



Kofinanziert durch die Connecting Europe Facility  
der Europäischen Union.

# ETCS & Co. für maximale Leistungsfähigkeit

Erfahrungen im  
Digitalen Knoten Stuttgart

---

Deutsche Bahn AG | IDXSU | 2. Mai 2022

Alle Abbildungen, soweit nicht anders angegeben: Deutsche Bahn

# Die landläufigen Erwartungen an ETCS sind gewaltig...



von Verkehrsträgern. Der größte Fortschrittsschub für die Bahn kommt mit dem European Train Control System, kurz: ETCS. Mit dieser Technik können wir die Bahn digital überwachen, effizienter steuern und enger takten. Damit wächst die Kapazität um 20 Prozent, ohne dass auch nur ein einziges neues Gleis gebaut werden muss. Wir wollen das System des-

## Welche Rolle spielt denn die Digitalisierung?

Die Digitalisierung ist für die Schiene essentieller und strategischer Hebel. Intelligente Technologien können die Kapazität im Netz erhöhen, z.B. durch ERTMS/ETCS Level 3. Damit kann man, unter Einbeziehung der Verkehrsknoten, wie Bahnhöfe und Terminals, bis zu 30% mehr Kapazität generieren. Im Schienengüterverkehr wird

## ETCS in Deutschland – Die Chance für mehr Verkehr auf der Schiene?!

### Welche Rolle spielt die Digitalisierung in Ihren Vorstellungen?

Das ist für mich der eigentliche große Hebel! Wir planen mit der Digitalen Schiene Deutschland – DSD – eine Revolution im Netz. Durch den Einsatz von ETCS können wir bis zu 20 Prozent zusätzliche Kapazität aus dem Netz holen. Das ist aber nur der erste Schritt. Wenn wir ETCS Level 3 einsetzen, kommen nochmals 15 Prozent Kapazität hinzu. Wir verbauen also praktisch keinen Meter neuer Schiene und bringen trotzdem 35 Prozent mehr Verkehr im Schienennetz unter. Weiterer

## Deutschland: ETCS und Digitale Stellwerke als Heilsbringer

**30 Prozent mehr Kapazität praktisch ohne Aufwand?**

**DIGITAL RAILWAY**  
NETWORK RAIL'S WUNDERWAFFE

Optimising peak time traffic management through the network-wide deployment of ETCS across Europe could increase network capacity by 25-30% without investment in track infrastructure. "That is exactly the kind of practical innovation that we should be working on," Davenne says.

*bau der Schieneninfrastruktur, insbesondere zur Beseitigung von Netzengpässen. Nur durch eine zügige Umsetzung von ETCS/NeuPro können wir zudem die notwendige Kapazitätssteigerung auf dem Bestandsnetz anbieten. «*

Ausrisse (von links oben nach rechts unten): Eisenbahntechnische Rundschau (ETR) 9/2018, ETR 7/2021, Privatbahn Magazin 2/2019, Zevrail 1/2019, Eisenbahn-Revue International (ERI) 11/2019, ERI 7/2019, International Railway Journal 1/2021, Modern Railways 4/2018, EI 1/2018

# **... viele Praxiserfahrungen hingegen durchaus ernüchternd.**



## **Weniger Kapazität mit ETCS**

**Kurzzeitiger Ausfall von GSM-R und ETCS Level 2 in der Schweiz**

**Peinliche ETCS-Störung in  
Nordschweden**

**Sicherheitsrelevanter Vorfall mit ETCS L2 auf der Strecke  
Lausanne – Villeneuve**

## **Zürich – München: Umsteigen wegen ETCS**

**IC-2-Testfahrten in der Schweiz abgebrochen**

**ETCS-Probleme beim Italien-Verkehr im Sommer**

**ETCS-Einführung in Dänemark dauert länger und kostet mehr**

**Fremdverursachte ETCS-Störungen**

**Wie ETCS Level 2 die Kapazität verringert**

**ETCS-Probleme bei SBB Cargo**

**Neue Probleme mit ETCS in der Schweiz**

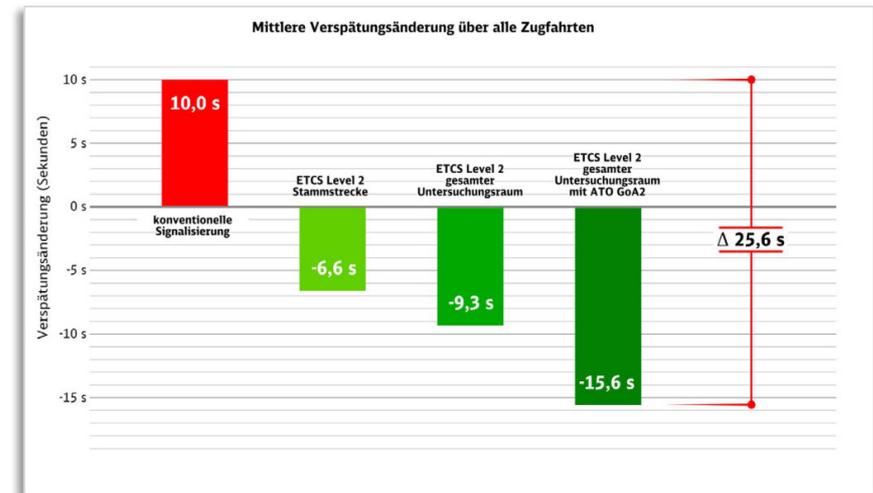
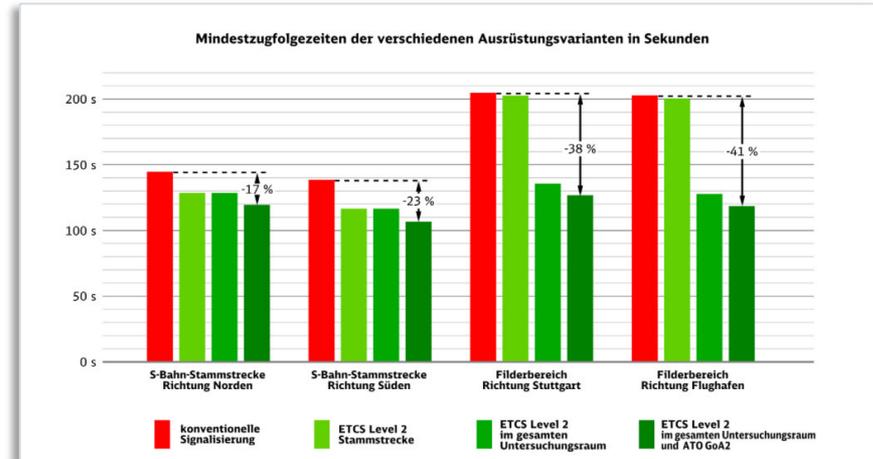
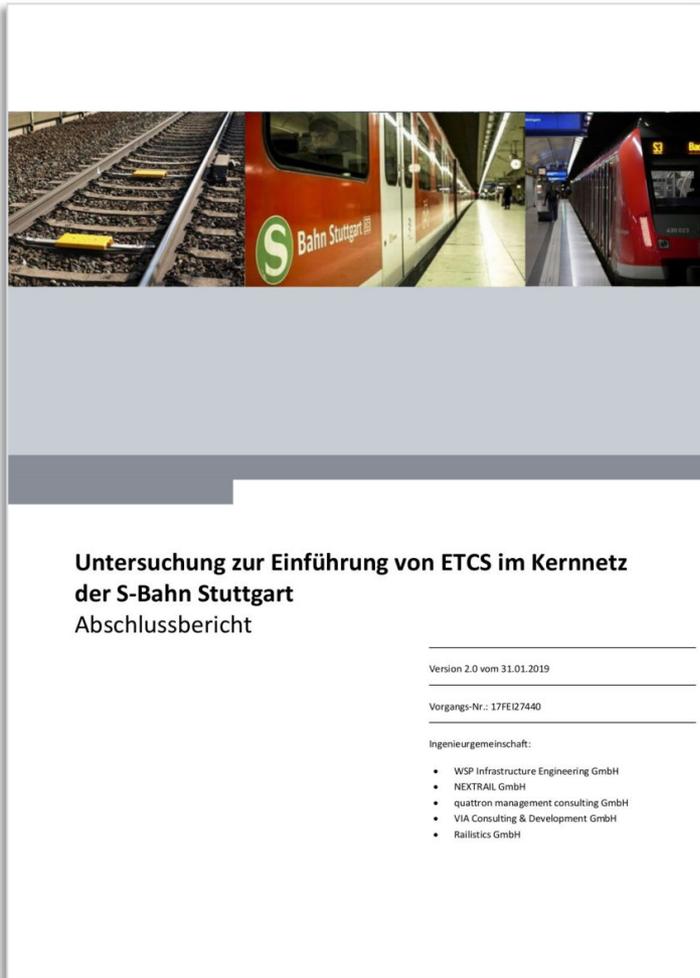
**ETCS L2 mit Mängeln**

**Probleme mit den Eurobalisen**

**Niederländische Güterbahnen sagen ETCS-Programm den Kampf an**

Aussisse: „Eisenbahn-Revue International“

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



Linke Abbildung: Deckblatt des Abschlussberichts der S-Bahn-ETCS-Untersuchung vom 31. Januar 2019 ([https://vm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvji/intern/Dateien/PDF/Abschlussbericht\\_Untersuchung\\_ETCS\\_Stuttgart.pdf](https://vm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvji/intern/Dateien/PDF/Abschlussbericht_Untersuchung_ETCS_Stuttgart.pdf)).

# Wir haben uns ganz bewusst entschieden, auf eine Doppelausrüstung zu verzichten.



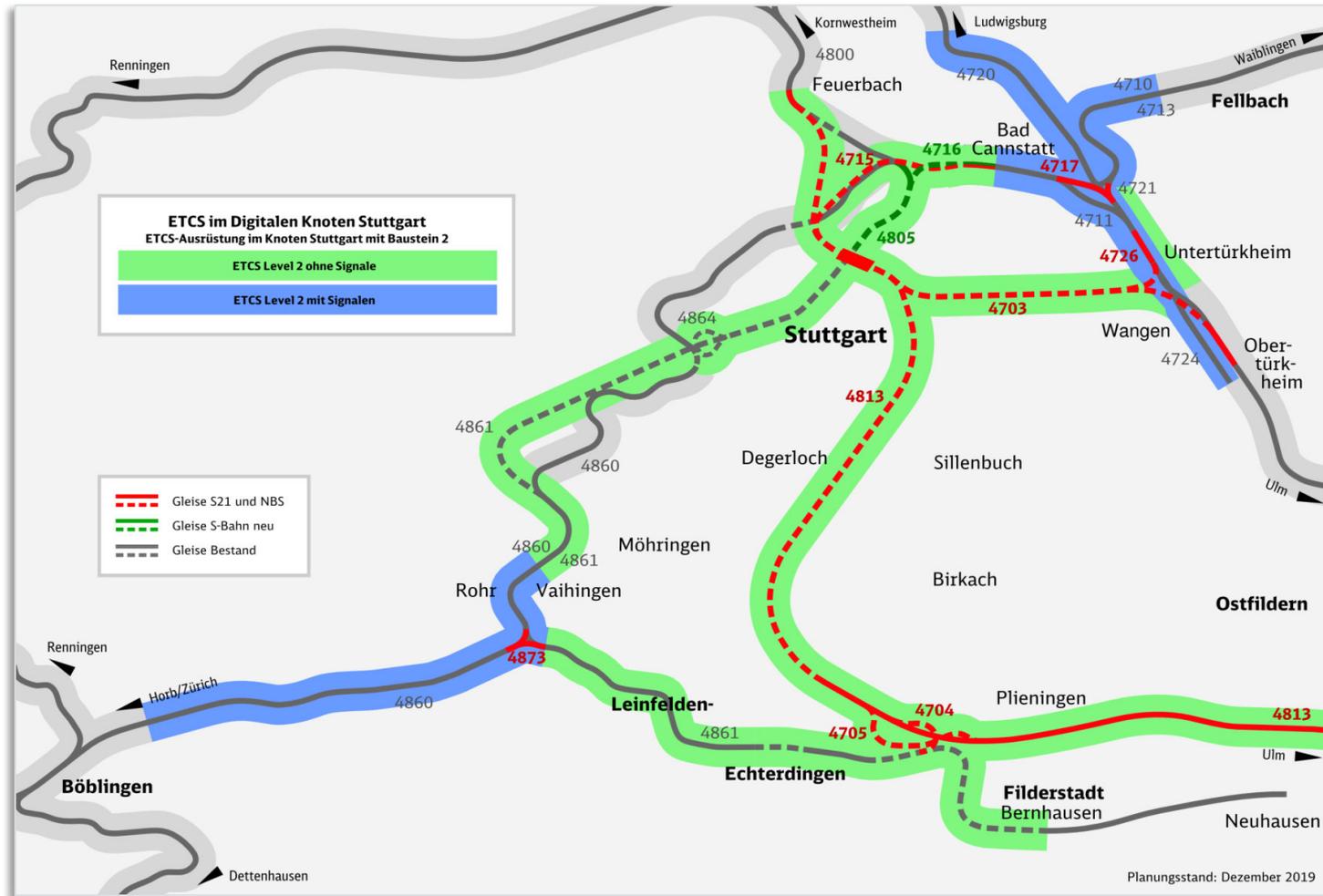
**S-Bahn-Tunnel Regelprofil eingleisig**  
Ausrüstung mit ETCS



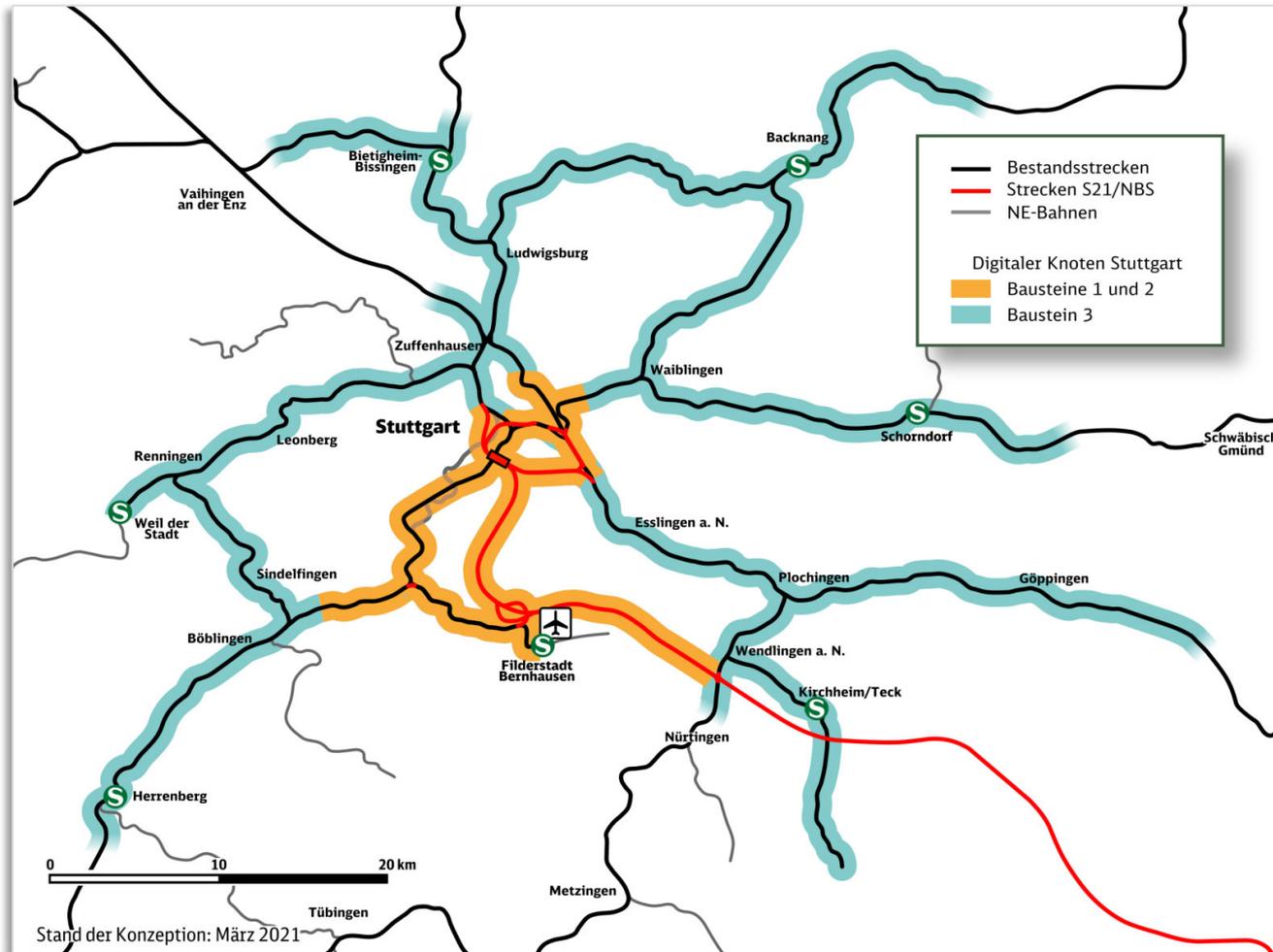
**S-Bahn-Tunnel Regelprofil eingleisig**  
Ausrüstung mit punktförmiger Zugbeeinflussung (PZB) und ETCS

Vertiefend: *ETCS Level 2 ohne „Signale“ in einem großen Knoten*. Deine Bahn, 3/2022 (wird im Juni 2022 online veröffentlicht).

# 2025 wird der Kern des DKS mit ETCS Level 2 „ohne Signale“ (oS) in Betrieb genommen ...



# ... bis 2030 folgt schrittweise die übrige Region – insgesamt rund 500 Netzkilometer.



Vertiefend: *Quo vadis Digitale Leit- und Sicherungstechnik?* Der Eisenbahningenieur, 11/2021 (<https://bit.ly/3tFQWUB>).

# Ein Großprojekt im Großprojekt: Umrüstung von 333 Triebfahrzeugen, im Wesentlichen in 2024.



- Die Fahrzeuge werden vorlaufend zur Infrastruktur ausgerüstet, um eine Doppelausrüstung zu vermeiden.
- Die Nachrüstung erfolgt gemäß dem Betrieblich-Technischen Zielbild der DB und geht weit über eine bloße Ausrüstung mit ETCS hinaus.
- In einer ersten Stufe wird bis 2025 insbesondere die Hardware eingebaut und ETCS sowie ATO GoA 2 in Betrieb gesetzt.
- Die First-in-Class-Ausrüstung läuft im Wesentlichen bis Ende 2023, die Serienumrüstung im Wesentlichen in 2024 an fünf Standorten (Abbildung).
- In einer zweiten Stufe (2025 bis 2027) erfolgt die Hochrüstung gemäß TSI ZSS 2022, wird u. a. FRMCS in Betrieb genommen.

Vertiefend: *Fahrzeugnachrüstung für den Digitalen Knoten Stuttgart*. Der Eisenbahningenieur, 9/2021 (<https://bit.ly/3tFQWUB>)  
Und *Nachrüstung von 333 Triebzügen für den Digitalen Knoten Stuttgart*. ZEVrail, 5/2022.

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

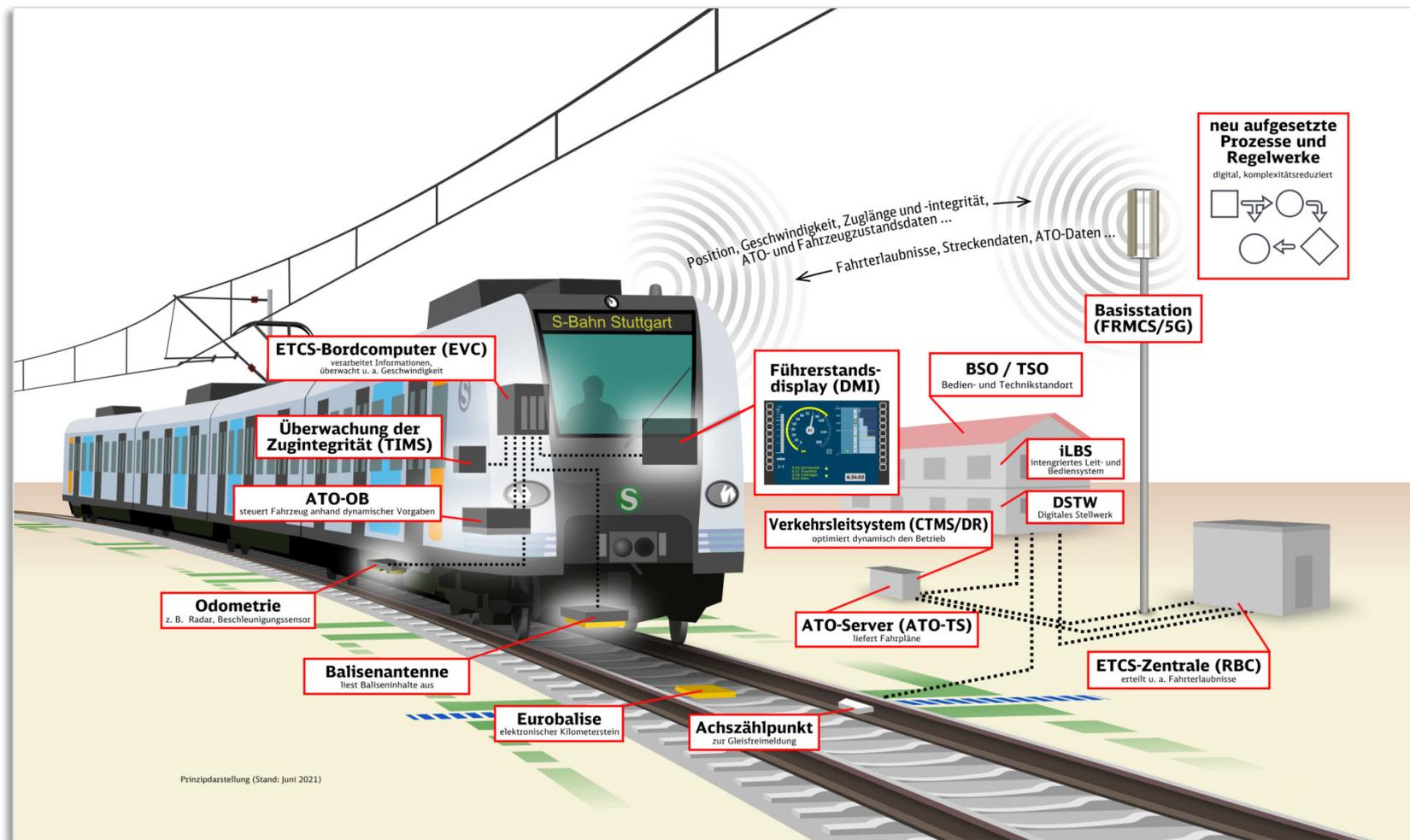
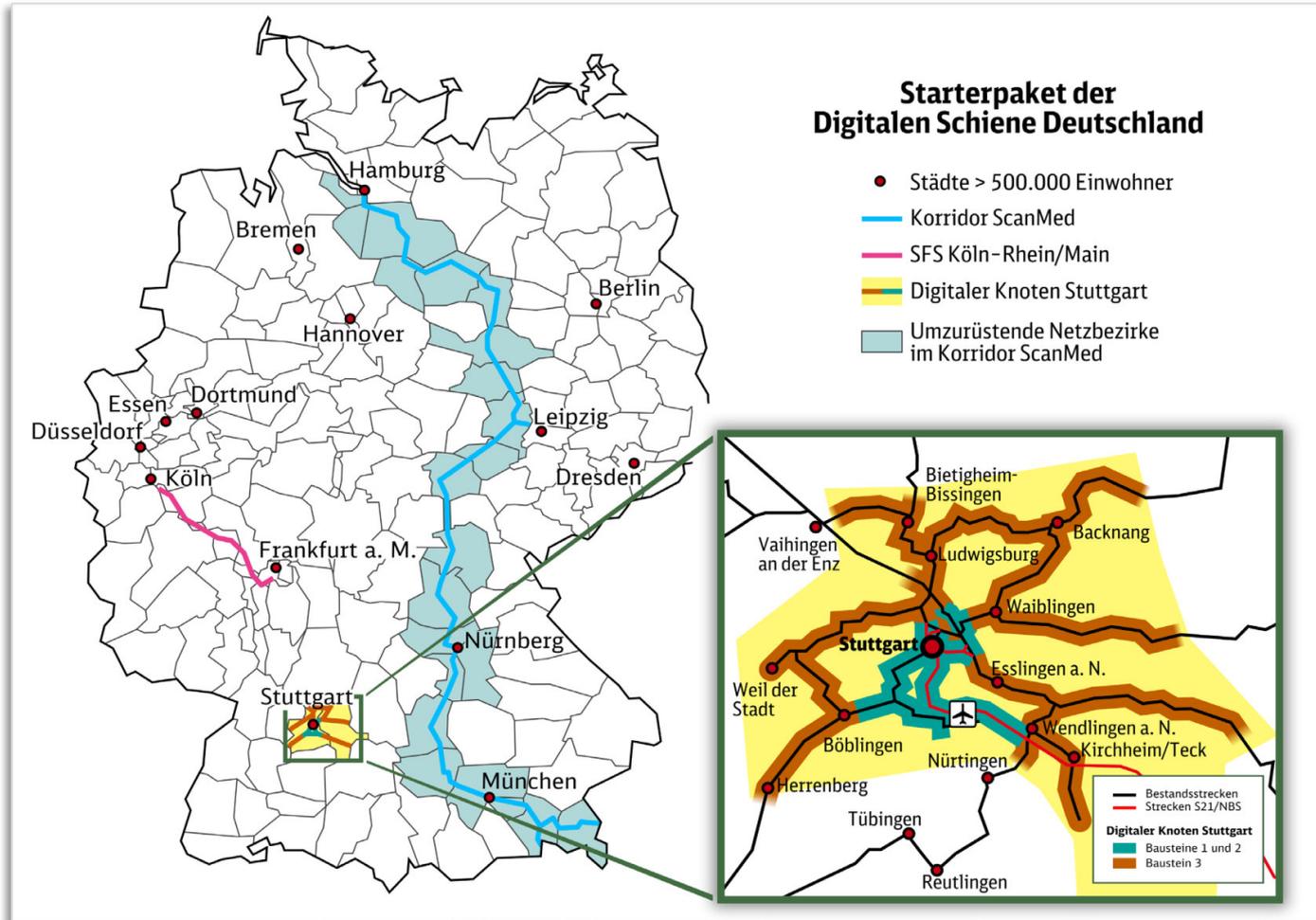


Abbildung: vereinfachte Architektur im Endzustand des DKS (mit Baustein 3, Horizont 2030)  
 Vertiefend: *Fahrzeugnachsrüstung für den Digitalen Knoten Stuttgart*. Der Eisenbahningenieur, 9/2021 (<https://bit.ly/3tFQWUB>).

# Der Digitale Knoten Stuttgart ist Teil des Starterpakets der Digitalen Schiene Deutschland.



# Wesentliche Aufträge für den Kern sind vergeben. Inbetriebnahmen erfolgen ab Ende 2023.



- Im November 2020 wurde der Kern der Infrastruktur an Thales vergeben.
- Im Juni 2021 wurde die ETCS/ATO-Nachrüstung von 333 Regional- und S-Bahn-Triebzügen an Alstom beauftragt. First-in-Class-Umrüstung ab Ende März. Beschaffung von 130 neuen Dosto-Triebzügen ist beklagt.
- Schrittweise Inbetriebnahmen von Stellwerken, ETCS und weiteren Techniken ab Ende 2023 bis 2030.
- Parallel zur Umsetzung werden in Innovationskooperationen einzelne Anteile zur Anwendungsreife geführt, beispielsweise Teilblock am Bahnsteig oder FRMCS-Fahrzeugausrüstung.
- Die Infrastruktur des Starterpakets ist im Bundeshaushalt hinterlegt. Im Rahmen eines Pilotprojekts fördert der Bund auch die Fahrzeugausrüstung. Die EU unterstützt.
- Offen ist Förderung der Fahrzeugausrüstung für den Baustein 3 sowie die Finanzierung einiger grundlegender netzweiter Funktionen.

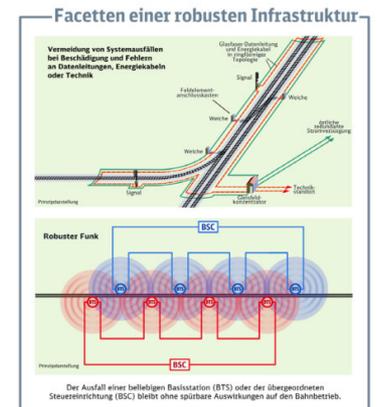
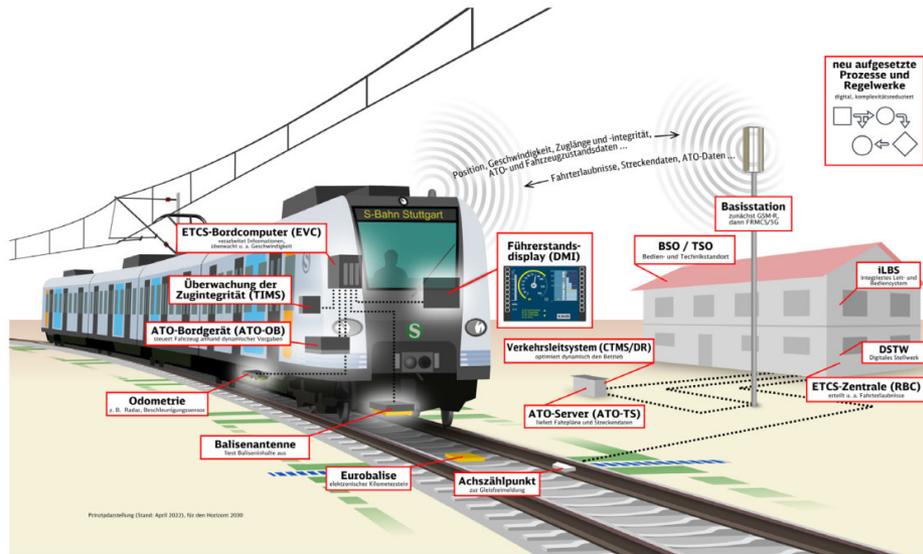
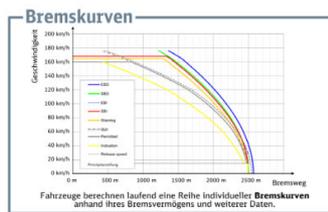
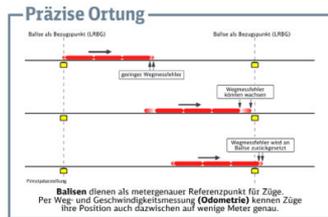
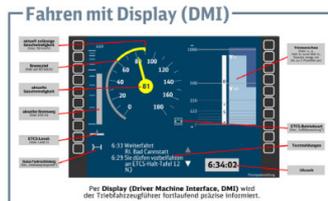
Abbildungen: Beginn der First-in-Class-Ausrüstung im Werk Hennigsdorf (Alstom, 22. März 2022 und 6. April 2022)

Deutsche Bahn AG | IDXSU | 2. Mai 2022

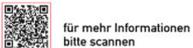
# Ein Fahrzeug-und-Infrastruktur-Großprojekt, eine Menge Technik für viele hundert Millionen Euro...



## Fahrzeuge, Infrastruktur und Betrieb wirken im Digitalen Knoten Stuttgart zusammen



WWW.DIGITALER-KNOTEN-STUTTGART.DE



## ... und was bringt das alles?

Abbildung: DKS-Übersichtsplakat, das auf den „Tagen der offenen Baustelle“ am Hauptbahnhof in Stuttgart im April 2022 gezeigt wurde. (vertiefend: <https://bsu.link/tdob-infotafeln>)

# Wir sehen mehr als 50 Kapazitäts- und Qualitätspotenziale, u. a. aus der S-Bahn-Untersuchung.

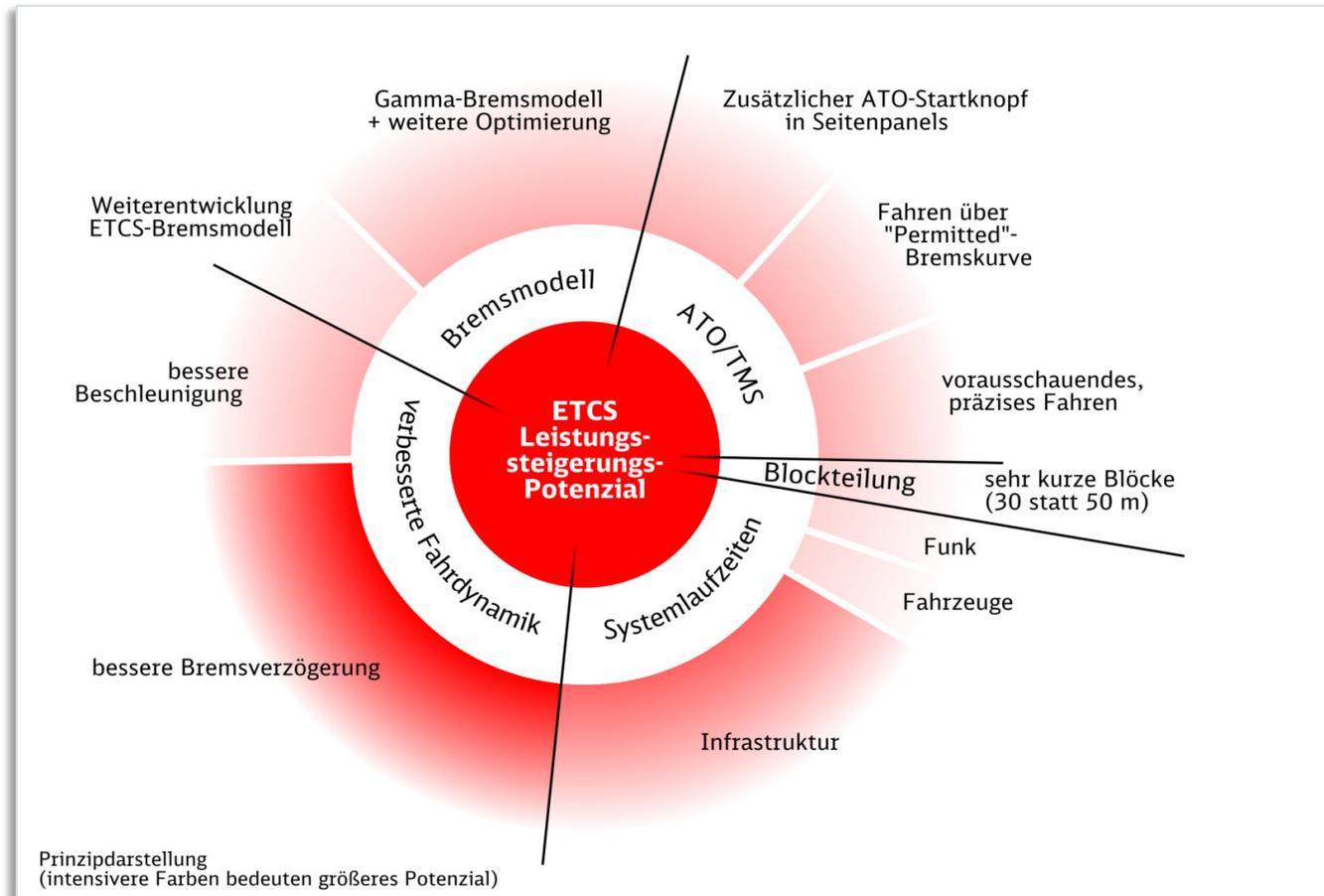


Abbildung: Darstellung der in der S-Bahn-ETCS-Untersuchung (2018/2019) erkannten Potenziale für kürzere Zugfolgezeiten. (nicht alle Potenziale sind dargestellt, insbesondere außerhalb der S-Bahn)

# Typisches Verständnis von Kapazitätserhöhungen: dichte Blockteilung, wie von der LZB bekannt.

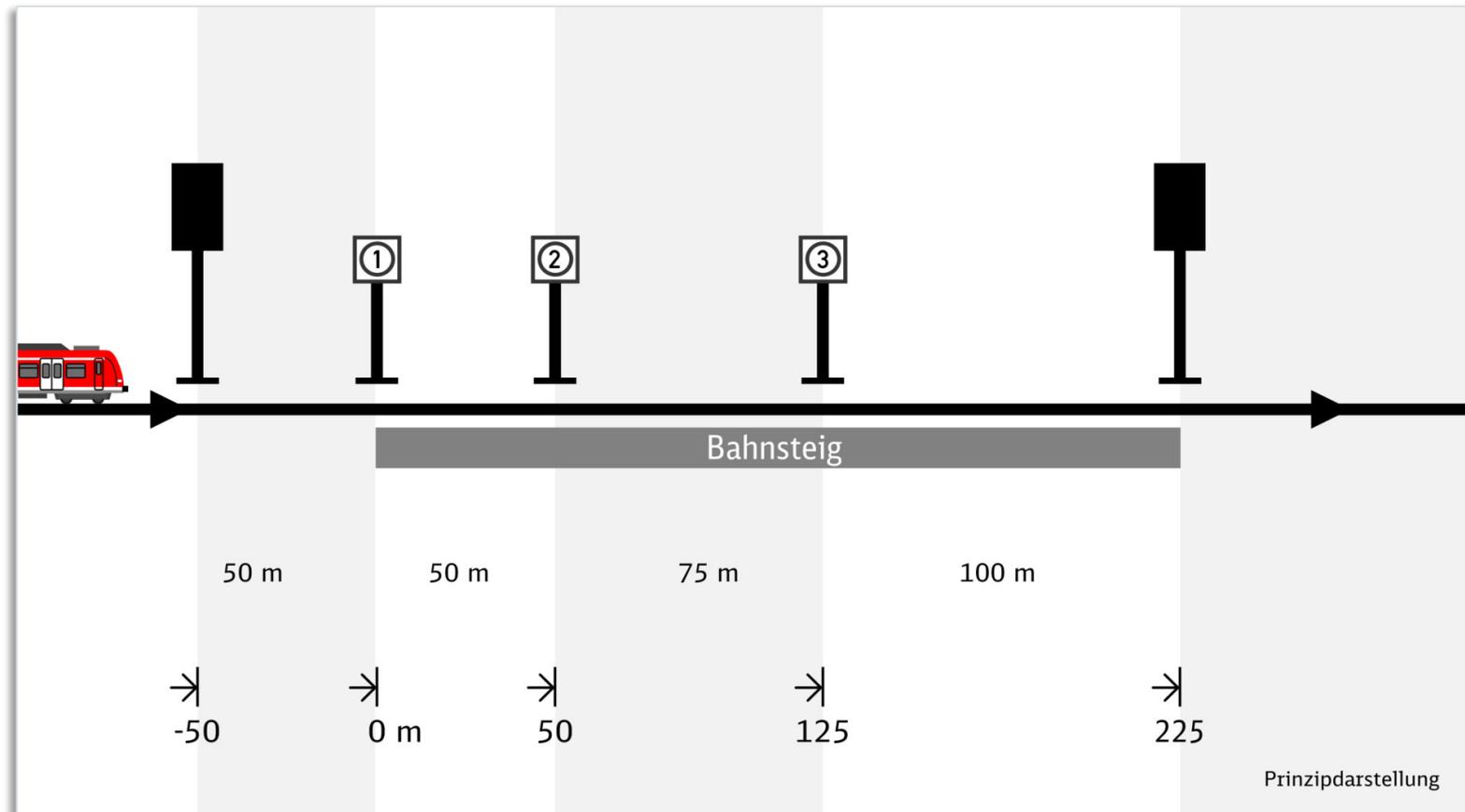


Abbildung: Typische Blockteilung im Bereich der S-Bahn-Stammstrecke München, mit LZB-Hochleistungsblock.

# Mit ETCS können bis zu 30 m kurze „Blöcke“ gebildet werden.

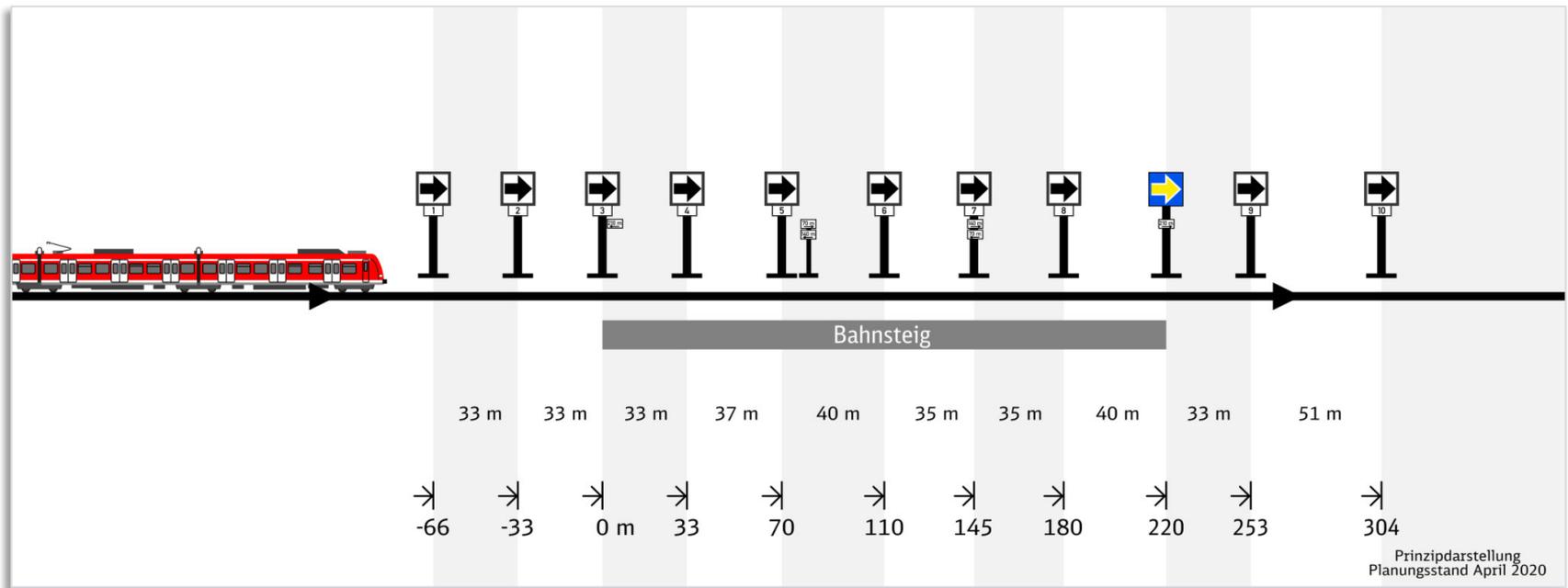
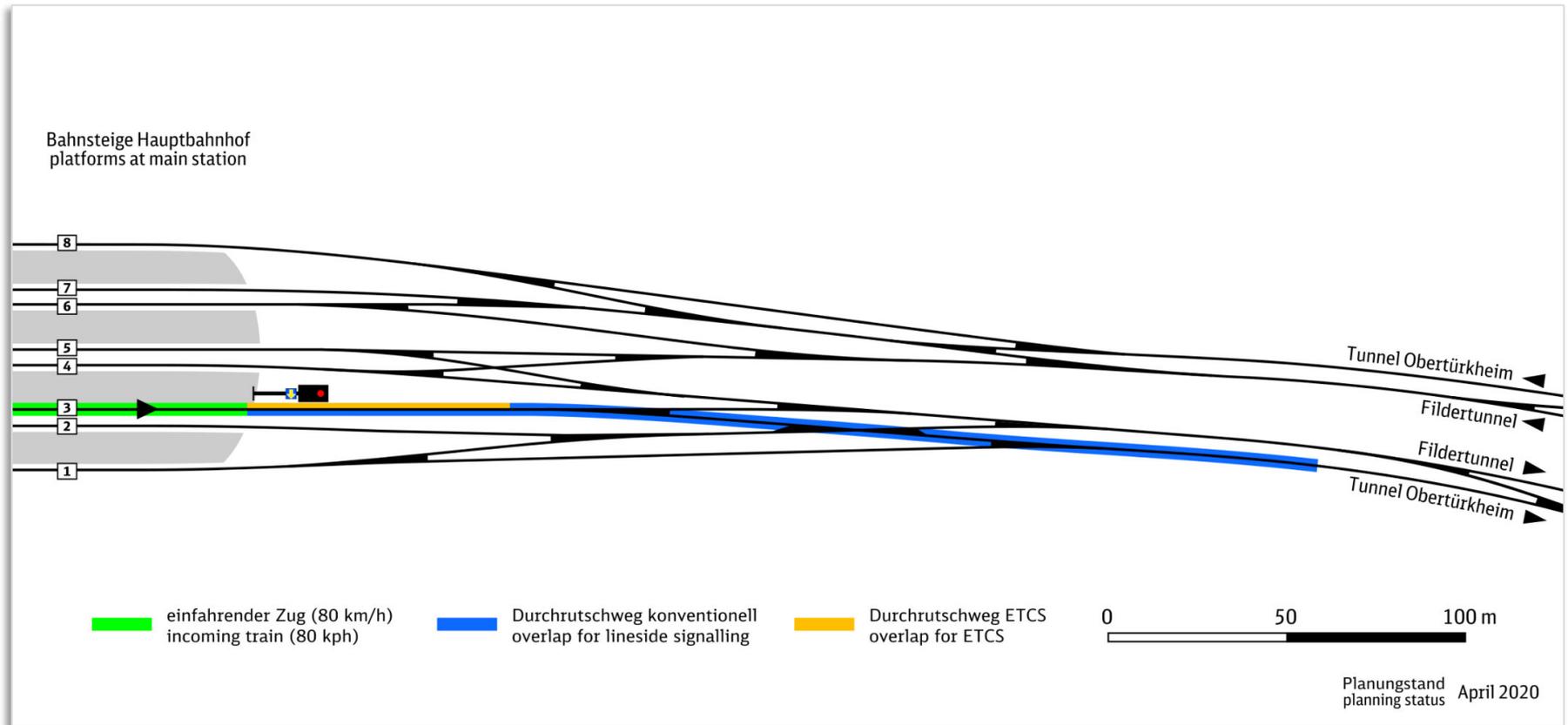


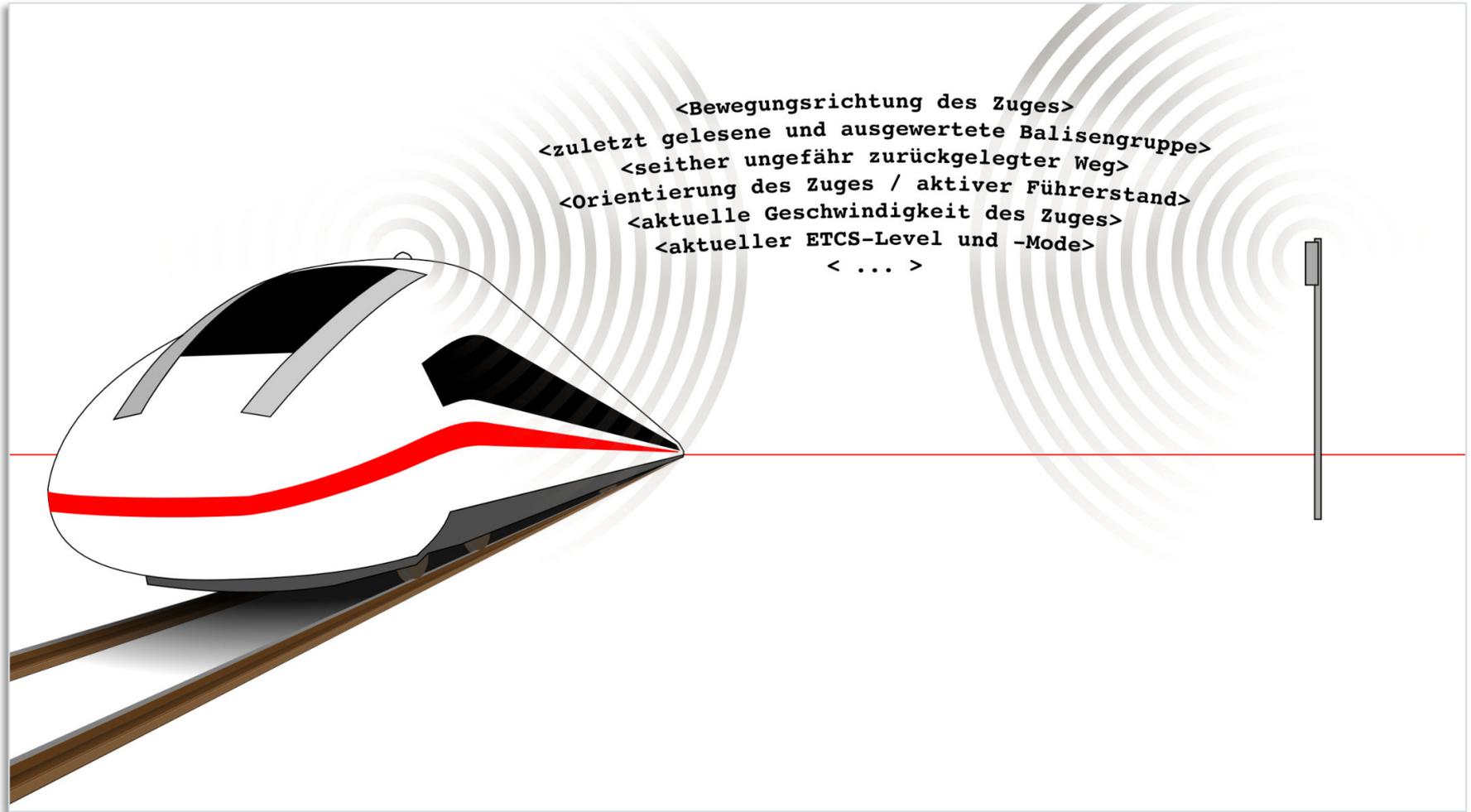
Abbildung: Prinzipdarstellung des Hochleistungsblock im Bereich der S-Bahn-Stammstrecke Stuttgart für eine fiktive, brettebene Station.  
Vertiefend: *Optimierung der Blockteilung mit ETCS Level 2 im Digitalen Knoten Stuttgart*. Signal+Draht, 7+8/2021 (<https://bit.ly/3Ai0gQR>).

# Mit ETCS Level 2 können Durchrutschwege für Personenzüge auf ~50 m verkürzt werden.



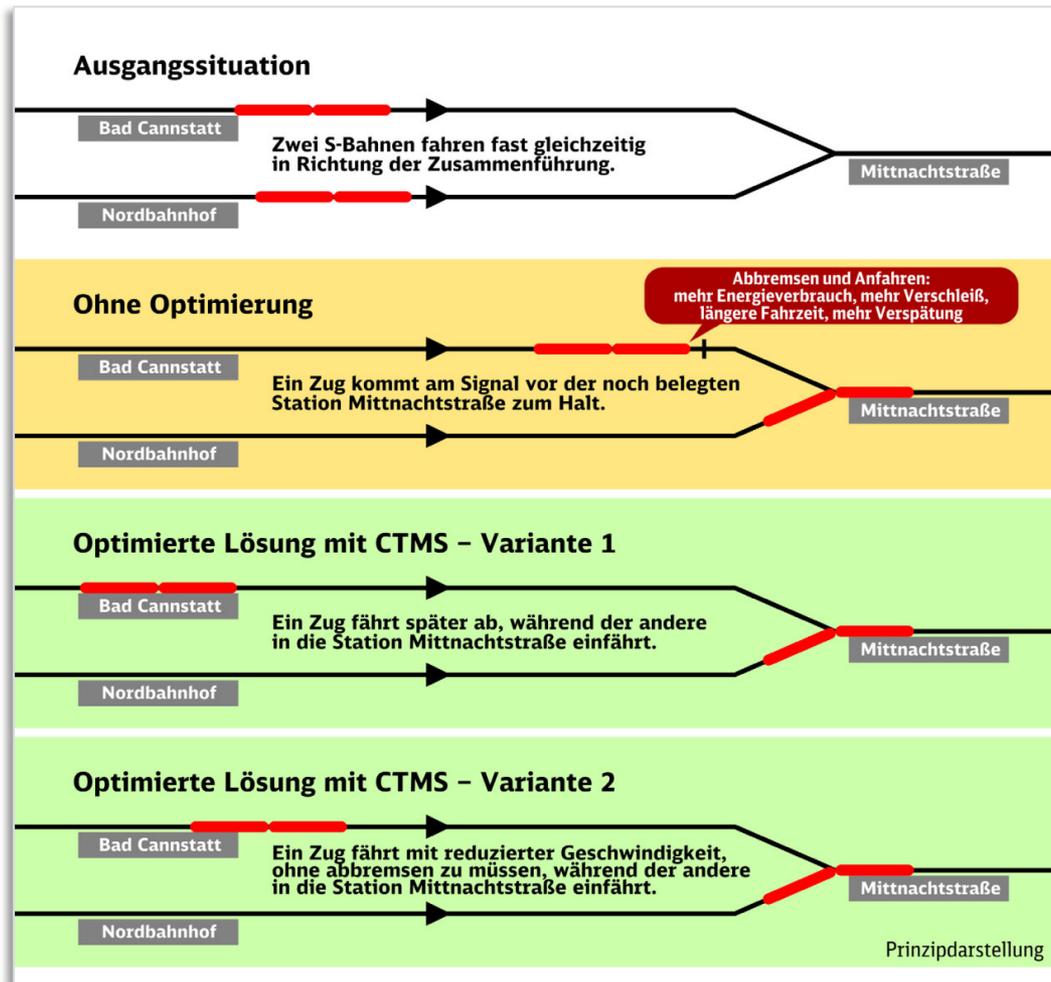
Vertiefend: *ETCS in großen Bahnhöfen am Beispiel des Stuttgarter Hauptbahnhofs*. Signal+Draht, 7+8/2021 (<https://bit.ly/3fiozoJ>)

# Mit ETCS (L2/L3) stehen Zug und Infrastruktur im ständigen Austausch, z. B. Position Reports.

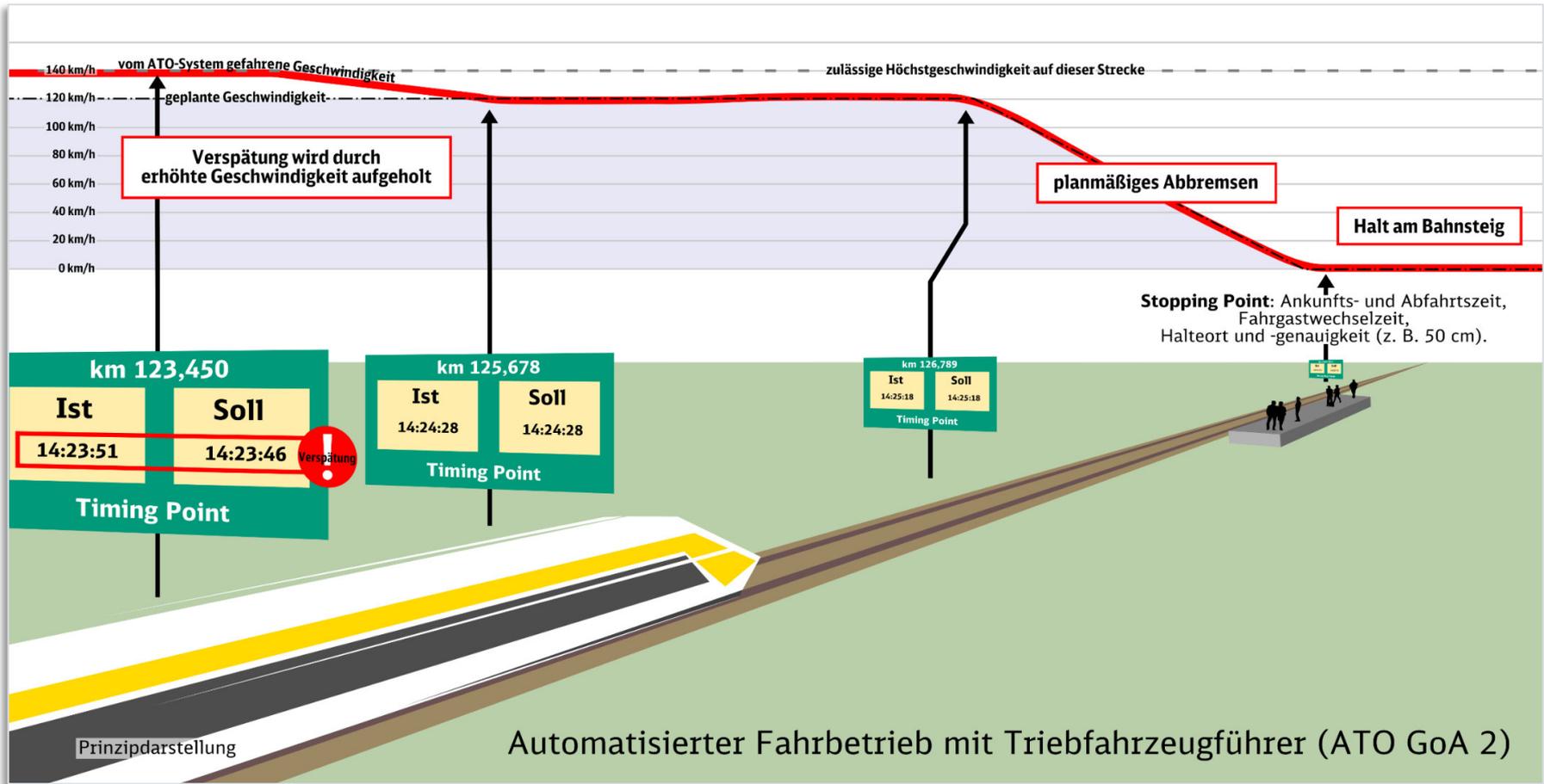


Vertiefend: *Fahrzeugnachrüstung für den Digitalen Knoten Stuttgart*. Der Eisenbahningenieur, 9/2021 (<https://bit.ly/3tFQWUB>).

# Vorausschauende Führung von Zügen mit dem Verkehrsleitsystem CTMS.



# Automatisierter Fahrbetrieb mit Lokführer (ATO GoA 2) als einfache, präzise „Fernsteuerung“.



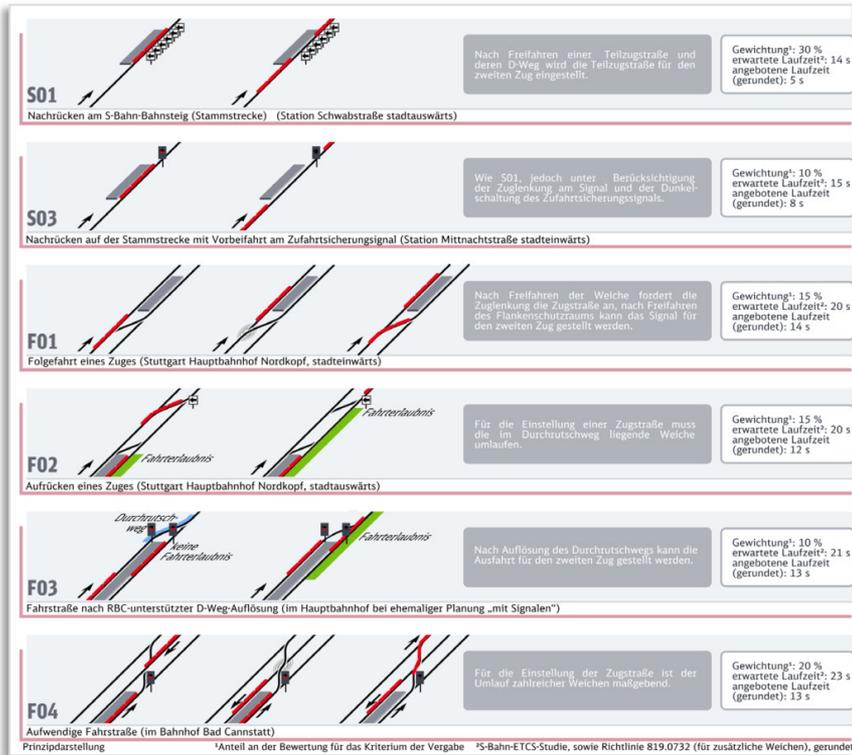
# Unter anderem konnten uns die unterstellten technischen Laufzeiten nicht zufriedenstellen.



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

Tabelle: In der S-Bahn-ETCS-Untersuchung von 2018 unterstellte technische Laufzeiten (Szenario ohne Weichen).

# Nach einem Laufzeitwettbewerb wurden deutlich reduzierte Infra-Laufzeiten vertraglich vereinbart.



- Für sechs kapazitätskritische Szenarien 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.
- Die übrigen Laufzeitanteile (GSM-R mit 1,8 s und ETCS-Fahrzeuggerät mit 1,5 s) sind unverändert und Gegenstand weiterer Optimierungen.

Vertiefend: *Schnelle Leit- und Sicherungstechnik für mehr Fahrwegkapazität*. Der Eisenbahningenieur, 6/2021 (<https://bit.ly/2SIQvjY>).

# Optimierte ETCS-Bremskurven können merklich zu kürzeren Zugfolgen beitragen.



Arbeitsstand

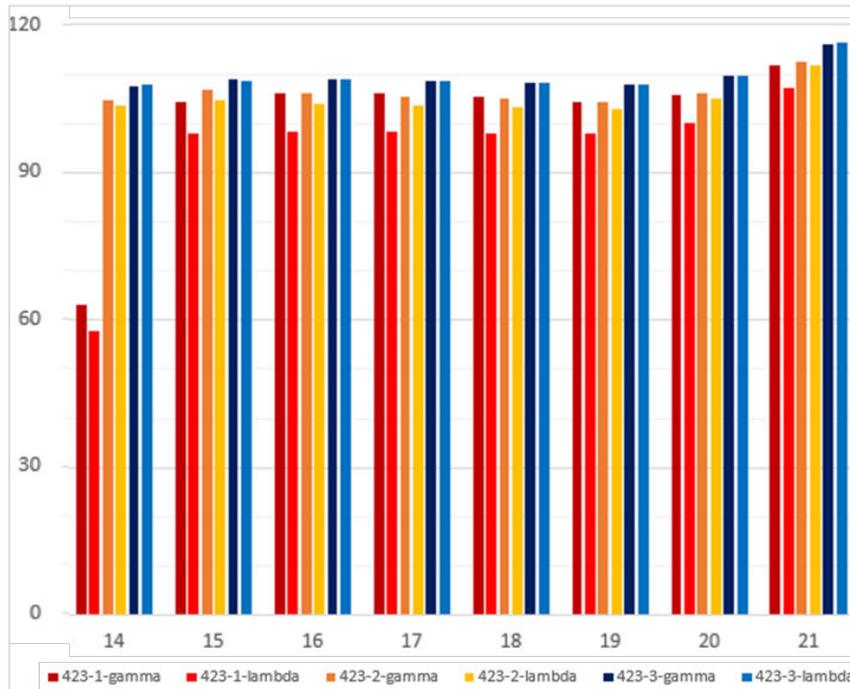
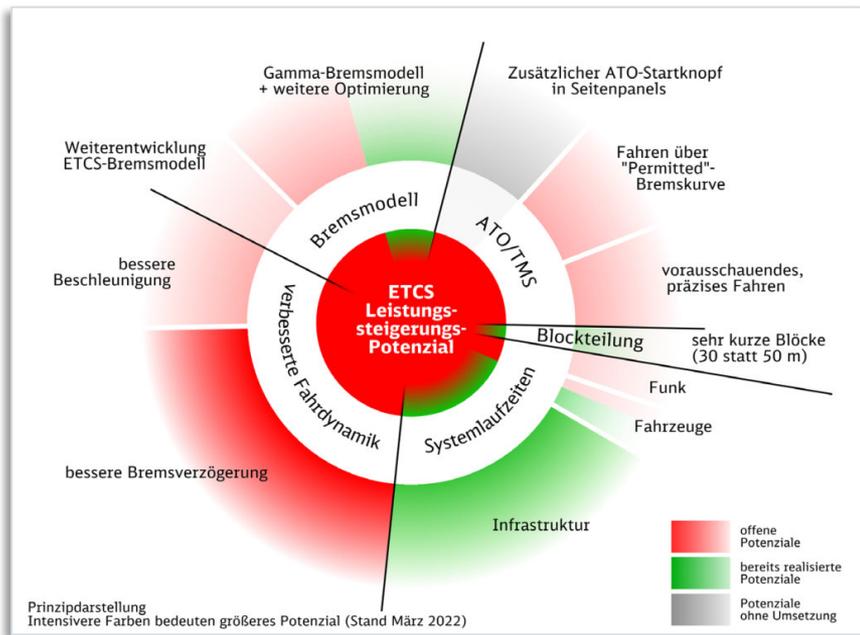


Abbildung: Mindestzugfolgezeiten (in s) je Zugfolgeabschnitt an einer Station der S-Bahn-Stammstrecke für die Zugfolge gleichartiger Züge (Einfach-, Doppel- und Dreifachtraktion der Baureihe 423). Mit optimierter Blockteilung und optimierten Laufzeiten, ohne ATO GoA 2 (d. h. Indication als maßgebende Bremskurve) und ohne weitere Optimierungen. Im Beispiel ist Lambda bei Einfach- und Doppeltraktion vorteilhaft, Gamma bei Dreifachtraktion.

- ETCS (Baseline 3) kennt zwei Bremsmodelle (Lambda und Gamma).
- Das Gamma-Bremsmodell kann – je nach Zugkonfiguration, Geschwindigkeit und Längsneigung – zu kürzeren oder längeren Bremswegen führen.
- Es bestehen einige Ansätze für Optimierungen innerhalb der bestehenden Modelle, beispielsweise Lambda-Gamma-Unterscheidung nach Zuglänge.
- Bei neuen Triebzügen sollte ETCS bei der Auslegung des Bremssystems mit berücksichtigt werden (Verfügbarkeit, ggf. Bremsverzögerungen).
- ETCS-Bremskurven können durchaus steiler als konventionell (PZB) sein.
- Einzelne Potenziale verbleiben in der ETCS-Spezifikation.

Vertiefend: *Maximierung der Fahrwegkapazität mit Digitaler Leit- und Sicherungstechnik*. Eisenbahntechnische Rundschau, 7+8/2021 (<https://bit.ly/2SIQvjY>) sowie *Digitale Leit- und Sicherungstechnik ist kein Selbstzweck*, Deine Bahn, 3/2021 (<https://bit.ly/2Xu7P8P>).

# Auf der Stammstrecke sind rund 35% kürzere Zugfolgen erreicht – klare Perspektive für >50%.



Nicht dargestellt: genauere Lokalisierung als zunächst unterstellt (rund 5 statt modellierten 55 m Ortungsfehler).

- Die S-Bahn-ETCS-Untersuchung wies rund 20% kürzere Zugfolgen für die S-Bahn-Stammstrecke aus – mit ETCS und ATO, unter konservativen Prämissen.
- In Verbindung mit weiteren Optimierungen (Abbildung) stehen wir inzwischen bei rund 35 Prozent.
- Damit werden mittlere Mindestzugfolgezeiten (mit Langzügen) von rund 100 Sekunden erreicht.
- Zahlreiche weitere Potenziale verbleiben und werden weiter verfolgt.
- Die Frage ist nicht mehr, *ob* wir die langfristig gewünschte 100-Sekunden-Zugfolge (Fahrplan) in der Leit- und Sicherungstechnik umsetzen können, sondern „nur“ noch *wie*.
- Als „Joker“ verbleibt die Fahrdynamik zukünftiger Neufahrzeuge.

Vertiefend: Nachrüstung von 333 Triebzügen für den Digitalen Knoten Stuttgart. ZEVrail, 5/2022.

# Leistungsziel für Fern- und Regionalverkehr im Kern: ein Zug alle 5 bzw. 2 Minuten.



## Stuttgart 21 ist wesentliche Voraussetzung für den geplanten Deutschland-Takt

Stuttgart, 16. Juli 2019

*Zur Diskussion über die Zukunftsfähigkeit des Bahnprojekts Stuttgart-Ulm nimmt die Deutsche Bahn wie folgt Stellung:*

**Fahrplan zur Inbetriebnahme von Stuttgart 21 sieht vielfach kürzere Umsteigezeiten vor als der aktuelle Entwurf des Deutschland-Taktes**

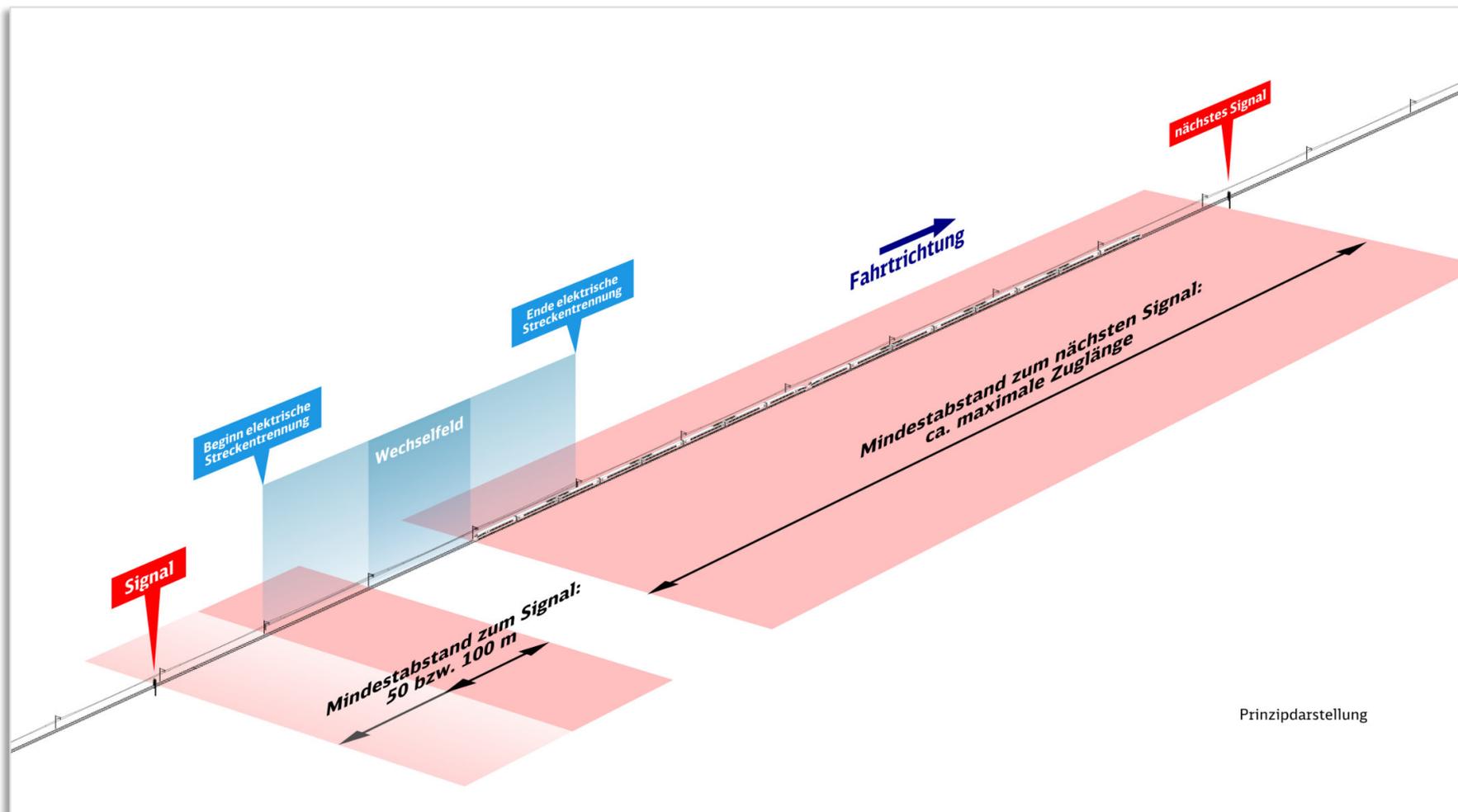
Obwohl beispielsweise halbstündliche Fernverkehrsangebote zwischen Stuttgart und Darmstadt, Heselberg, Mainz, Nürnberg bzw. Zürich – wie auch auf vergleichbaren Relationen in anderen Bundesländern – beim Deutschland-Takt nicht vorgesehen sind, könnte der künftige Bahnknoten Stuttgart bei Bedarf derartige Verkehre ohne Weiteres ebenso aufnehmen wie zusätzliche Regionalverkehre.

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*

- Im Kern des Knotens, der im Rahmen von Stuttgart 21 momentan grundlegend umgestaltet wird, verfolgen wir für den Hochleistungsbetrieb zwei Leistungsziele:
  - Im Hauptbahnhof (unter Praxisbedingungen!) alle fünf Minuten ein Zug je Bahnsteiggleis.
  - Auf jedem anschließenden Streckengleis alle zwei Minuten ein Zug.
- Die Mindestzugfolgezeit (ohne Puffer/Reserven) liegt in der Regel bei einer Minute.

Aussriss: Statement des Konzernbevollmächtigten Thorsten Krenz vor dem S21-Ausschuss des Stuttgarter Gemeinderats am 16. Juli 2019 (<http://www.bahnprojekt-stuttgart-ulm.de/presse/pressemitteilungen/newsdetail/news/1491-geplanter-deutschland-takt/newsParameter/detail/News/datum/20190716/>)

# Der Teufel steckt in zahllosen Details: beispielsweise an Schaltabschnittsgrenzen (z. B. in Bahnhöfen).



Vertiefend: Streckentrennungen und die Digitale Schiene. Elektrische Bahnen, 9/2021.

# Wir müssen mehr denn je im System denken, beispielsweise Fahrzeuge und Infrastruktur.



Am Beispiel zweier Züge ähnlicher Länge und Fahrdynamik (Erfahrungen im DKS):

	Zug 1	Zug 2
ETCS-Ausrüstung	Ja	Ja
ATO GoA 2	Ja	Nein
optimierte Laufzeiten, FRMCS	Ja	Nein
Zugintegrität/Level 3	Ja	Nein
Fahrzeugzustandsdaten (Train Capability)	Ja	Nein
optimierte ETCS-Bremskurven	Ja	Nein
Relevante Bremsverzögerung und Bremskurve für Zugfolge (Fahrwegkapazität)	<b>&gt;1,0 m/s<sup>2</sup></b> (nahe EBI)	<b>0,5 m/s<sup>2</sup></b> (Guidance Curve)

- Perspektivisch wird Zug 1 ca. die Hälfte der Fahrwegkapazität von Zug 2 verbrauchen.
- Es braucht frühzeitige, klare Ausrüstungsziele, um Fahrzeuge „aus einem Guss“ vorausschauend (mit Zielbild) auszurüsten.
- Der Aufwand für die Integration von ETCS liegt bei mehreren hunderttausend Euro pro Triebzug, der Aufwand für ATO hingegen bei nur wenigen zehntausend Euro.
- Ein Retrofit ist ungefähr doppelt so aufwendig wie eine Ausrüstung „ab Werk“.
- Nur mit zielgerichteter Förderung kann eine sinnhafte, rechtzeitige Ausrüstung gelingen.

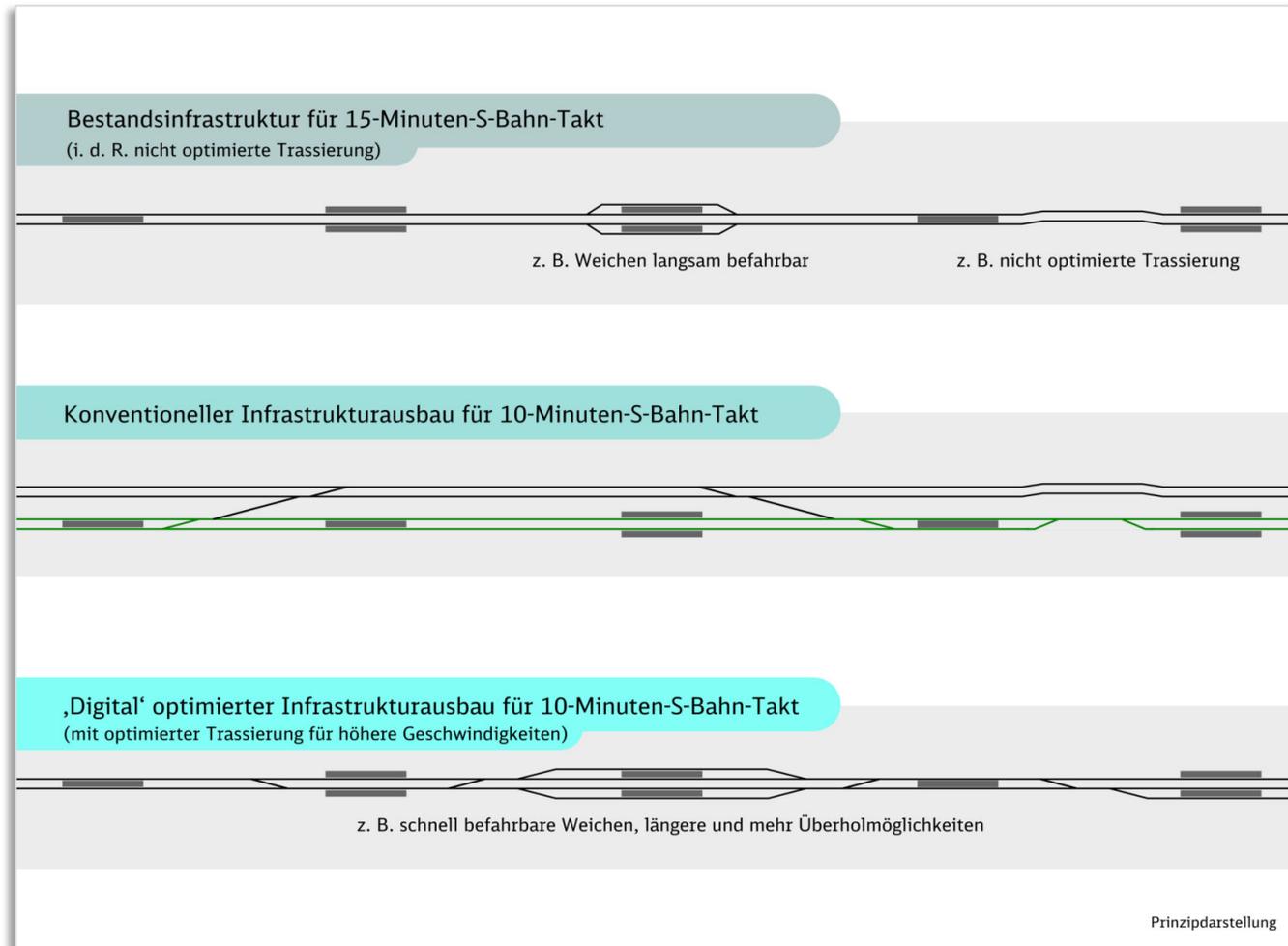
# Es geht um viel mehr als ETCS: vorausschauendes Fahren, mit ATO GoA 2 und CTMS.



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



# Schlanker Infrastrukturausbau mit ETCS, ATO und CTMS für einen 10-Minuten-S-Bahn-Takt im Umland.



Vertiefend: *Maximierung der Fahrwegkapazität mit Digitaler Leit- und Sicherungstechnik*. Eisenbahntechnische Rundschau, 7+8/2021 (<https://bit.ly/2SlQvjY>)

# Fazit: Um die Digitalisierung der Eisenbahnen zum Erfolg zu führen, müssen wir sie klug gestalten.



Visualisierung des neuen Hauptbahnhofs Stuttgart (oben) und der neuen S-Bahn-Station Stuttgart Mitnachtstraße (unten): plan b, Stuttgart

- Die bloße Einführung neuer Stellwerke und ETCS führt vielfach nicht zu mehr, sondern mitunter sogar zu *weniger* Fahrwegkapazität.
- (Viel) mehr Kapazität mit ETCS ist möglich. Dafür braucht es klare Anforderungen und eine umfassende Optimierung an Fahrzeugen *und* Infrastruktur, „digital“ *und* konventionell, ETCS *und* weitere Technik.
- Eine durchoptimierte „digitale“ Fahrzeug- und Infrastrukturausrüstung kostet gegenüber einer Minimallösung nur etwa 10 Prozent mehr.
- Um diesen Optimierungen den Weg zu bereiten, müssen wir die Digitalisierung klug gestalten.

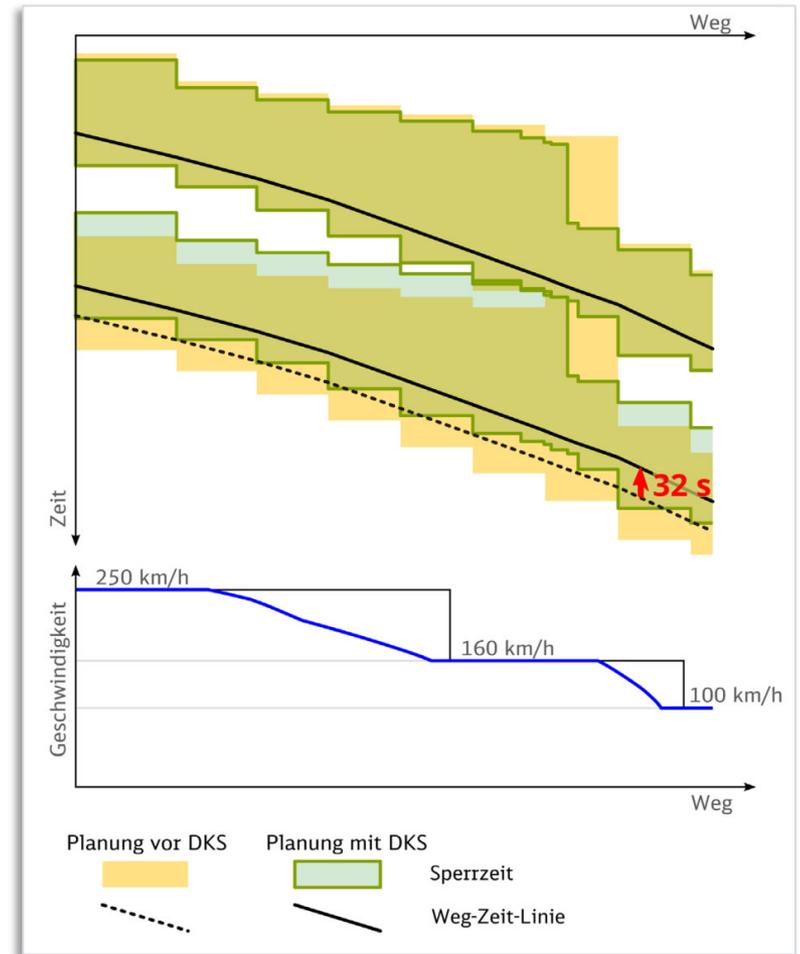
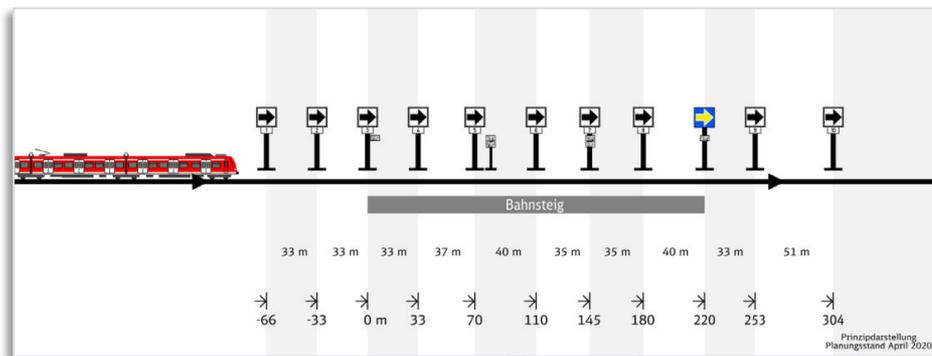
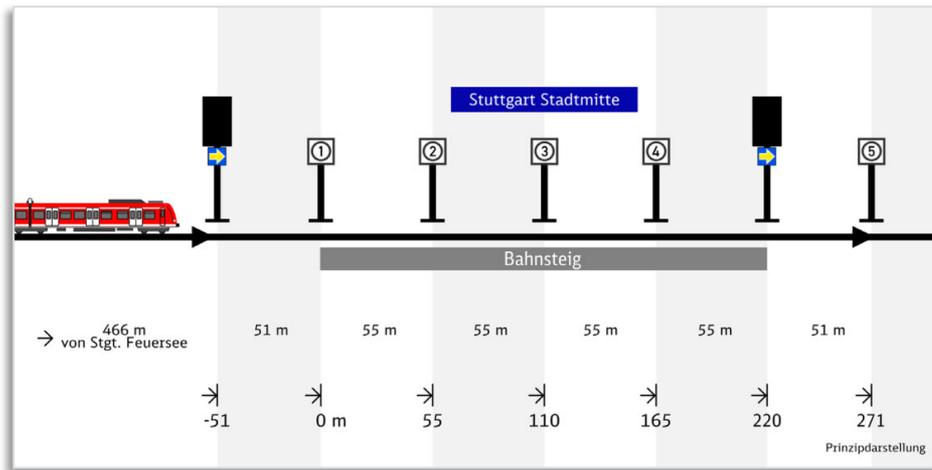


# Fragen?

(Vertiefend: [www.digitaler-knoten-stuttgart.de](http://www.digitaler-knoten-stuttgart.de))

# Beispiel Blockteilung

## - im DKS mikroskopisch optimiert.



Abbildungen: Blockteilung der S-Bahn-ETCS-Untersuchung (links oben), typische optimierte Blockteilung auf der S-Bahn-Stammstrecke (links unten), optimierte Blockteilung an Geschwindigkeitsschwellen im Fildertunnel führt zu verkürzter ICE-3-Zugfolgezeit (rechts).

Vertiefend: *Optimierung der Blockteilung mit ETCS Level 2 im Digitalen Knoten Stuttgart*. Signal+Draht, 7+8/2021 (<https://bit.ly/3Ai0gQR>).

# Die frühen Diskussionen in Stuttgart, um S-Bahn-ETCS (~2015), waren von sehr viel Skepsis geprägt.



„GSM-R hat nicht genug Kapazität.“

„Die Zeit zur Umsetzung reicht nicht.“

„Die Bremskurven sind zu flach.“

„Viel zu komplex.“

## S-Bahn-ETCS

„Lasst uns lieber LZB/CBTC/ ... nutzen/auf Sicht fahren.“

„ETCS wurde für europäische Achsen entwickelt, nicht S-Bahnen.“

„Die Technik ist nicht reif.“

„Zu riskant. Niemand nutzt ETCS für S-Bahnen.“

# Neue Fahrdienstvorschrift für den Digitalen Bahnbetrieb



## „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.

# In einer ersten Welle werden rund 500 Triebfahrzeuge für den DKS ausgerüstet (Horizont 2025)



Typ	Be-treiber	Anzahl
Talent 3	SWEG	52
Flirt 3 Flirt 3 XL	Go-Ahead	66
Baureihe 423	DB Regio	60
Baureihe 430	DB Regio	155
neue Dosto- Regionaltriebzüge (200 km/h)	diverse	zunächst 130
Fahrzeuge der Netz-Instand- haltung, Dritter ...	...	...

Technische Eckpunkte (Beispiel: Dostos):

- ETCS Baseline 3 R2 (SRS 3.6.0) inkl.
    - Cold Movement Detection
    - Gamma-Bremsmodell mit Optimierungen und spezifischer Schnellbremsverzögerung
    - Online Key Management
    - schneller Zugdateneingabe
    - verkürzter technischer Laufzeiten
  - ATO GoA 2, u. a. mit Übermittlung von Ist-Adhäsionsdaten
  - ETCS Level 3 / TIMS / sichere Zuglänge
  - Upgrade auf TSI ZZS 2022 (einschließlich FRMCS) mit enthalten
  - Fahrzeugzustandsdaten für CTMS (Train Capability)
  - standardisierte Schnittstellen (OCORA)
- Die Ausrüstung wird durch Bund und EU gefördert.

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

# Wir stehen uns im Sektor allzu oft selbst im Weg.



„Jede Änderung gefährdet die Inbetriebnahme.“

„Daran glaub ich nicht!“

„Das EBA mag das nicht.“

„Für Planfeststellung ist keine Zeit.“

„Das ist geheim!“

Und schließlich:  
„Das hab ich doch immer schon gesagt!“

„Der Bund zahlt das nicht.“

„Das steht aber nicht in meinem Projektauftrag.“

„Die Industrie sagt, sie kann das nicht.“

„Der ... will/kann das nicht.“

# Angesichts knapper Ressourcen und hoher Ziele sind Lösungen „aus einem Guss“ unabdingbar.



Erfahrungen nach den bisherigen Fahrzeug- und Infrastrukturvergaben im DKS:

- Eine vorausschauend gestaltete Lösung kostet nur geringfügig mehr als eine, die nur verkehrliche Minimalanforderungen erfüllt.
- Dazu gehören u. a. ATO GoA 2, Zugintegritätsüberwachung/Level 3, optimierte Blockteilung und Bremskurven sowie voll redundantes GSM-R im Kern.
- Daneben entstehen im Zuge der flächenhaften Einführung einmalige Entwicklungskosten (z. B. für CTMS).
- Die geringfügigen Mehraufwendungen werden zukünftig voraussichtlich weiter sinken, beispielsweise durch den industriellen Fahrzeug-Retrofit und (Hybrid) Level 3 in der Infrastruktur.
- Nachträgliche grundlegende Änderungen sind um ein Vielfaches aufwendiger, als wenn eine optimierte Lösung frühzeitig kommuniziert und diskutiert, „aus einem Guss“ geplant, im Wettbewerb vergeben und „am Stück“ umgesetzt wird.
- Es ist unbedingt wichtig, Entwicklungen vorzudenken und Lösungen zu suchen. Dazu gibt es viele Gestaltungsspielräume: z. B. frühzeitige und offene Kommunikation mit klaren Zielen, wettbewerbliche Anreize, Abschichten, Stufen und Staffeln, Innovationskooperationen von Auftraggeber und -nehmern ...

Vertiefend: *Quo vadis Digitale Leit- und Sicherheitstechnik?* Der Eisenbahningenieur, 11/2021 (<https://bit.ly/3tFQWUB>).

# Für Fahrzeuge und Infrastruktur laufen im DKS Innovationskooperationen.



- Während der laufenden Umsetzung werden in Innovationskooperationen gemeinsam mit den Lieferanten noch einige fehlende Grundlagen gelegt.
- Dazu gehören beispielsweise L2oS in Knoten, Zugintegritätsüberwachung/sichere Zuglänge, ein Früherkennungssystem für gestörte Fahrzeuge (Dispositive Zufahrtsicherung) sowie standardisierte Schnittstellen (OCORA).
- Die Erfahrungen sind insgesamt sehr positiv. Es zeigen sich dabei immer mehr Beispiele besserer Lösungen und Lösungsansätze, die vielfach auch einfacher, robuster und kostengünstiger sind – beispielsweise an „Balisent Teppichen“:

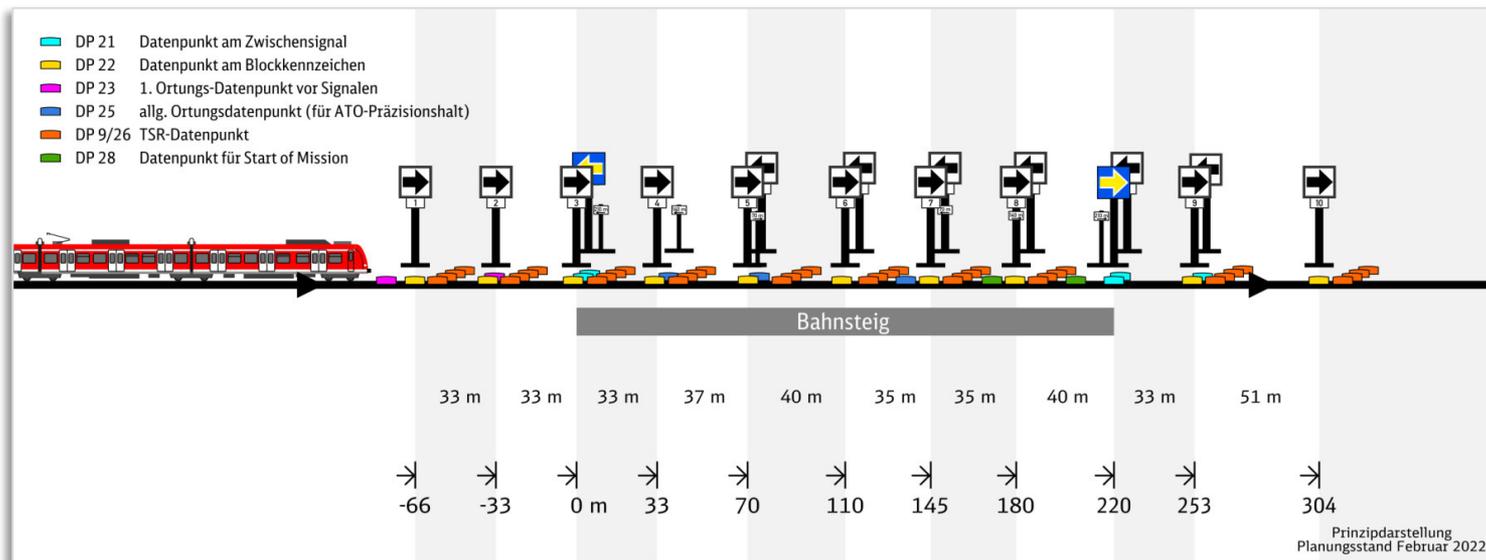
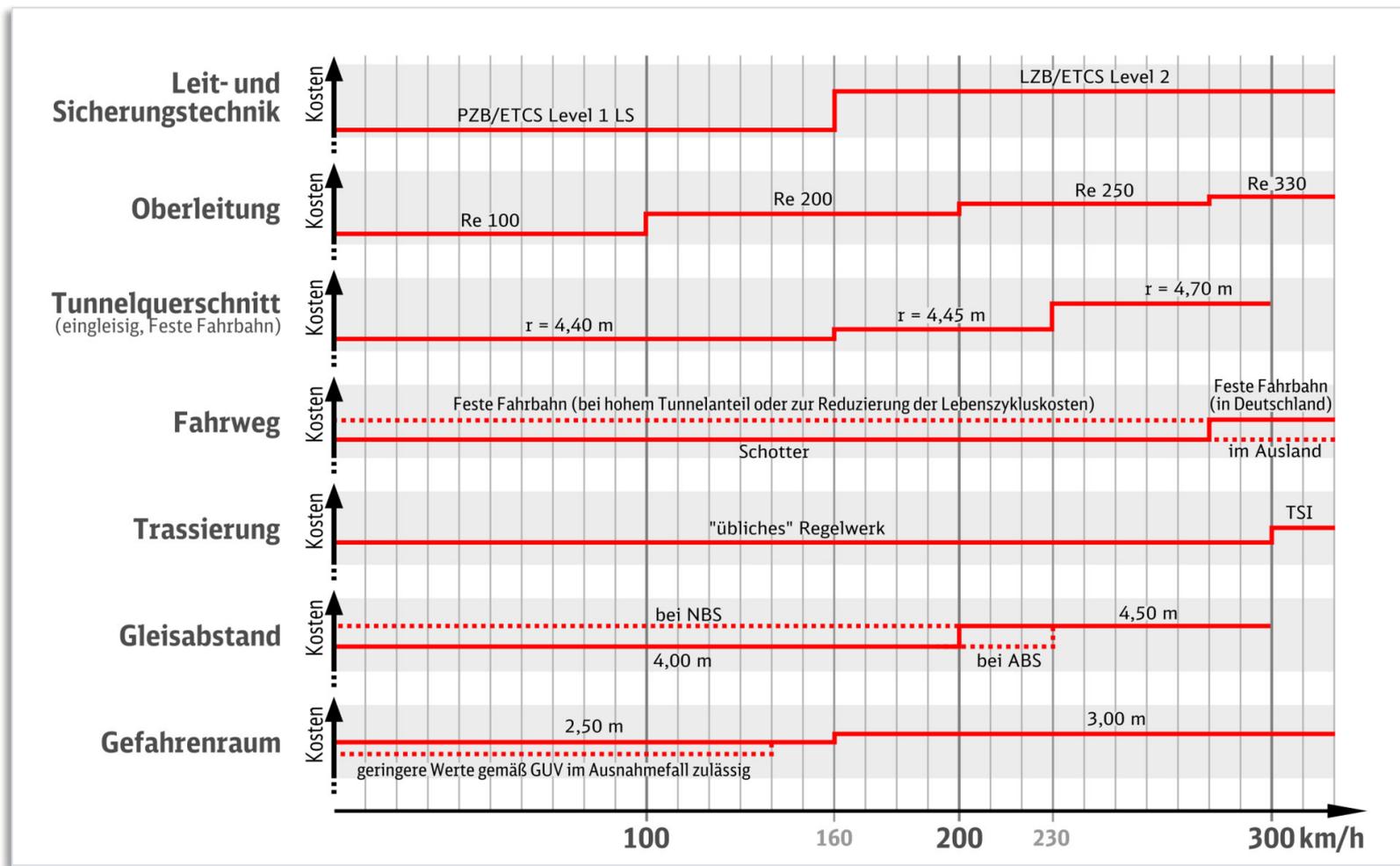


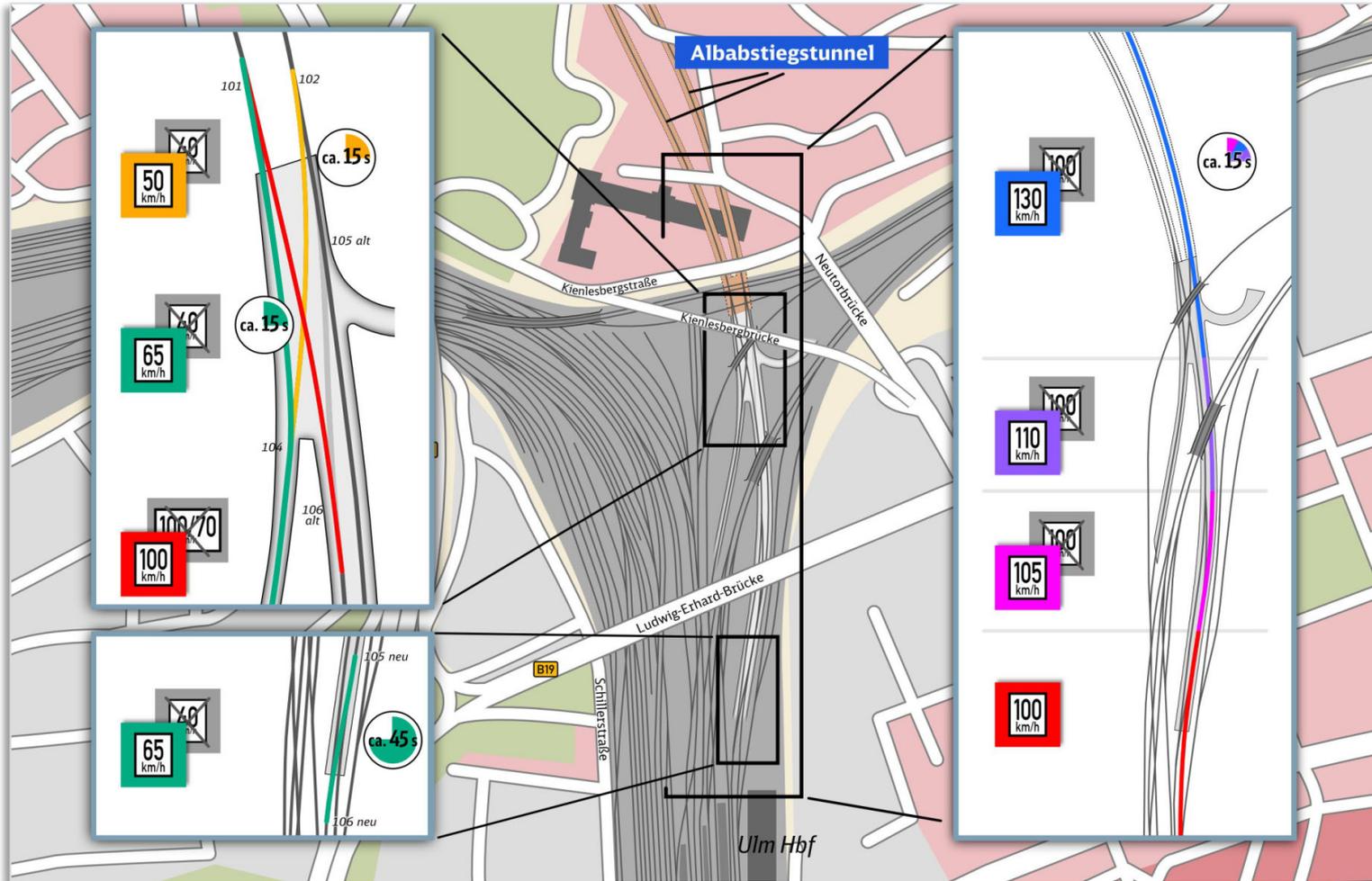
Abbildung: Illustrativer Arbeitsstand mit (nicht vollständig dargestellten) „Balisent Teppich“. Die bei strenger Auslegung des Regelwerks notwendige Balisendichte hat sich als nicht durchgehend umsetzbar erwiesen. An Vereinfachungen arbeiten mehrere Partner gemeinsam.

# Mit ETCS Level 2 verliert die bisherige 160-km/h-Schwelle zunehmend an Bedeutung.



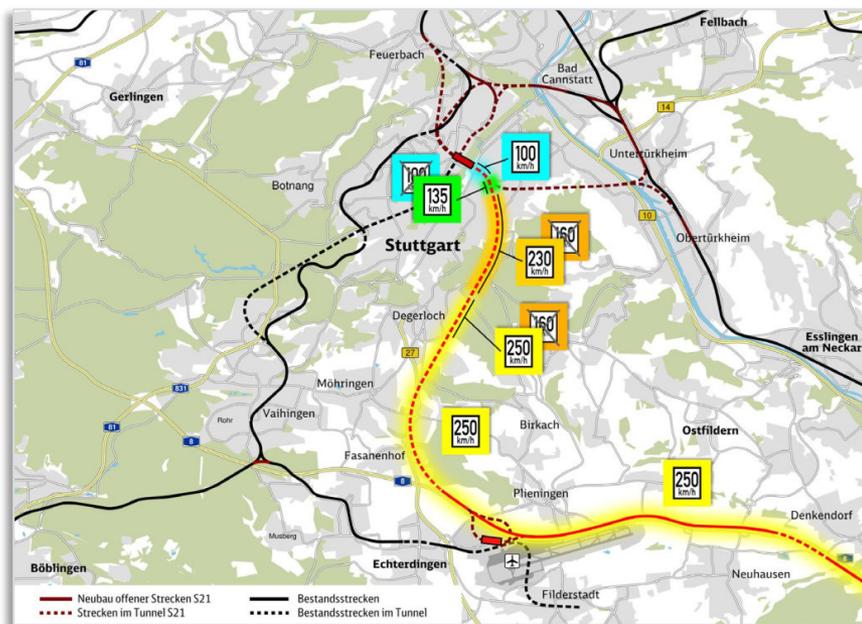
Vertiefend: [www.bsu.link/task-force-trassierung](http://www.bsu.link/task-force-trassierung)

# Trassierungsfeinschliff: Millimeterarbeit lässt in Ulm bis zu 30 km/h größere Geschwindigkeiten zu.



Auszug: Optimierung im Nordkopf Ulm Hauptbahnhof (Vertiefend [www.bsu.link/task-force-trassierung](http://www.bsu.link/task-force-trassierung))

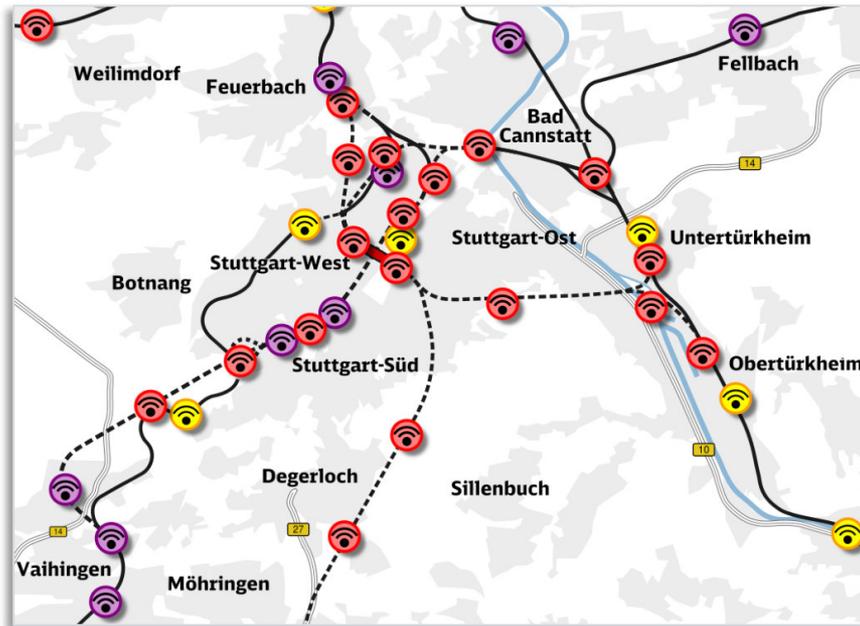
# In weiten Teilen des DKS kann ohne (großen) Aufwand schneller gefahren werden.



- Eines von vielen Beispielen im DKS: Die realisierte Kubatur des Fildertunnels ermöglicht bis zu 90 km/h größere Geschwindigkeiten (Abbildung).
- Unter den Restriktionen der Bahntechnik (hier: Re 200) sind nach heutigem Verständnis wenigstens 40 km/h größere Geschwindigkeiten möglich.
- Damit werden einige Zehntelminuten Reserve geschaffen, die erhebliche Spielräume im vorausschauenden Fahren schaffen.
- Mit den im DKS entwickelten Blickwinkeln zeigen sich auch an vielen weiteren Stellen im Netz erhebliche Potenziale. Auf der NBS Stuttgart–Ulm summieren sich diese beispielsweise auf 2-3 Minuten ICE-3-Fahrzeit.

Vertiefend: [www.bsu.link/task-force-trassierung](http://www.bsu.link/task-force-trassierung)

# Eine von vielen Facetten der Infrastruktur: GSM-R für ETCS-Hochleistungsbetrieb im Knoten



## Funknetz für den DKS-Baustein 1 & 2, Zustand Ende 2025 (Planungsstand: Januar 2021)

- Hauptbahnen
- nichtbundeseigene Eisenbahn (ohne GSM-R)
- 📶 GSM-R-Basisstation Bestand
- 📶 GSM-R-Basisstation neu
- 📶 erweiterte GSM-R-Basisstationen

- Für den ETCS-Hochleistungsbetrieb wird das Funknetz im Kern des Knotens grundlegend überplant.
- Der Schlüssel für eine ausreichende Kapazität liegt in der Nutzung des erweiterten GSM-R-Frequenzbandes, womit ungefähr 200 Züge parallel in ETCS geführt werden können, bevor dieselbe „Frequenz“ wiederverwendet wird.
- Die Unterstützung des erweiterten Bandes ist eine der Förderbedingungen der Fahrzeugausrüstung.
- Allerdings: Aufgrund der vielen Tunnel bestehen in Stuttgart auch andere (einfachere?) Verhältnisse als in anderen großen Knoten.

Grafik: Auszug aus einer Übersichtsgrafik zur Funknetzplanung für den Kern des Knotens

# Facetten einer robusten Infrastruktur: voll redundantes GSM-R – erstmals in Deutschland

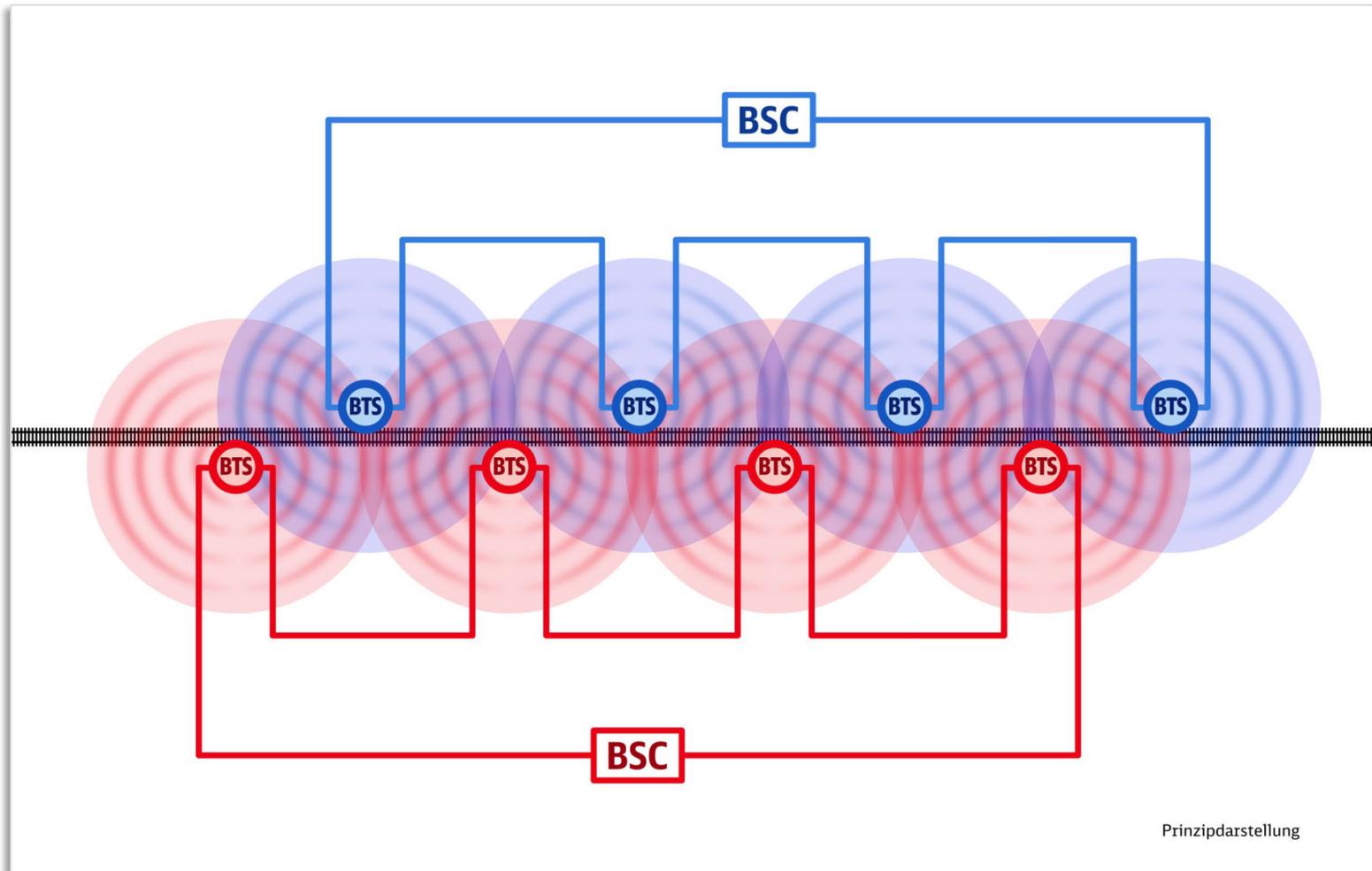
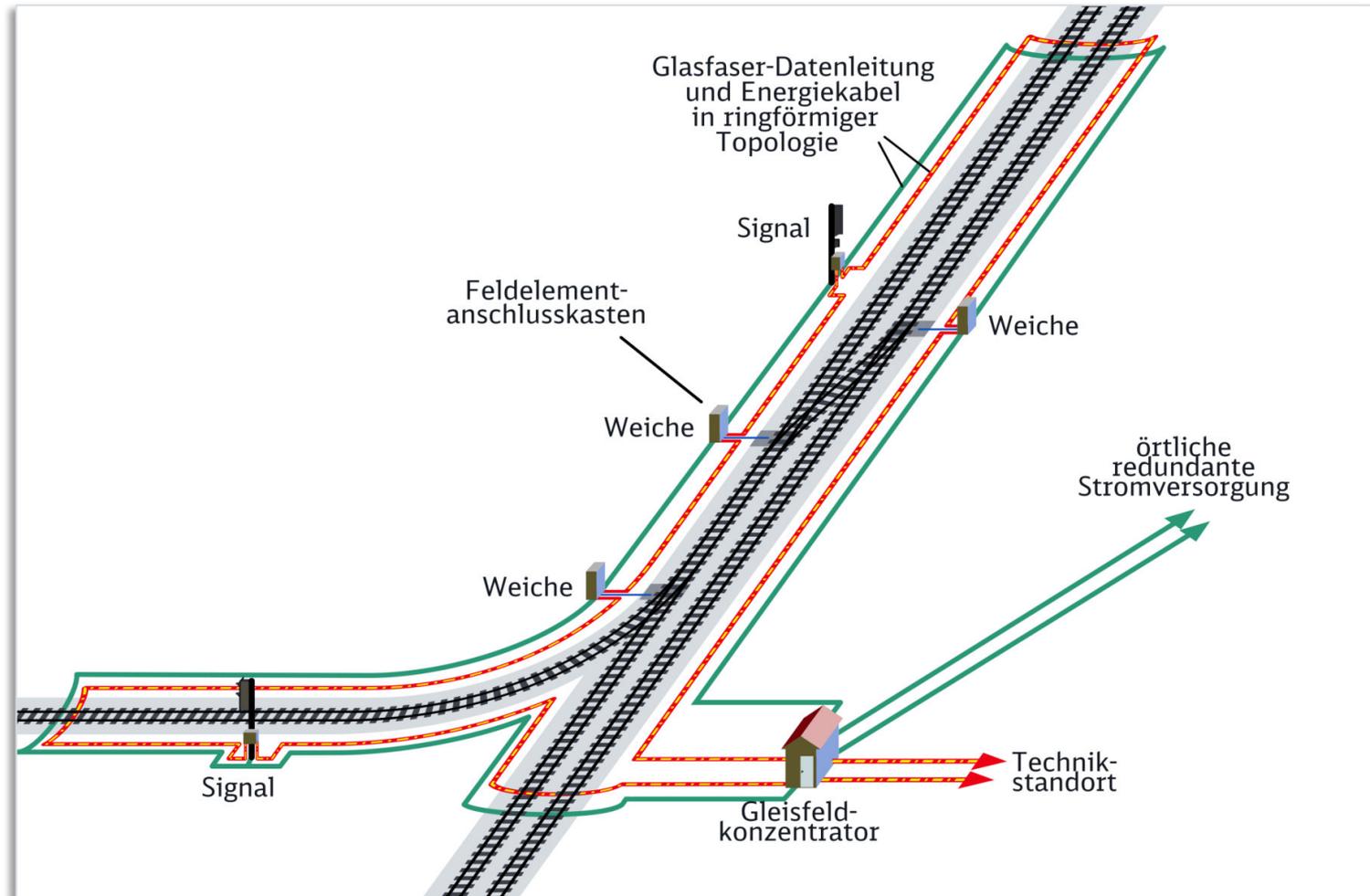


Abbildung: Alternierende Anbindung von in verdichteten Abständen aufgestellten GSM-R-Basisstationen (BTS) an die übergeordneten „Vermittlungsstellen“ (BSC).

# Facetten einer robusten Infrastruktur: voll redundante Gleisfeldvernetzung



# In fünf Jahren enger Zusammenarbeit ist es im DKS gelungen, vieles auf den Weg zu bringen, darunter...



>> 50 Kapazitätspotenziale  
in der Pipeline

FRMCS-Fahrzeug-  
ausrüstung ab 2025

30-Meter-Block

Förderung der  
Fahrzeugausrüstung

ETCS Level 3/TIMS

Deutschlands wohl  
schnellstes Stellwerk

S-Bahn-Zugfolgezeiten  
von rund 100 s  
(Tendenz fallend)

Umrüstung von >300  
Triebzügen in 2024

Perspektive für 2 s  
Ende-zu-Ende-Laufzeit

Entschlackung von  
Balisentepichen

auskömmlicher Funk,  
ohne GPRS

ETCS-Bremskurven steiler  
als konventionell

erstmalig L2oS im Knoten  
und im Bestand

... Fortsetzung folgt ...