro Stunde und Richtung stabil zu fahren, müssen in der Praxis unter 90 Sekunden erreicht werden.

Abbildung: **Prinzipdarstellung** einer S-Bahn-Zugfolge mit fahrdynamisch optimierten (SSB-Stadtbahnen entlehnten) Neufahrzeugen mit präziser Nachführung in einem idealisierten System, ohne Berücksichtigung von technischen Laufzeiten, Längsneigungen, Blockteilung u. a.

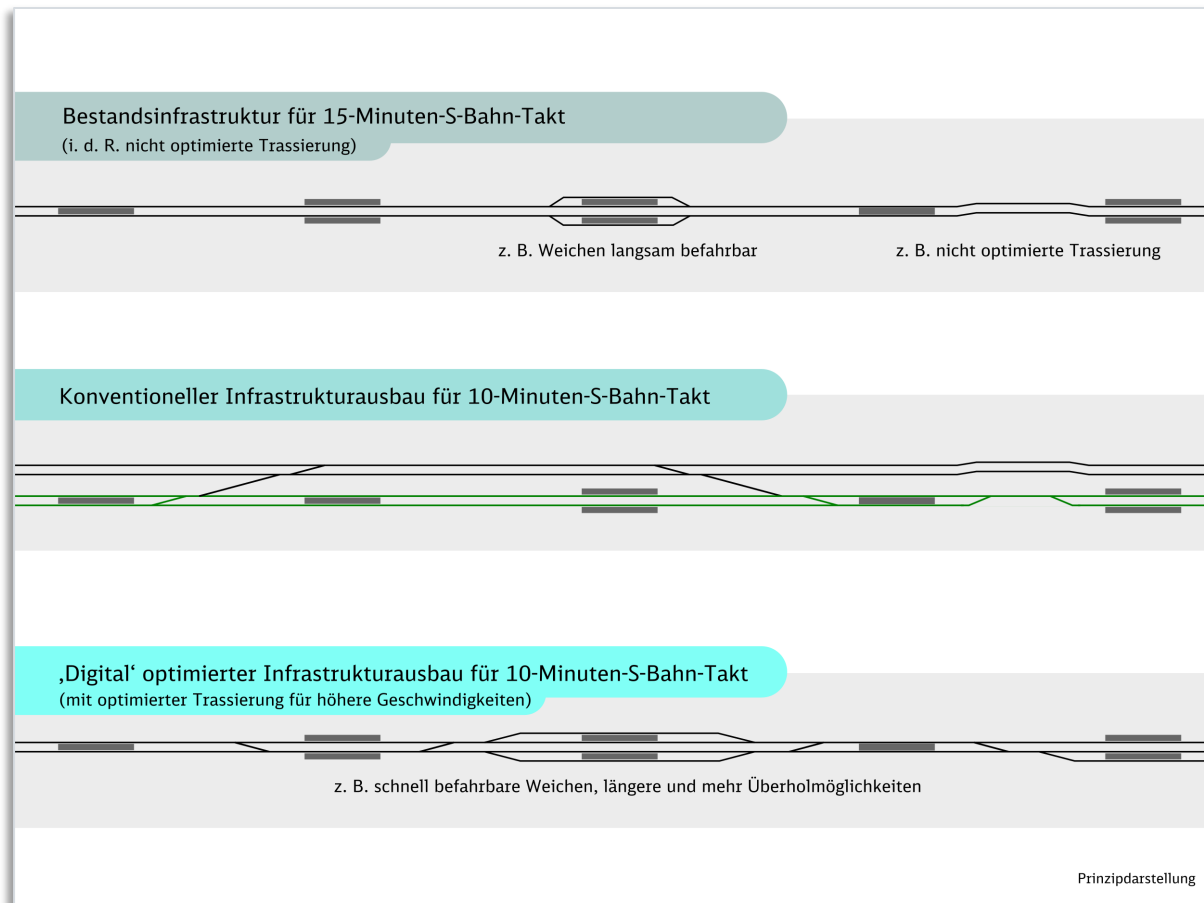
Vielschichtige Optimierungen von Fahrzeugen und Infrastruktur ermöglichen schlanke Überholungen während der Verkehrshaltezeit.



- Überholung einer S-Bahn (grün) durch einen 130 km/h schnellen Regionaltriebzug (gelb)
- Wesentliche „konventionelle“ Optimierungen:
 - Überholgleise mit 0,7 km Gleisnutzlänge
 - Weichen für 100 km/h
 - optimierte Fahrdynamik des Regionalzugs
- Wesentliche „digitale“ Optimierungen
 - verkürzte Systemlaufzeiten
 - vorausschauende Führung mit ATO GoA 2 und CTMS
 - optimierte Blockteilung (mit ETCS Level 2oS)
 - optimierte ETCS-Bremskurven (Gammamodell)
 - aufgelöste Restriktionen an elektrischen Streckentrennungen
- Weitere Potenziale verbleiben, darunter:
 - vorausschauende Führung bis kurz vor Zwangsbremseinsatz
 - vorausschauende Fahrt gegen „Halt“ zeigende Ausfahrtsignale
 - optimierte Fahrdynamik der S-Bahn

Abbildung: Überholung einer S-Bahn durch einen 130 km/h schnellen Regionalverkehrs zug während eines ca. 30-sekündigen Halts.
Vertiefend: *Maximierung der Fahrwegkapazität mit Digitaler Leit- und Sicherungstechnik*. Eisenbahntechnische Rundschau 7+8/2021 (<https://bit.ly/2SIQvjY>) sowie *Optimierung von Überholvorgängen mit digitaler Leit- und Sicherungstechnik*. Bachelorarbeit Mai 2022 (<https://bit.ly/3BbuPJR>).

In Verbindung mit „kleinen“ (Trassierungs-)Optimierungen können erhebliche Reserven geschaffen werden – Spielmassen für CTMS.

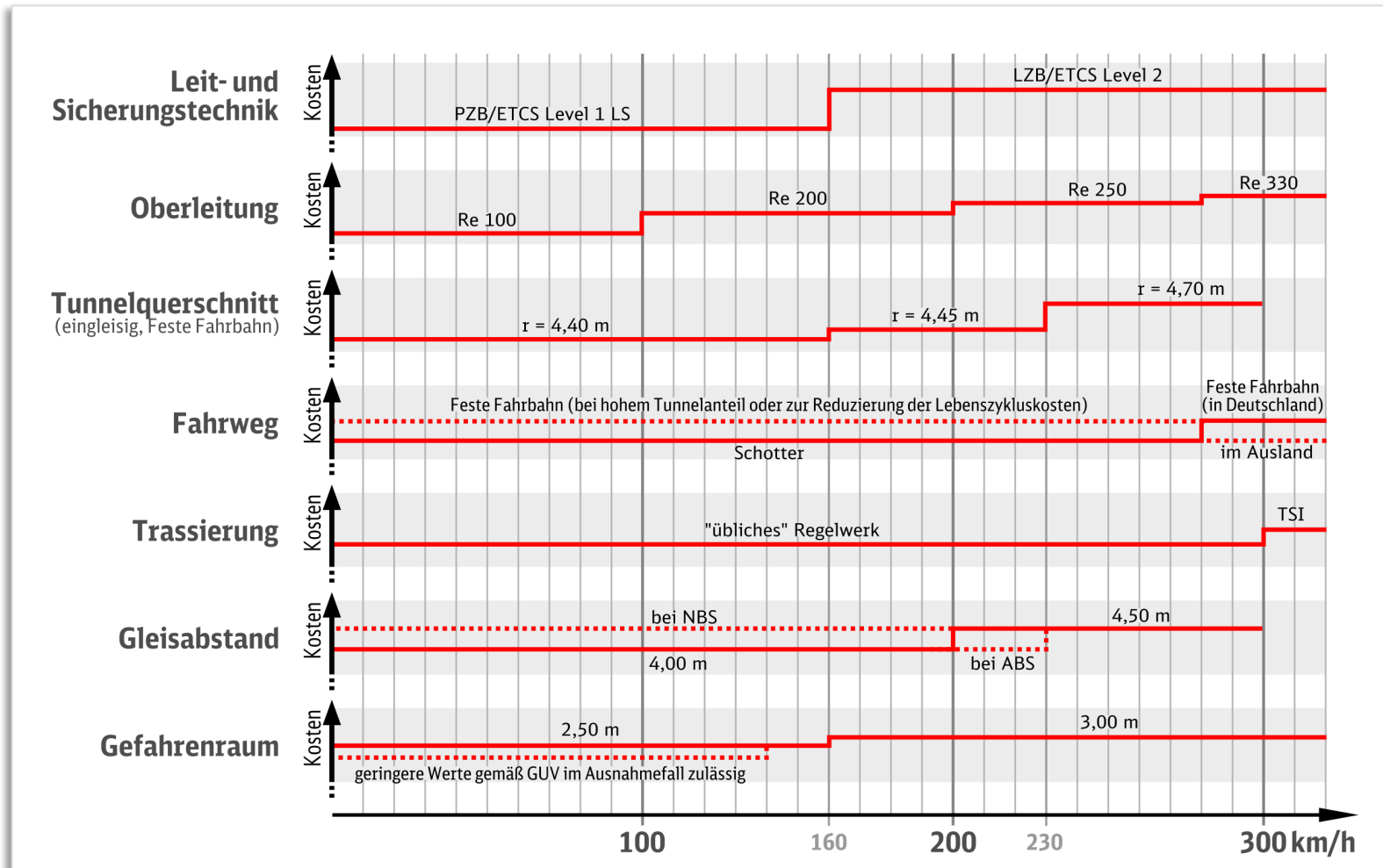


Vertiefend: <https://bsu.link/task-force-trassierung> sowie
„Digitale“ Kapazitätssteigerungen: ein Sachstand. Eisenbahn Ingenieur Kompendium 2024 (<https://bit.ly/4cHBOfi>)

- Mit kleinen Trassierungsoptimierungen (Überhöhungen, seitliche Verschiebungen auf bahneigenem Grund u. a.) können auf typischen Mischverkehrsstrecken im Zulauf auf den Kern des Knotens Stuttgart im Mittel etwa 20 km/h größere Geschwindigkeiten ermöglicht werden.
- Für überholende Züge, die im S-Bahn-Perimeter (ca. 20-25 km) kaum halten, somit mehrere Minuten zusätzliche Reserven geschaffen. Bei unveränderten kommerziellen Fahrzeiten entstehen somit mehrere Minuten zusätzliche Reserven – Spielmassen für CTMS.
- Zusätzliche Weichen und reaktivierte Überholgleise können weitere Spielräume schaffen.
- Im Zusammenspiel konventioneller und „digitaler“ Optimierungen liegt gewaltiges Potenzial für Kapazitätserhöhungen – auch auf hochbelasteten Mischverkehrsstrecken.
- Das alles ist nicht trivial – scheint aber immer noch sehr viel einfacher, schneller und effizienter umsetzbar als ein umfassender Neubau von Gleisen.

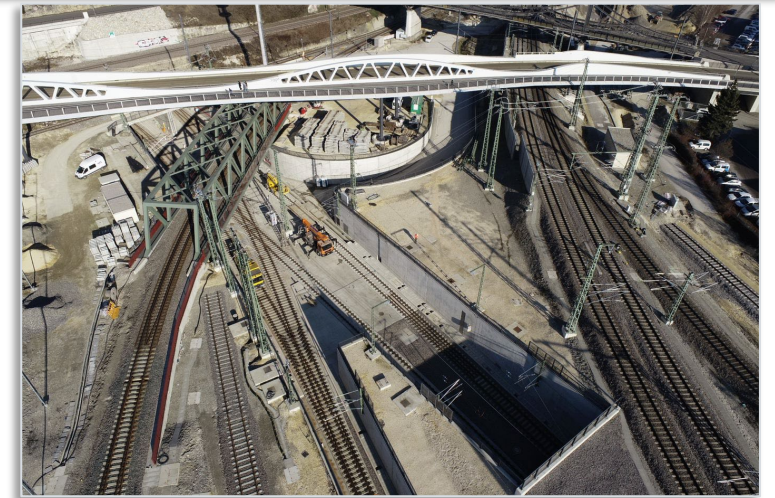
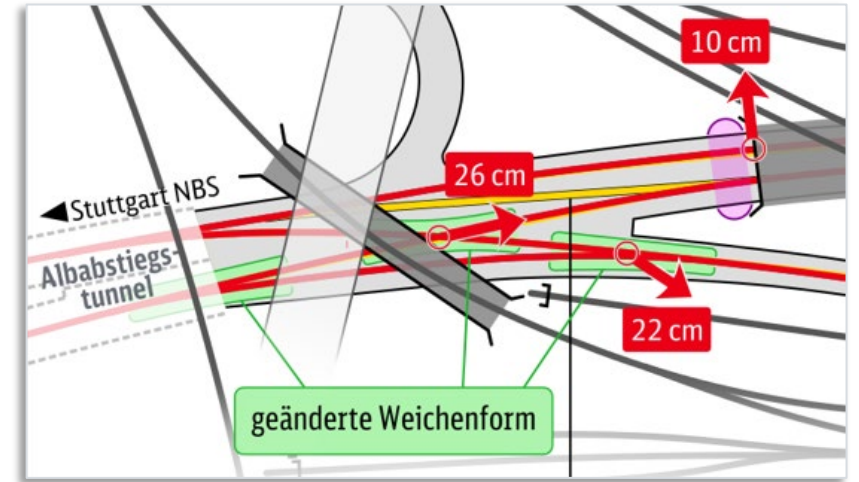
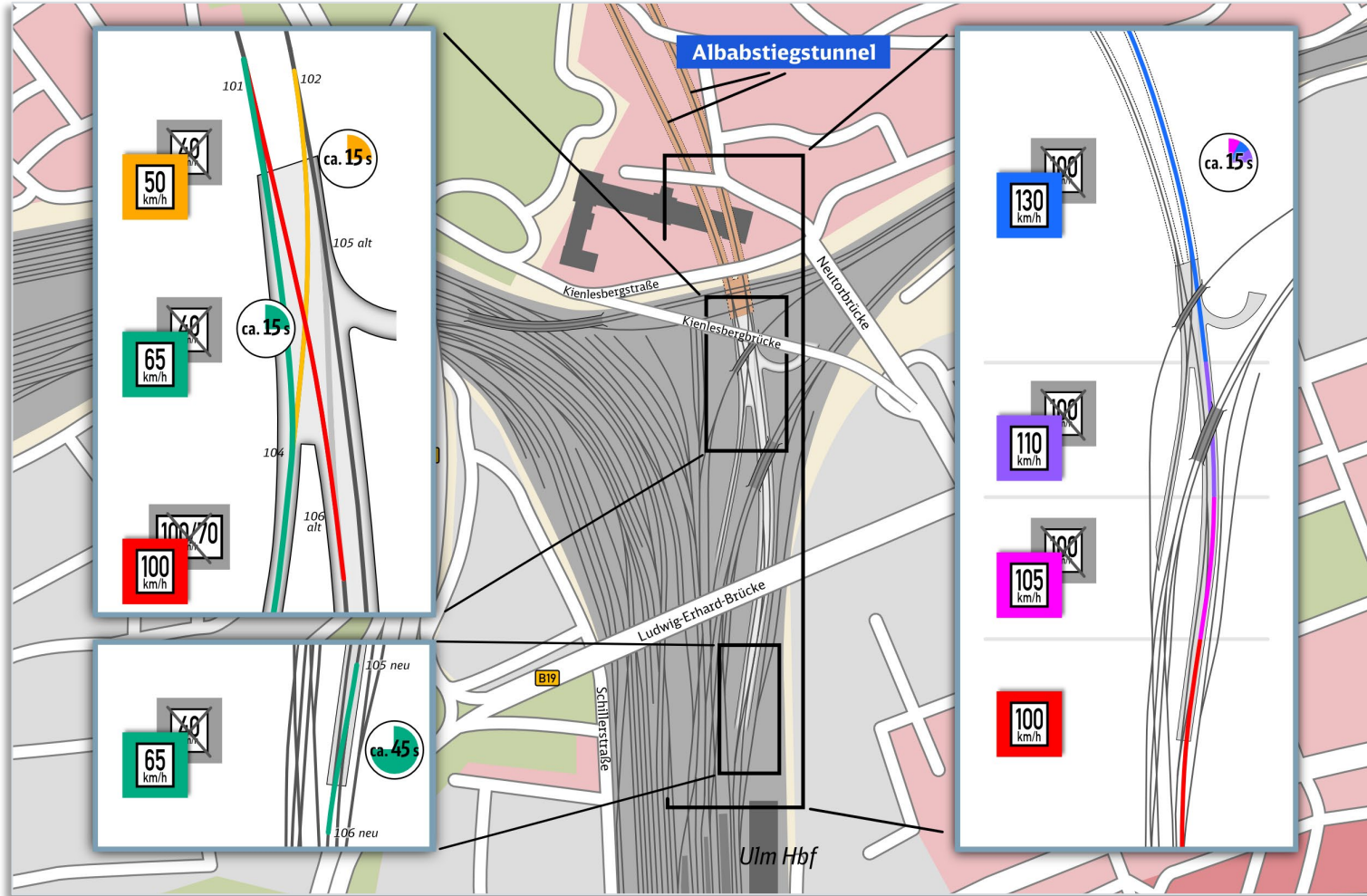
1. Der DKS im Überblick
2. Optimierung für „maximale Leistungsfähigkeit“
- 3. Systemwirkungen**
4. Wesentliche Erfahrungen

Eine von vielen Wechselwirkungen: Mit der Einführung von ETCS Level 2 verliert auch die bisherige 160-km/h-Schwelle an Bedeutung.



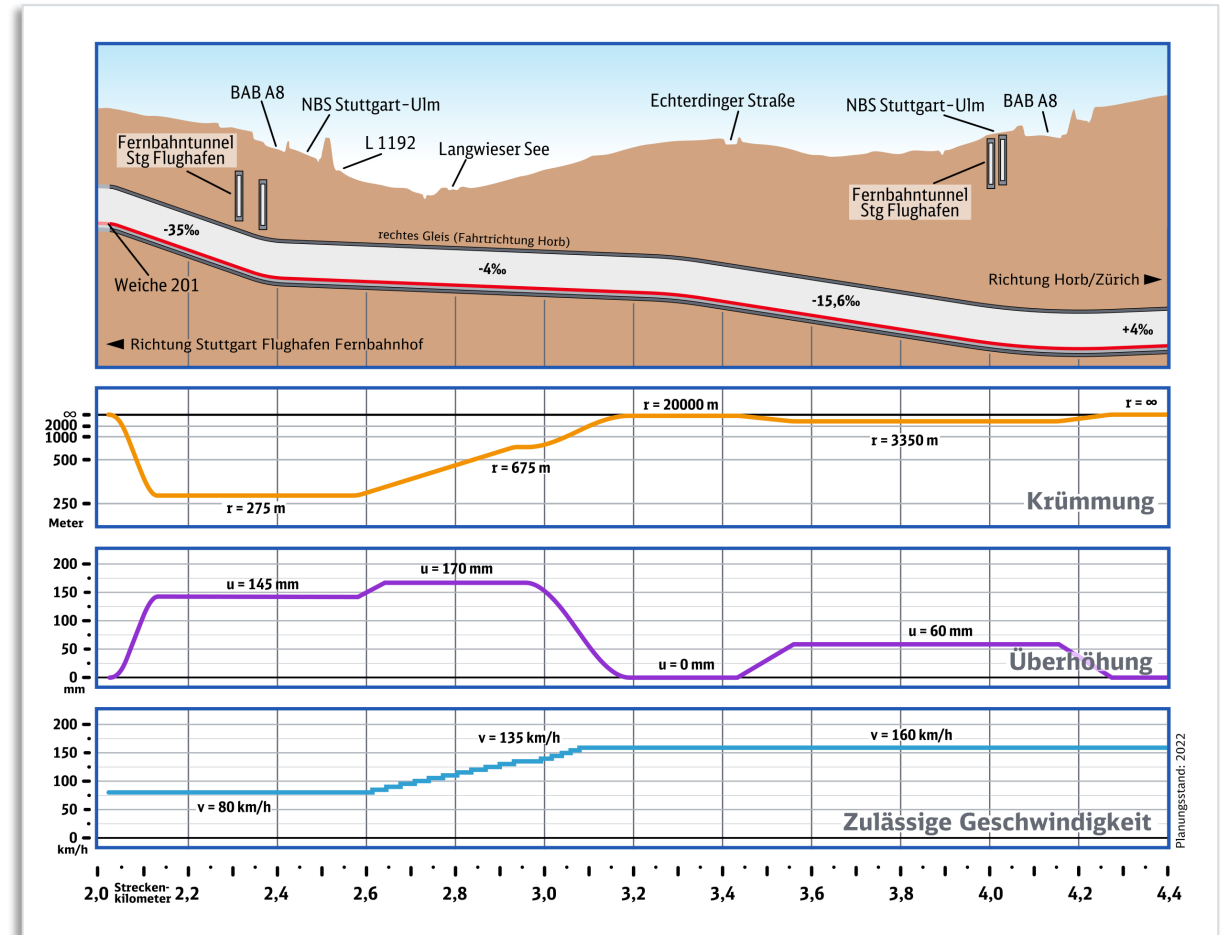
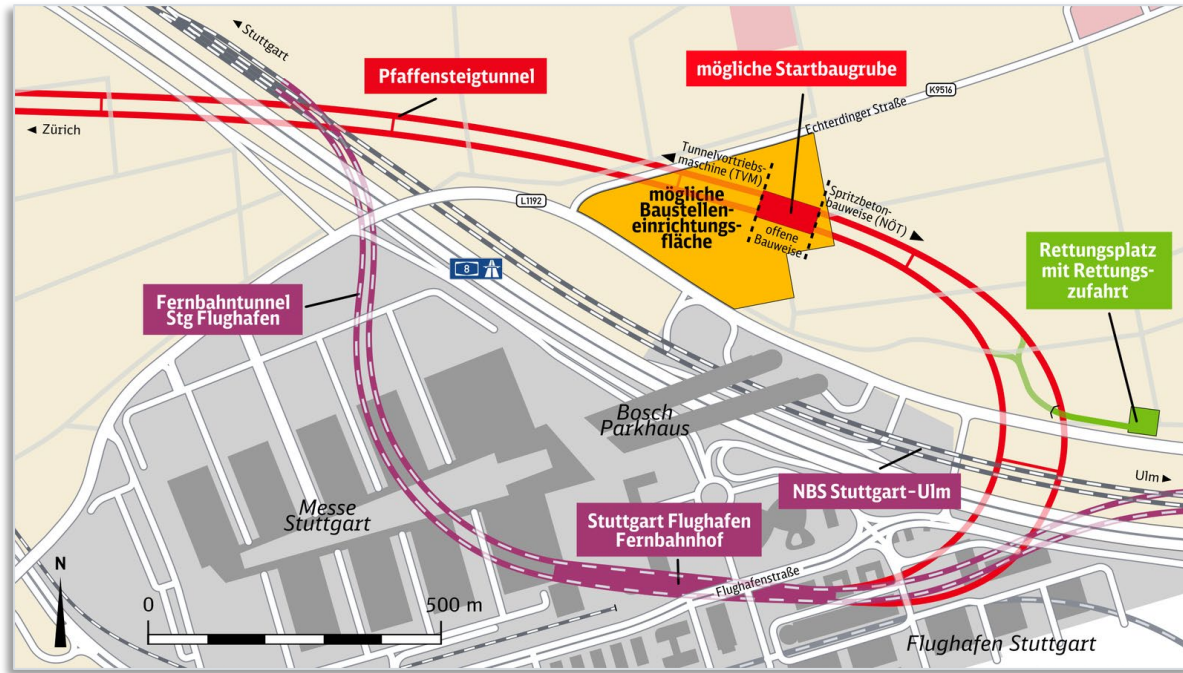
Vertiefend: www.bsu.link/task-force-trassierung

Im Nordkopf des Hauptbahnhofs Ulm ermöglicht ETCS mit einer etwas optimierten Trassierung bis zu 30 km/h mehr.



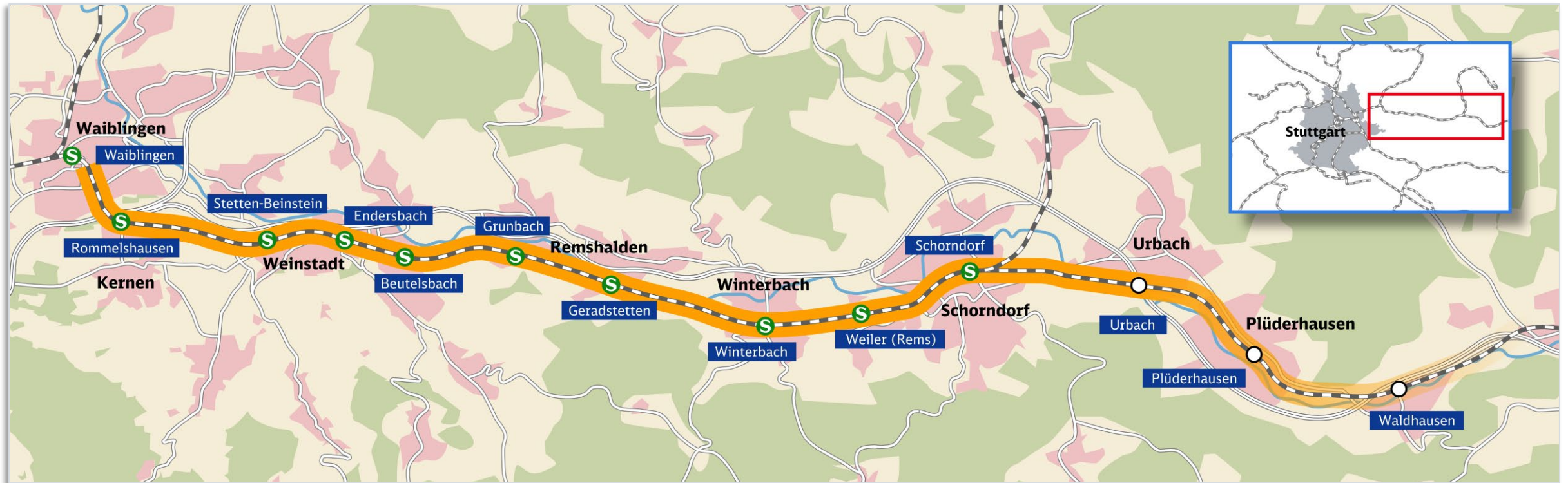
Geschwindigkeitserhöhungen im Zusammenspiel von ETCS und einer vor der Bauausführung optimierten Trassierung im Nordkopf des Hauptbahnhofs Ulm.
Vertiefend: *Umtrassierung des Nordkopfs Ulm während der Bauausführung*. Der Eisenbahningenieur 12/2022 (<https://bit.ly/40r0x0P>) und www.bsu.link/task-force-trassierung (u. a. Planunterlagen)

Bei der Trassierung des Pfaffensteigtunnels wurden zwei ~180-Grad-Bögen mit vielen 5-km/h-Schritten speziell für ETCS optimiert.



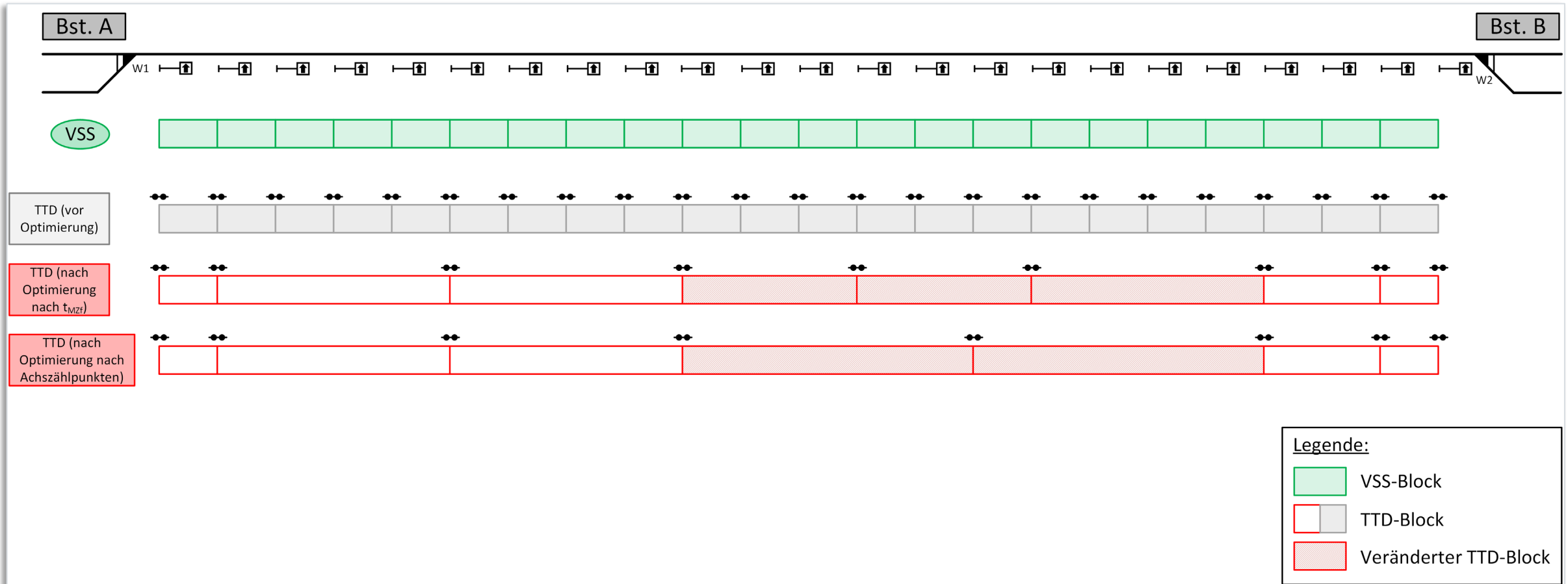
Vertiefend: *Der Pfaffensteigtunnel nimmt Kontur an.* Der Eisenbahningenieur 11/2022 (<https://bit.ly/3UmnvCv>).

Die weitgehende DSD-Fahrzeugausrüstung (inkl. „Level 3“/TIMS) ermöglicht, eine neue, vereinfachte LST im DKS zu pilotieren (ADI/APS).



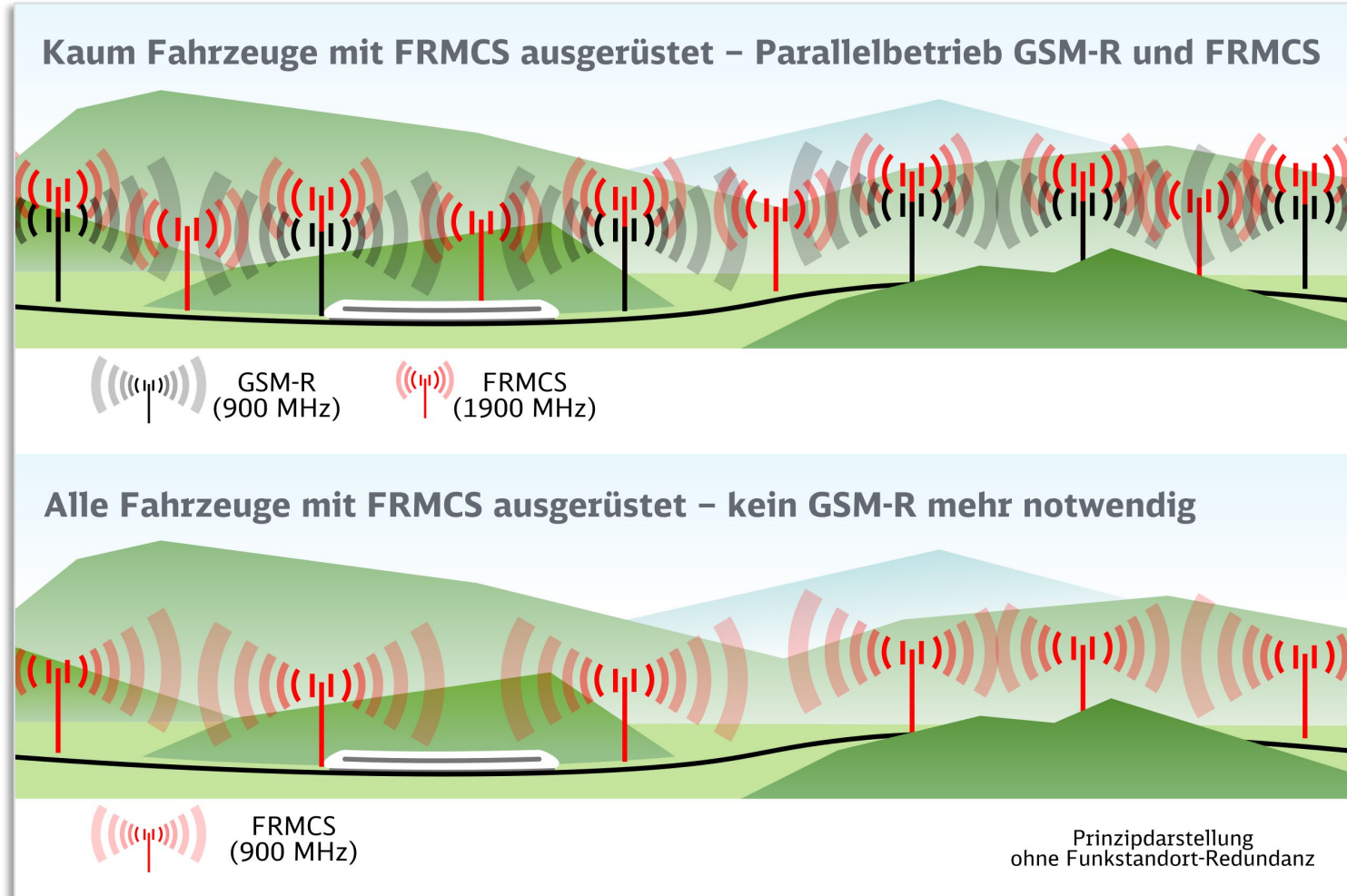
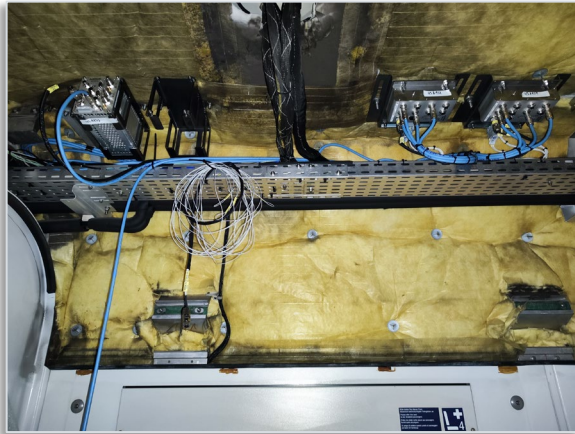
Bereich, in dem im Rahmen des Bausteins 3 des DKS die *Advanced Digital Infrastructure* (ADI) mit dem *Advanced Protection System* (APS) pilotiert werden soll. ADI ist für die DB Grundlage für Gleisfreimeldung durch Züge.
Vertiefend: *Blöcke waren gestern – Chancen einer zugzentrischen LST*. Der Eisenbahningenieur 11/2022 (<https://bit.ly/3UXNYaH>) sowie
Der Digitale Knoten Stuttgart zwischen Licht und Schatten. Der Eisenbahningenieur 3/2024 (<https://bit.ly/3PBmrv6>).

Eine TIMS-Ausrüstung des Nahverkehrs lässt auf der freien Strecke im Mischverkehr etwa zwei Drittel weniger Achszählpunkte erwarten.



Mehrstufige Optimierung der infrastrukturseitigen Gleisfreimeldung (*Trackside Train Detection, TTD*) anhand einer Standardblockteilung (500 m) auf der freien Strecke bei Ausrüstung von Nah- und S-Bahn-Verkehr mit Zugintegritätskontrolle (TIMS)/ETCS „Level 3“, während Fern- und Güterverkehr als nicht ausgerüstet gelten. Der Großteil der Abschnitte ist rein virtuell und wird durch den Zug freigemeldet (*Virtual Sub Sections, VSS*).
 Quelle und Vertiefung: *Methode zur Optimierung einer Blockteilung von ETCS Hybrid Level 3 am Beispiel des Digitalen Knotens Stuttgart*. Studienarbeit TU Dresden 2023 (<https://bit.ly/46ZVzLS>), S. 72.

Die FRMCS-Ausrüstung von mindestens drei Viertel der Züge im DKS eröffnet Chancen für die Funk-Infrastruktur.



Links: Antenne, Netboxen und Switches für FRMCS auf einem First-of-Class-Triebzug der Baureihe 423. Rechts: Darstellung zweier Extremszenarien, ohne Berücksichtigung von Redundanz von Funkstandorten. Vertiefend: *Vorgehen zur nationalen Umrüstung von Fahrzeugflotten*. Vortrag auf dem 23. Signal+Draht-Kongress, 9. November 2023 (<https://bit.ly/3U8bKDv>), *FRMCS-Ausrüstung von 463 Triebzügen für den Digitalen Knoten Stuttgart*. Signal+Draht 5/2023 (<https://bit.ly/3C5ZetG>) sowie *Der Digitale Knoten Stuttgart zwischen Licht und Schatten*. Der Eisenbahningenieur 3/2024 (<https://bit.ly/3PBmrv6>).

Es ist alternativlos, die „digitale“ Eisenbahn über ETCS hinaus zu gestalten – beispielsweise mit Blick auf lange, spurtstarke Züge.



Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR VERKEHR

Vorschlag eines Ausbaukonzeptes
für den Eisenbahnknoten Stuttgart 2040

–
Leistungsstark und zukunftsfähig
für die Verkehrswende

„Auf wichtigen Strecken mit hoher Nachfrage sollen perspektivisch Doppelstockzüge mit einer Länge von 424 m und einer Kapazität von 1.520 Sitzplätzen fahren.“



Linke Abbildung: Alstom (aus <https://www.alstom.com/de/press-releases-news/2022/5/zukunftsfaehige-mobilitaet-mit-130-neuen-doppelstock-regionalzuegen>)

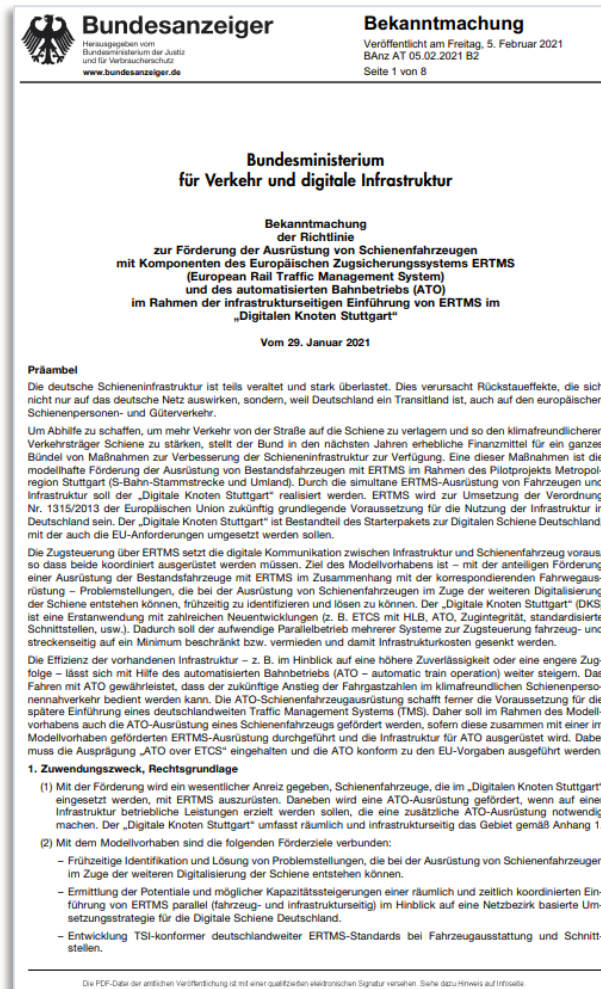
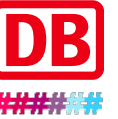
Ausriss des Deckblatts und Zitat aus *Vorschlag eines Ausbaukonzeptes für den Eisenbahnknoten Stuttgart 2040*. März 2023 (<https://bit.ly/3EZanhl>).

Rechte Abbildung: Trafo eines Unterwerks (Quelle: Wikimedia Commons, Urheber „Smiley.toerist“, CC-BY-SA-40-Lizenz)

Vertiefend: „Digitale“ Kapazitätssteigerungen: ein Sachstand. Eisenbahn Ingenieur Kompendium 2024 (<https://bit.ly/4cHBOfi>).

1. Der DKS im Überblick
2. Optimierung für „maximale Leistungsfähigkeit“
3. Systemwirkungen
- 4. Wesentliche Erfahrungen**

Wesentliche Erfahrungen aus der pilothaften Förderung der DSD-Fahrzeugausrüstung im DKS.



- Der Bund fördert im DKS im Rahmen eines Modellvorhabens erstmals die Fahrzeugausrüstung mit ETCS und weiteren Techniken der DSD.
- Mit der Förderung gehen auch Forderungen einher: Sie geht über bloßes ETCS hinaus und ist für Triebzüge an 24 technische Bedingungen geknüpft, darunter ATO GoA 2, „ETCS Level 3“, Berücksichtigung von FRMCS sowie optimierte Bremskurven.
- Etwa 90 Prozent der Kosten der Serienausrüstung von Triebzügen fallen für ETCS an, auf sämtliche weitere Optimierungen entfallen nur etwa 10 Prozent.
- Eine sinnhafte Einführung der DSD-Fahrzeugausrüstung sollte insbesondere folgende Elemente beinhalten:
 - Netzzugangsbedingungen (als Basis)
 - (anteilige) Förderung und zentrale Koordination
 - Trassenpreisdifferenzierung nach „digitalem“ Kapazitätsverbrauch
 - Nutzentransparenz für EVU
 - ggf. Finanzierungsinstrumente

Abbildung: Deckblatt der Richtlinie zur pilothaften Förderung der DSD-Fahrzeugausrüstung im DKS (<https://bit.ly/3hX5CJx>)
Vertiefend: Förderung der DSD-Fahrzeugausrüstung im Digitalen Knoten Stuttgart. Der Eisenbahningenieur 4/2023 (<https://bit.ly/3N24h5o>).

Nach einem Jahr ETCS-L2oS-Betrieb auf Wendlingen–Ulm ziehen wir eine insgesamt positive Bilanz, mit einzelnen Kinderkrankheiten.



www.eurailpress.de/archiv/wendlingen+ulm

LEIT- UND SICHERUNGSTECHNIK

Ein Jahr (ETCS-)Betriebserfahrungen auf der SFS Wendlingen–Ulm

Bei einer insgesamt sehr positiven Bilanz wird an vielen Stellen auf hohem Niveau weiter optimiert.

ANDREAS GÖTTIG | FELIX GRIMMINGER |
KARSTEN HIRSCH | VOLKER KAMMANN |
TOBIAS PAWLIK | FLORIAN ROHR |
RÜDIGER SPRAUER | KARL-EUGEN STIER

Nach fast 30000 kommerziellen Zugfahrten fällt eine erste Bilanz zum Betrieb der Schnellfahrstrecke (SFS) Wendlingen–Ulm insgesamt sehr positiv aus. In besonderem Fokus stand und steht dabei die Ausrüstung der Strecke mit European Train Control System Level 2 „ohne Signale“ (ETCS L2oS), als eine der ersten derartigen Strecken in Deutschland. Gleichwohl in dieser Hinsicht rund 99,8% der Zugfahrten unauffällig waren, verdienen die wenigen Fahrten mit betriebsbehindernden Störungen einen genaueren Blick. Die Erfahrungen waren und sind Anlass, um im Hinblick auf die weiter voranschreitende ETCS-Einführung auf hohem Niveau weiter zu optimieren. Dabei zeigt sich einmal mehr, wie Eisenbahningenieure entlang des gesamten Systems Bahn gefordert sind – weit über die bloße Verfügbarkeit der Technik der Infrastruktur hinaus.

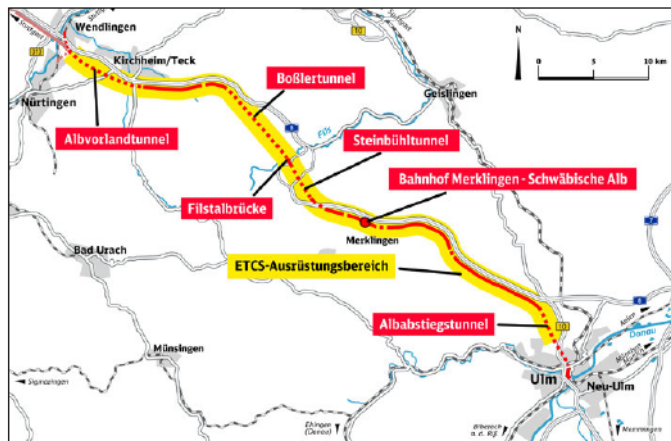


Abb. 1: Die Schnellfahrstrecke Wendlingen–Ulm ist mit ETCS ausgerüstet. Quelle aller Abb.: Deutsche Bahn AG

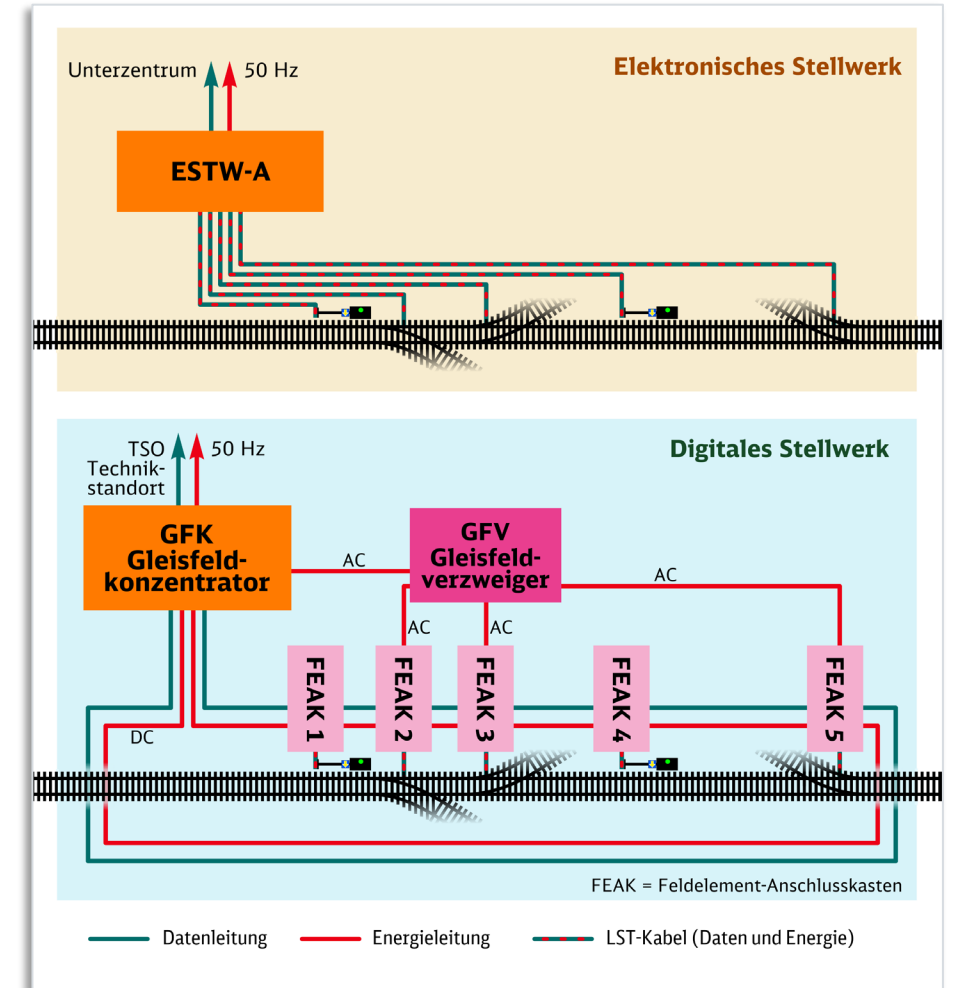
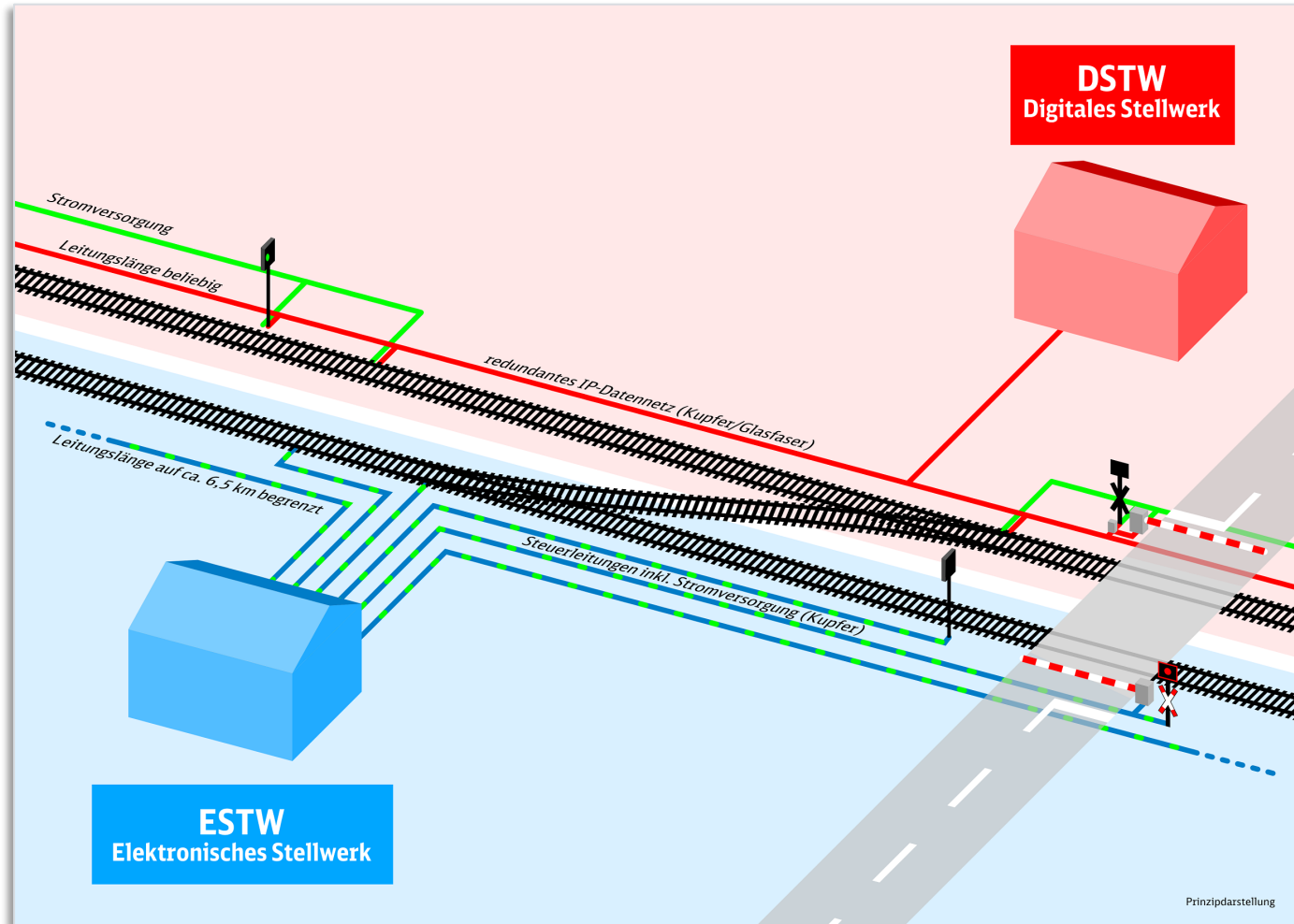
2017 in Betrieb genommenen Abschnitten Efurt–Halle/Leipzig und Ebsfeld–Erfurt gleichwohl gering: So wurden im Fernverkehr nur 0,3 Verspätungsfälle pro Tag aufgrund von



Ausrisse: Ein Jahr (ETCS-)Betriebserfahrungen auf der SFS Wendlingen–Ulm. Der Eisenbahningenieur 2/2024 (<https://bit.ly/49lIOWr>).

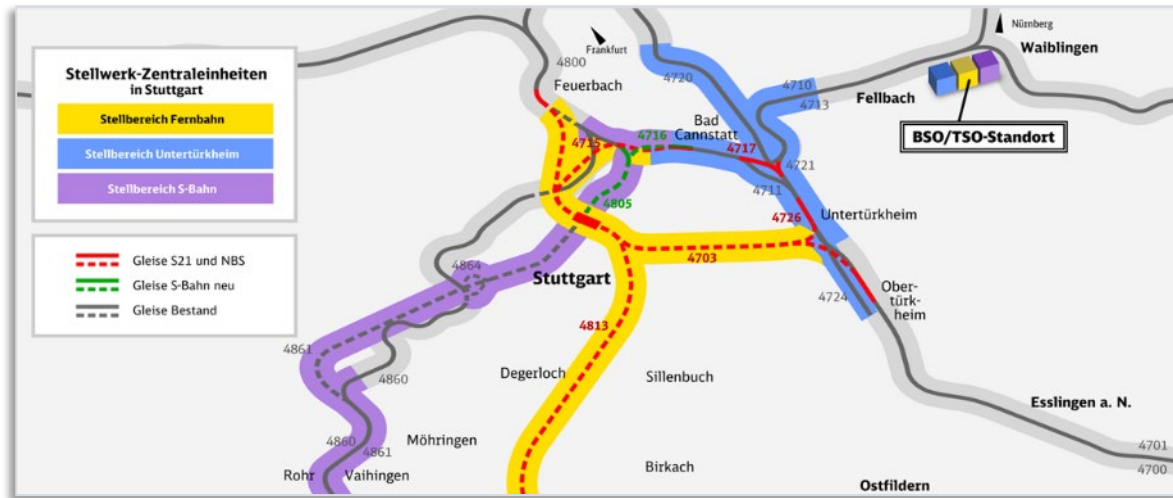
Rechts: Darstellung der Abläufe, die zu fünf Warmstars des RBC der Strecke geführt hatten.

Robuste Digitale Stellwerke sind im DKS die Grundlage für ETCS Level 2. Im Gegensatz zum Elektronischen Stellwerk sind Energie und Daten getrennt.



Links: Unterschiede von ESTW und DSTW. Rechts: Gleisfeldvernetzung in Ringen im DSTW im Vergleich zum ESTW.
Vertiefend: *Robuste LST-Infrastruktur im Digitalen Knoten Stuttgart*. Der Eisenbahningenieur 11/2022 (<https://bit.ly/3hiu0ZL>).
Sowie: *Der Digitale Knoten Stuttgart wird Realität*. Der Eisenbahningenieur 1/2023 (<https://bit.ly/3hiu0ZL>).

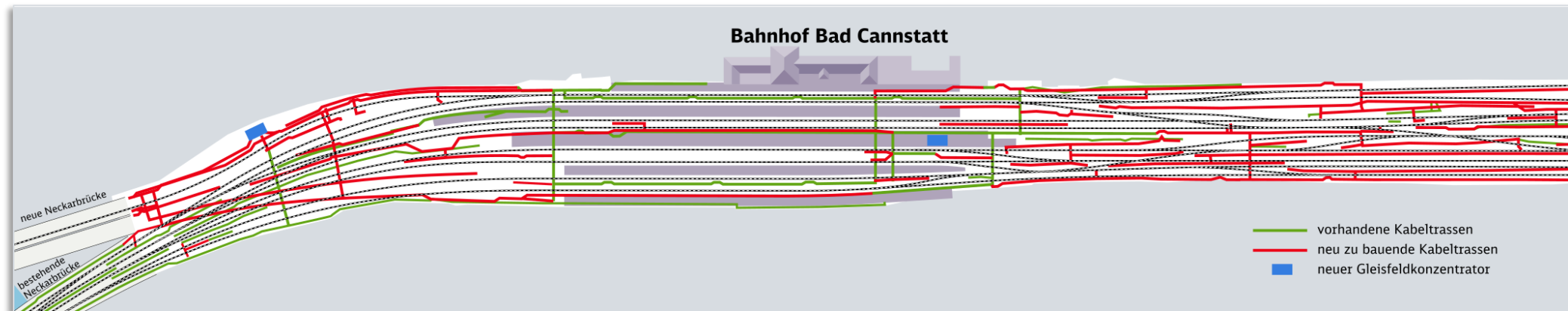
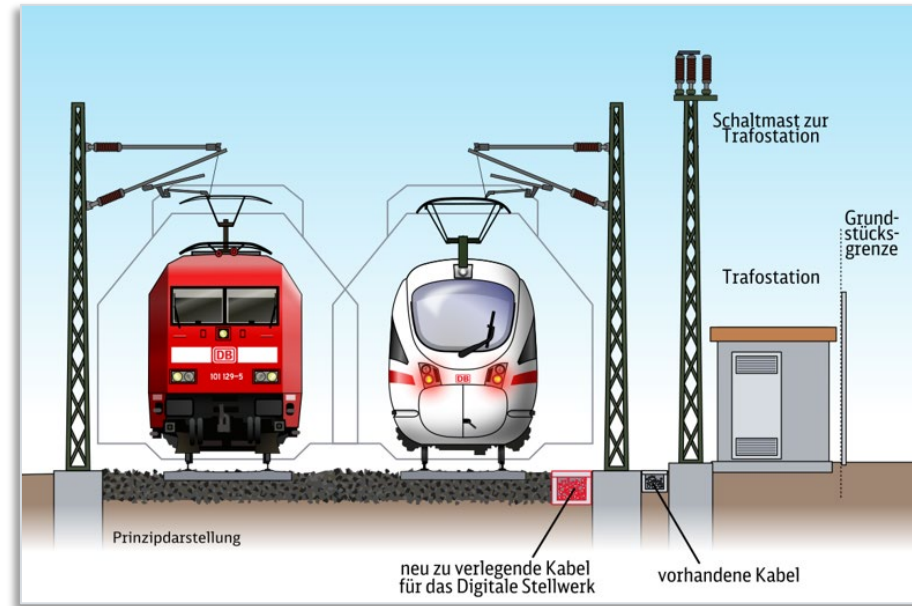
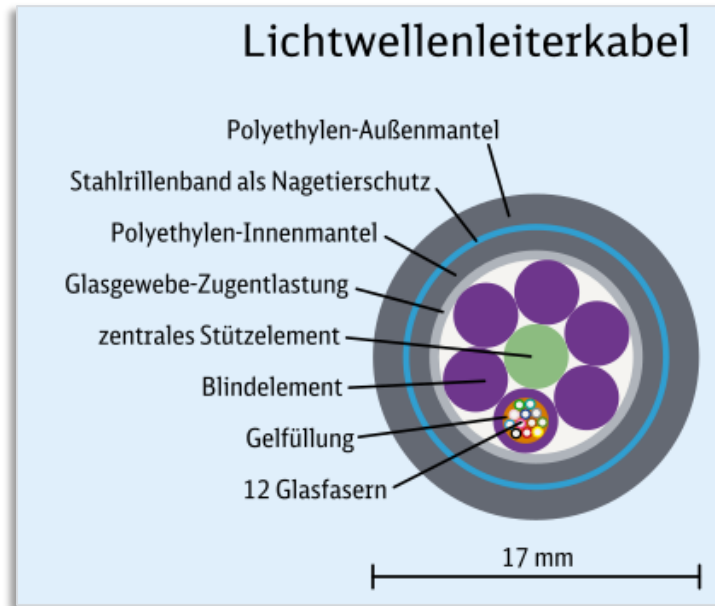
Das Digitale Stellwerk (DSTW) ist besonders robust, führt jedoch bei Doppelausrüstung (ETCS & „Signale“) zu einem enormen Kabelaufwand.



- Der von größere Bahnhöfen geprägten Stellbereich Untertürkheim (blau in oberer Abbildung) wird vorübergehend noch weitgehend „mit Signalen“ ausgerüstet (untere Abbildung in blau). Er sollte Anfang 2024 in Betrieb gehen.
- Die vorübergehende Ausrüstung der Infrastruktur führt in diesem Bereich ungefähr zu einer Verdreifachung des Verkabelungsaufwands gegenüber einem System mit L2oS.
- Alle zwischenzeitlich ergriffenen Optimierungen reichten letztlich nicht aus, um den Inbetriebnahmetermin Anfang 2024 zu halten. Daher wurden kurzfristige empfindliche Sperrungen, zwischen Ende April und Ende Juli 2023, notwendig.
- Neben weiteren Optimierungen unterstreichen die Erfahrungen die dringende Empfehlung, auf eine Doppelausrüstung zu verzichten.
- Die Inbetriebnahme ist aus verschiedenen Gründen nicht erfolgt und wird nicht vor Ende 2024 erfolgen.

Vertieft: *Der Digitale Knoten Stuttgart wird Realität*. Der Eisenbahningenieur 1/2023 (<https://bit.ly/3RCeqFR>) sowie *Erfahrungen mit der Gleisfeldvernetzung im Digitalen Knoten Stuttgart (Teil 1)*. Signal+Draht 4/2023 (<https://bit.ly/41Mlkgb>).

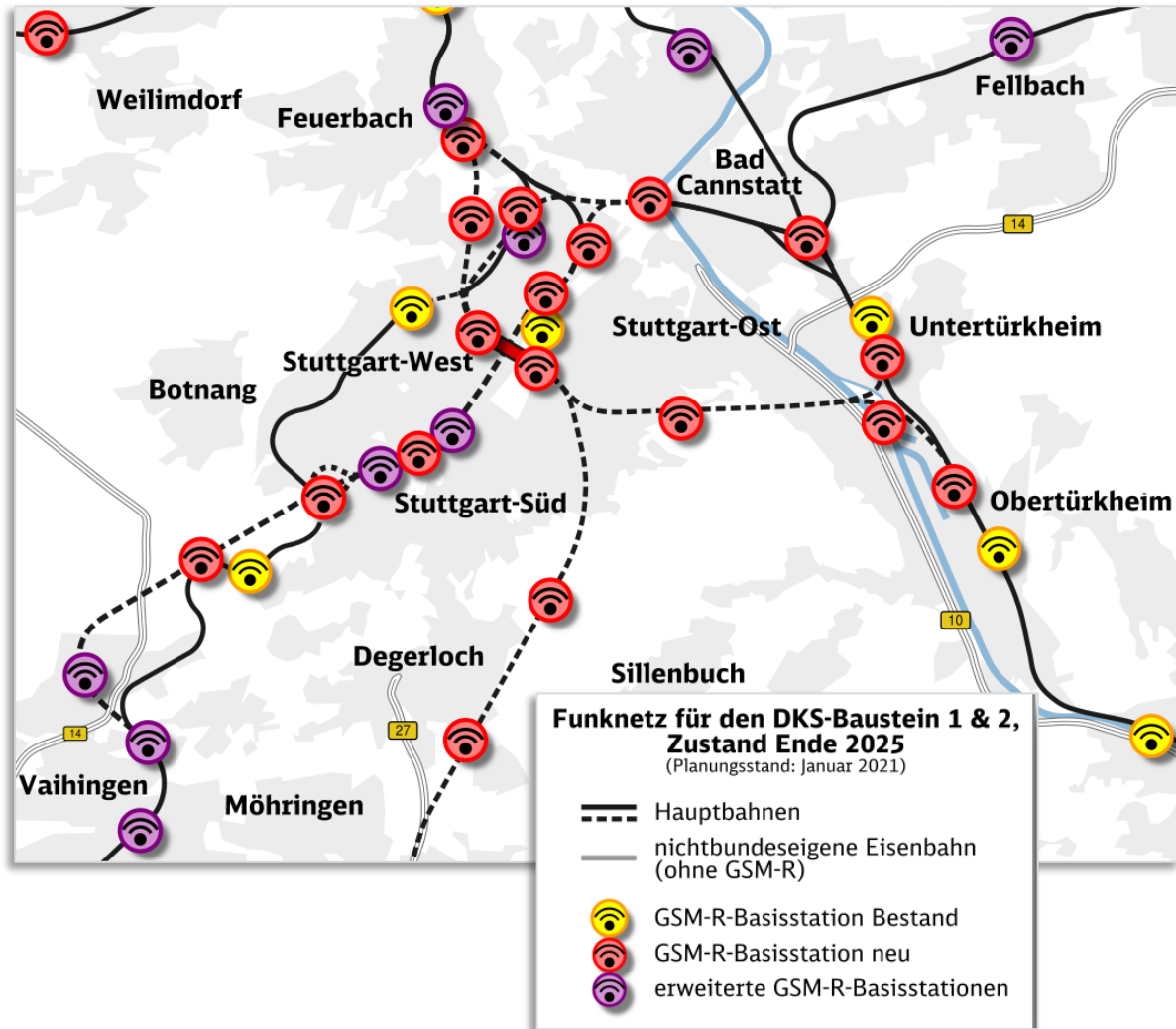
In Bereichen mit vorübergehender Doppelausrüstung der Infrastruktur beobachten wir mit dem DSTW einen verdreifachten Kabelaufwand.



Auszüge aus einem Plakat zu den „Tagen der offenen Baustelle“ 2023 (<https://bsu.link/tdob-infotafeln>)

Vertiefend: *Erfahrungen mit der Gleisfeldvernetzung im Digitalen Knoten Stuttgart (Teil 1)*. Signal+Draht 4/2023 (<https://bit.ly/41Mlkgb>).

Selbst im hochbelasteten Kern des Knotens reicht einfaches GSM-R (mit dem erweiterten Band) aus, um alle Züge in Level 2 zu fahren.



- In Deutschland stehen neben den 19 „Frequenzen“ des interoperablen GSM-R-Bandes auch 15 „Frequenzen“ des erweiterten GSM-R-Bandes zur Verfügung.
- Auf jeder „Frequenz“ können ungefähr 6 Züge parallel in ETCS Level 2 geführt werden. Bei idealer Ausnutzung sämtlicher Frequenzen wären dies etwa 200 Züge parallel.
- Durch die koordinierte Fahrzeug- und Infrastrukturausrüstung beherrscht der Großteil der erwarteten Triebfahrzeuge das erweiterte Frequenzband, GPRS sowie FRMCS.
- Bereits die bloße Nutzung des erweiterten Frequenzbandes schafft ausreichend Funknetzkapazität (mit Reserven, beispielsweise für Rückstauungen).
- Aufgrund vieler Tunnel sind die Bedingungen im Kern des Knotens Stuttgart gleichwohl eher einfacher als in anderen großen Knoten.

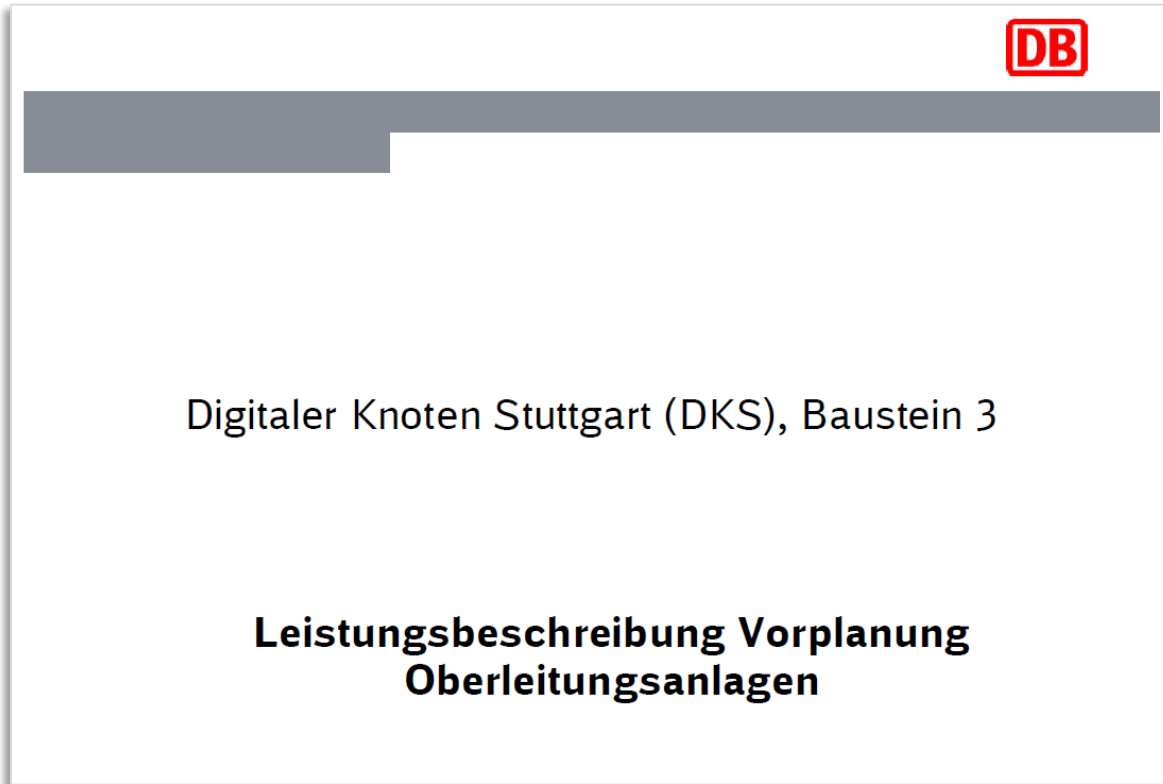
Der Teufel steckt in unzähligen Details: Beispielsweise ist die Abfertigung im Fernverkehr neu zu organisieren.



- Im Fernverkehr beginnt das Zugbegleitpersonal in der Regel mit der Abfertigung, wenn das Lichtsignal am Bahnsteigende „Fahrt“ zeigt.
- Wenn es keine Lichtsignale mehr gibt, muss ein alternativer Weg gefunden werden.
- Drei mögliche Lösungen:
 1. Verständigung zwischen Triebfahrzeugführer und Zugführer.
 2. Automatische Information an den Zugführer, wenn eine ETCS-Fahrterlaubnis für die Ausfahrt anliegt, beispielsweise per App.
 3. Automatische Information an den Zugführer, wann voraussichtlich eine solche Fahrterlaubnis vorliegen wird.
- Während bei Lösung 1 ein Kapazitätsverlust droht und Lösung 2 ungefähr neutral zu heute ist, kann durch vorausschauende Abfertigung (Lösung 3) Leistungsfähigkeit gewonnen werden.

Abbildung eines Ks-Hauptsignals und eines Fahrtanzeigers: Quelle: Wikimedia Commons, Urheber „S. Terfloth“, CC-BY-SA-20-Lizenz
Vertiefend: „Digitale“ Kapazitätssteigerungen: ein Sachstand. Eisenbahn Ingenieur Kompendium 2024. Eisenbahningenieur Kompendium 2024 (<https://bit.ly/4cHBOfi>).

Doppel- und Dreifacharbeit, beispielsweise zu OLA-/BÜ-Restriktionen: Umbau von OLA (Abbildung), CTMS und RBC-Funktion (Zuglänge)



4.3 Prüfung und Vorplanung der elektrischen Streckentrennung

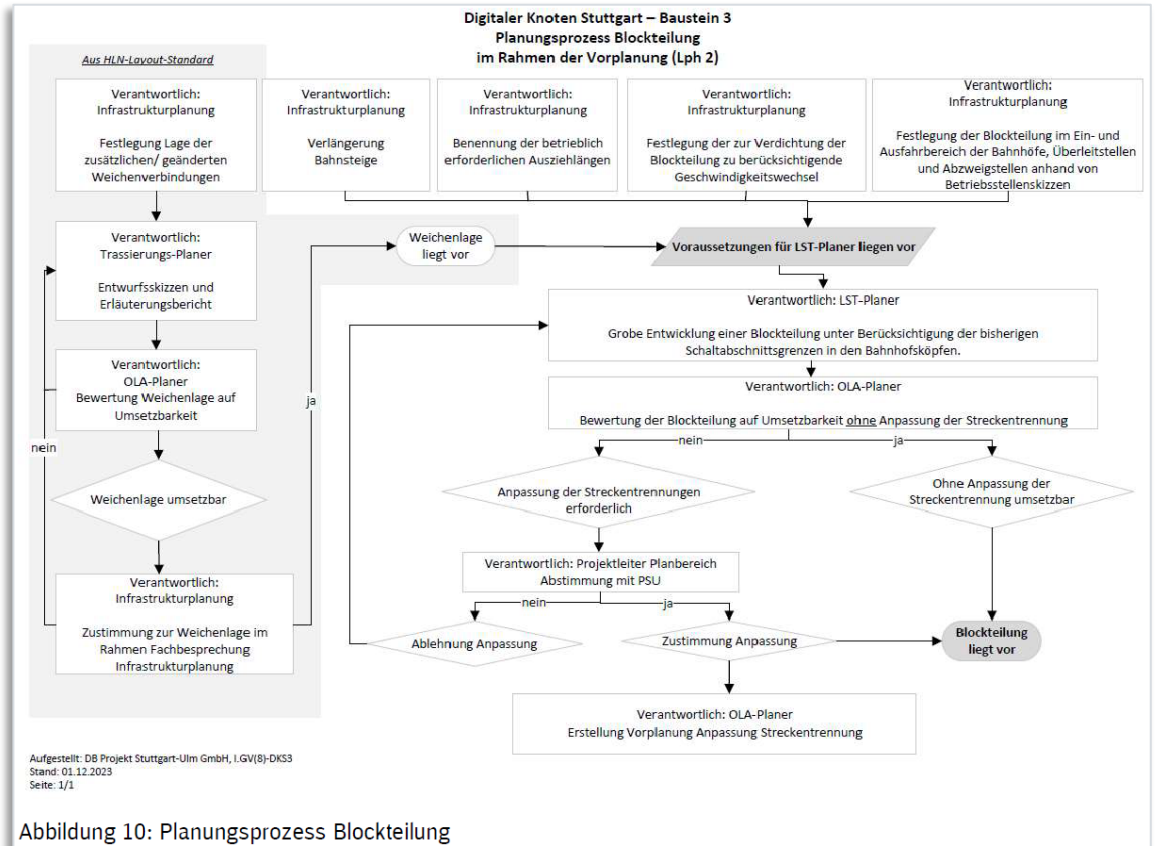
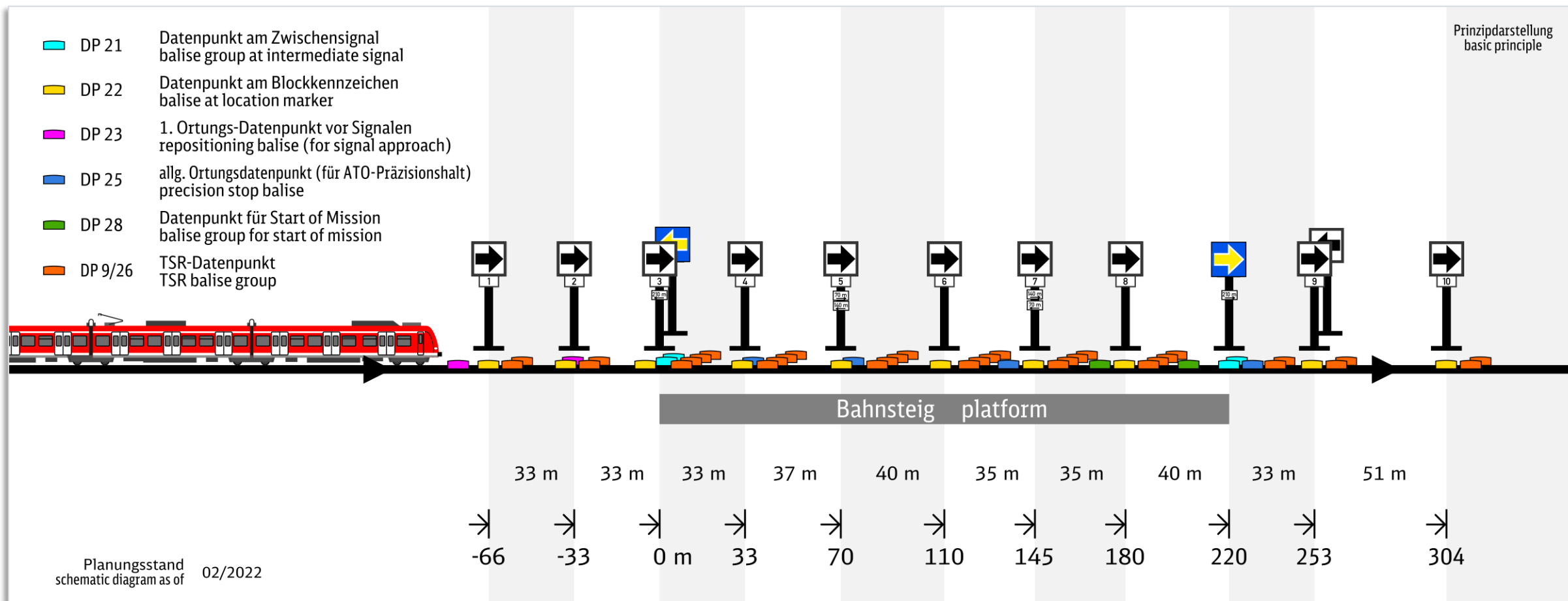


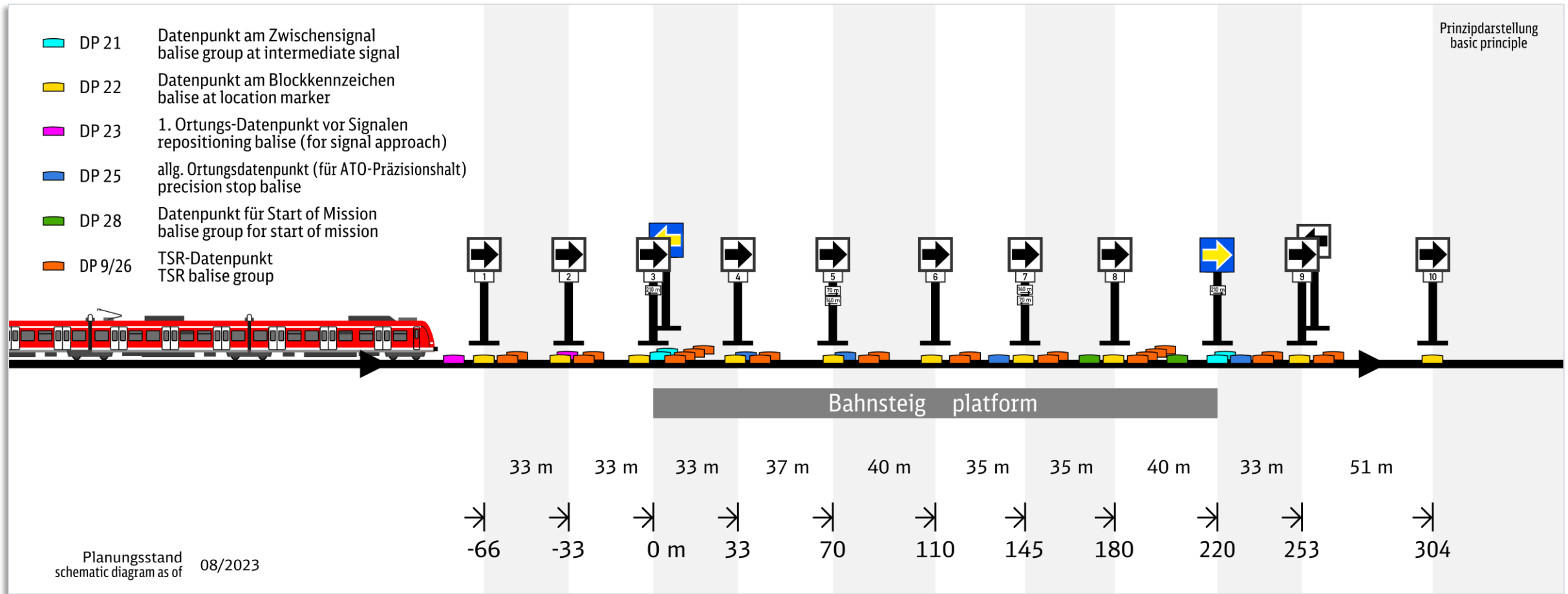
Abbildung 10: Planungsprozess Blockteilung

Auf der S-Bahn-Stammstrecke wäre mit dem bisherigen Regelwerk ein schlicht nicht mehr umsetzbarer Balisenteppich entstanden.



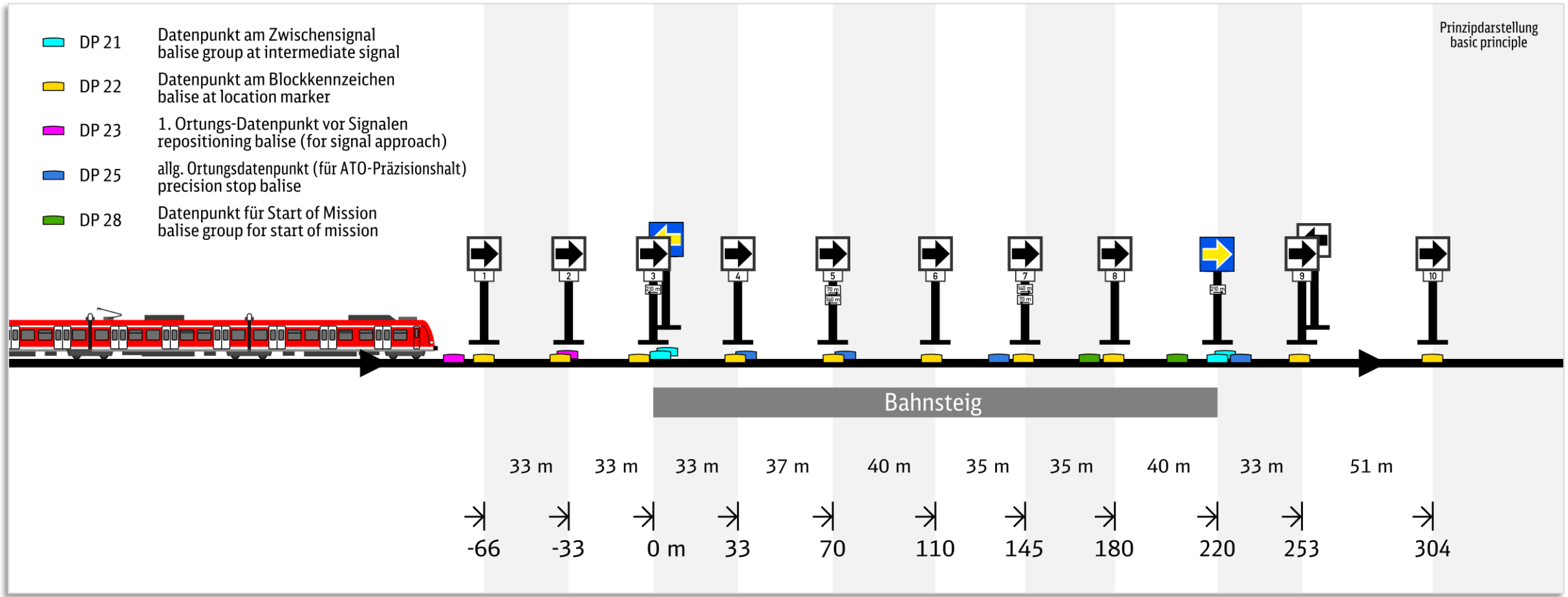
Insbesondere TSR-Datenpunkte, an denen die Geschwindigkeit von in „Staff Responsible“ (SR) fahrenden Zügen auf 20 km/h abgesenkt wird, führten zu einer nicht mehr regelwerkskonform realisierbaren Balisenkonzentration. Diese waren einige hundert Meter vor einer ETCS-Halttafel an jedem Blockkennzeichen vorzusehen und in der Regel zu doppeln (vier Balisen).
 Vertiefend: *Die Digitalisierung der S-Bahn-Stammstrecke Stuttgart (Teil 1)*. Signal+Draht 9/2023 (<https://bit.ly/46AzFOF>).

Eine Beschränkung auf bestimmte, gut bremsende Fahrzeuge ermöglicht eine für die Inbetriebnahme 2025 umsetzbare Lösung.



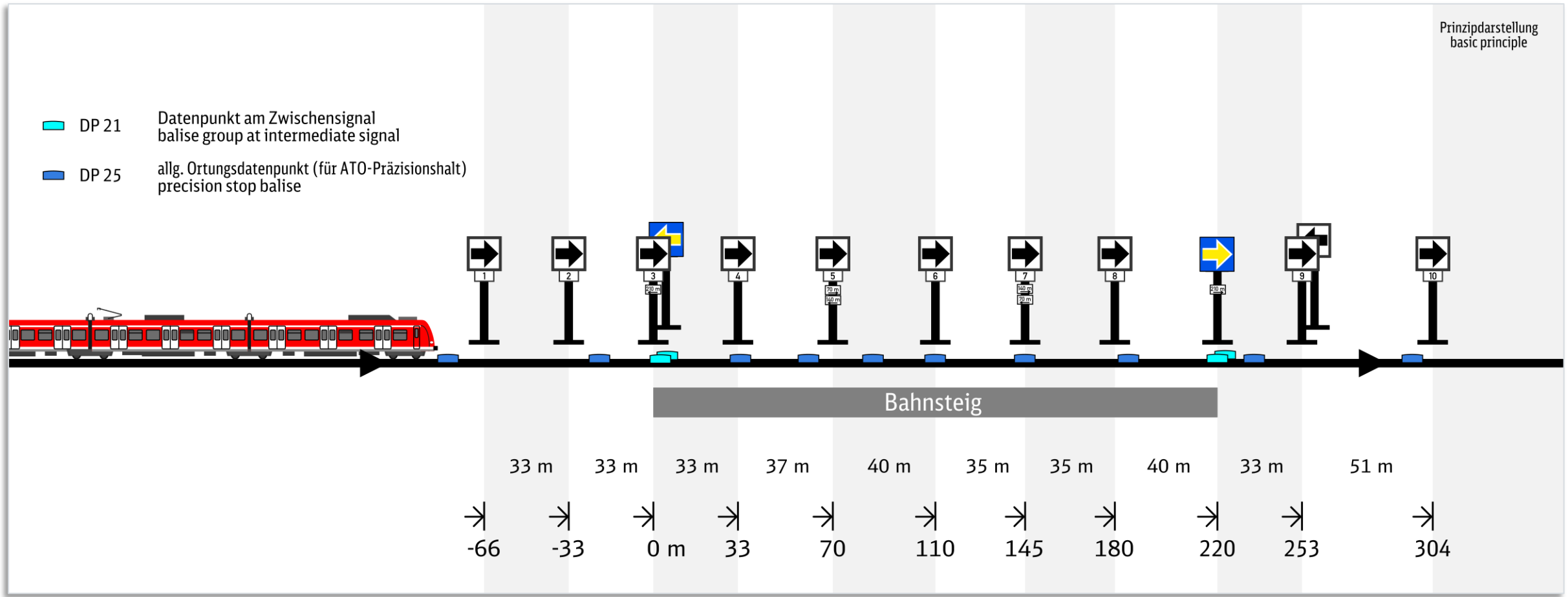
Lösung unter Anwendung der neuen Richtlinie 819.1349, die einen teilweisen Verzicht auf TSR-Datenpunkte ermöglicht, wenn nur Fahrzeuge mit bestimmten Bremsseigenschaften verkehren.
Vertiefend: Die Digitalisierung der S-Bahn-Stammstrecke Stuttgart (Teil 1). Signal+Draht 9/2023 (<https://bit.ly/46AzFOF>).

In der Fahrzeugausrüstung mit Cold Movement Detection (CMD) liegt ein Potenzial zum Entfall weiterer Balisen.



Durch die (bisher nicht berücksichtigte) CMD-Ausrüstung sämtlicher Fahrzeuge wird die Wahrscheinlichkeit einer Fahrt ohne vertrauenswürdige Position (in der Betriebsart SR) weiter reduziert. Können TSR-Datenpunkte damit entfallen? Vertiefend: *Die Digitalisierung der S-Bahn-Stammstrecke Stuttgart (Teil 2)*. Signal+Draht 12/2023 (<https://bit.ly/3RNd7FQ>).

In einer verbesserten Haltfallbewertung und vorausschauendem Fahren (u. a. mit ATO GoA 2) liegt Potenzial für eine weitere Verschlinkung.



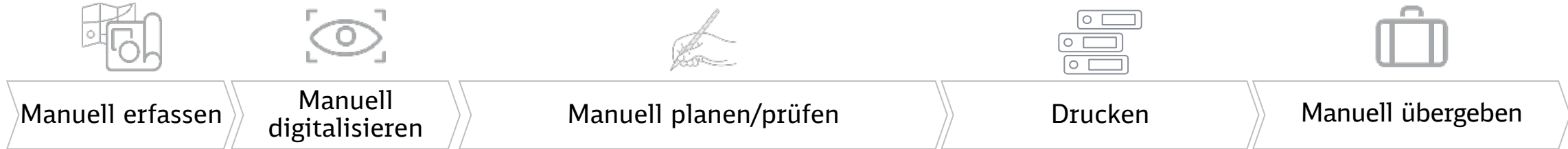
Durch eine verbesserte Haltfallbewertung könnten potenziell Datenpunkte am Blockkennzeichen, die einen Position Report dafür auslösen sollen, entfallen. Durch vorausschauendes Fahren (mit ATO GoA 2 und CTMS) werden können ferner ungeplante Betriebshalte weitgehend vermieden werden, womit ggf. - mit weniger Balisen davor - eine etwas langsamere oder weniger dichte Annäherung eher hingenommen werden könnte. Vertiefend: *Die Digitalisierung der S-Bahn-Stammstrecke Stuttgart (Teil 2)*. Signal+Draht 12/2023 (<https://bit.ly/3RNd7FQ>) sowie *Haltfallbewertung unter ETCS*. Diplomarbeit TU Dresden 2023 (<https://bit.ly/3NanwsZ>).

Effizientere Planung, beispielsweise mit durchgehend digitaler Datenhaltung und teilautomatisierter Planung (D3iP).

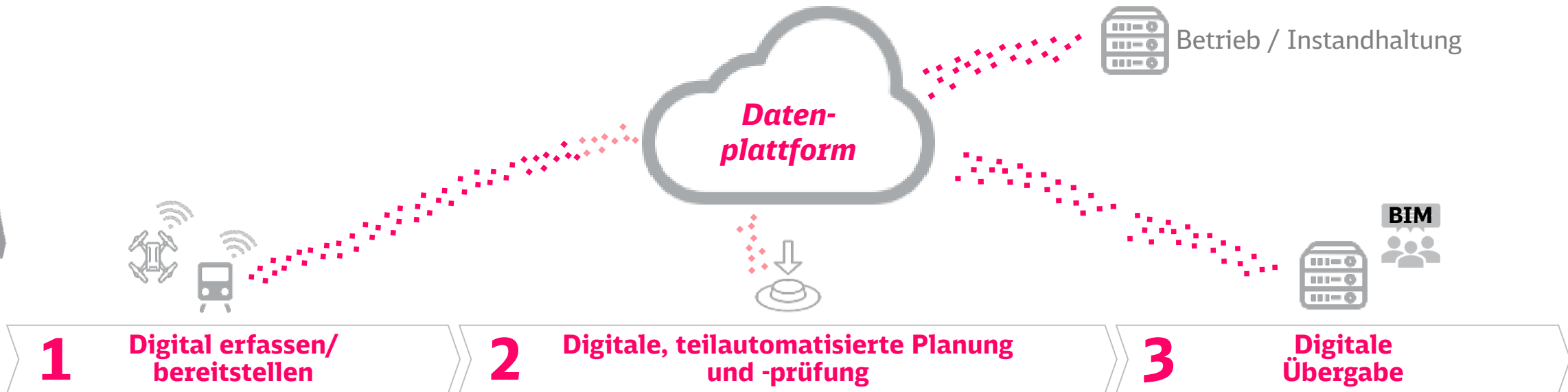


ILLUSTRATIV

Von...
(Planung klassisch)



...Zu
(digitale Planung)



Durchgängig digitale Datenhaltung

Vertiefend (exemplarisch): *Teilautomatisierte ETCS L2-Planprüfung durch Formalisierung des Regelwerks*. Der Eisenbahningenieur 8/2022 (<https://bit.ly/3KhcAbB>) sowie *Beschleunigung der LST-Planung im Digitalen Knoten Stuttgart*. Der Eisenbahningenieur 11/2023 (<https://bit.ly/3GbKV95>).



Eindrücke aus Austausch mit fünf Besuchergruppen aus der Schweiz im Jahr 2023 – und eine ganz zentrale Erfahrung.



Fotos: Dominic Stucki, SBB

Transparenz als Grundlage für Sachdebatten: Warum sind z. B. viele Bremskurven, Infrastrukturdaten oder Lastenhefte bislang „geheim“?



								
<h2>2.3 Dreifachtraktion</h2>								
Zuglänge	205 m							
Bremshundertstel	150							
Brake Position (Passenger train in P, freight train in P oder freight train in G)	Passenger train in P							
Nominale Schnellbremsverzögerung A_brake_emergency(V)	Geschwindigkeit [km/h]	140-120	120-100	100-80	80-50	50-30	30-15	15-0
	A_brake_emergency [m/s²]	1,01	0,95	0,93	0,95	1,00	1,06	0,95
Sicherheitsfaktor auf trockener Schiene Kdry_rst(V,EBCL)	Geschwindigkeit [km/h]	140-120	120-100	100-80	80-50	50-30	30-15	15-0
Kdry_rst(V,EBCL)	EBCL = 0	1	1	1	1	1	1	1
	EBCL = 1	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
	EBCL = 2	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
	EBCL = 3	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92
	EBCL = 4	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
	EBCL = 5	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
	EBCL = 6	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
	EBCL = 7	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81
	EBCL = 8	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
	EBCL = 9	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78

8 ATO (GoA2)
Das Fahrzeug erhält ein ATO-System (GoA2).
Der AN setzt CR 1238 inklusive den dazugehörigen SUBSET 125, 126, 126 Appendix A, 139 und 140 um.
Es wird der SUBSET 143 umgesetzt.
Die Applikationen für ETCS und ATO werden entsprechend SUBSET 130 mindestens so getrennt, dass eine unabhängige und rückwirkungsfreie Anpassung möglich ist.
Die ATO ist fähig, einen Zug mit Doppel- und Mehrfachtraktion zu steuern.
Falls nur das führende Fahrzeug einer Doppel- oder Mehrfachtraktion mit ATO ausgerüstet ist, ist die ATO fähig, den Zugverband zu steuern.
Für den Betrieb mit ATO ist keine ATO-Zugdateneingabe im Rahmen der Start of Mission (SoM) erforderlich.
Falls die ATO-Fahrzeugausrüstung gestört ist, bietet das Fahrzeug dem Tf in jedem Führerraum die Möglichkeit, die ATO-Fahrzeugausrüstung mit einem Störschalter zu deaktivieren.
Die Funktion "ATO engage" und "ATO disengage" wird über einen Taster neben dem Fahr-/Bremshebel angesteuert.
Die Wegimpulsgeber für die ATO-Fahrzeugausrüstung sind an nicht angetriebenen Radsätzen montiert.
Die ATO realisiert eine Haltegenauigkeit von +/- 2 m mit einer Wahrscheinlichkeit von 99,99%.

Links: Ausriss aus der Dokumentation der Gamma-Bremsmodell-Parameter für die S-Bahn-Baureihe 430.

Rechts: Auszug aus dem Lastenheft zur DSD-Fahrzeugausrüstung der Baureihe 423.

Diese und weitere Daten sind auf www.digitale-schiene-deutschland.de/digitaler-knoten-stuttgart veröffentlicht. Weitere Daten folgen.



Vielen Dank. Fragen?

Vertiefend:
www.digitaler-knoten-stuttgart.de