



# Mehr Leistungsfähigkeit mit Digitaler LST – aber wie?

Praxisbeispiele aus dem Digitalen Knoten Stuttgart

---

17.12.2020 | Bahnsystemkolloquium, Dresden

- 1. Der Digitale Knoten Stuttgart**
- 2. Grundlagen Leistungsfähigkeit ETCS Level 2**
- 3. Gestaltung der Blockteilung bei ETCS Level 2**
- 4. Optimierung der Systemlaufzeiten**
- 5. ETCS-Einstiege – der Teufel steckt im Detail**

# Der Digitale Knoten Stuttgart

A thick, solid red horizontal line that underlines the first few characters of the title.

Kurzeinführung in das Projekt

# Auf dem Weg zum Digitalen Knoten Stuttgart: Rückblick auf einige Veröffentlichungen (mit Links)



**Bahnbetrieb und Bahnverkehr im Großprojekt Stuttgart-Ulm**

DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH | Peter Reinhart | I.GC(P) | Berlin | 04.12.2017

Gemeinsam für das Bahnprojekt Stuttgart-Ulm  
Baden-Württemberg DB STUTTGART Ulm

DIESES PROJEKT WIRD VON DER EUROPÄISCHEN UNION KOFINANZIERT  
TRANSEUROPAISCHE NETZE FÜR VERKEHRINFRASTRUKTUREN

**Das Potential smarterer Infrastruktur: Die Jagd nach jeder Sekunde ETCS für Ballungsgebiete am Beispiel der Stuttgarter S-Bahn**

DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH | Peter Reinhart/Sven Wanstrath | Darmstadt | 13.06.2018

Gemeinsam für das Bahnprojekt Stuttgart-Ulm  
Baden-Württemberg DB STUTTGART Ulm

DIESES PROJEKT WIRD VON DER EUROPÄISCHEN UNION KOFINANZIERT  
TRANSEUROPAISCHE NETZE FÜR VERKEHRINFRASTRUKTUREN

**ETCS als Trägersystem für mehr Kapazität und Betriebsqualität: Empfehlungen & Ergebnisse der S-Bahn-ETCS-Untersuchung in Stuttgart**

ETCS auf der Stammstrecke der S-Bahn Stuttgart | 26. Juni 2019

Gemeinsam für das Bahnprojekt Stuttgart-Ulm  
Baden-Württemberg DB NETZE Ulm

DIESES PROJEKT WIRD VON DER EUROPÄISCHEN UNION KOFINANZIERT  
TRANSEUROPAISCHE NETZE FÜR VERKEHRINFRASTRUKTUREN

**ETCS als Trägersystem für Leistungs- und Qualitätssteigerungen am Beispiel des Knotens Stuttgart**  
25. Sicherungstechnische Fachtagung

DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH | Michael Kümmling | I.G(T) | Stuttgart | 27.09.2019

Gemeinsam für das Bahnprojekt Stuttgart-Ulm  
Baden-Württemberg DB STUTTGART Ulm

DIESES PROJEKT WIRD VON DER EUROPÄISCHEN UNION KOFINANZIERT  
TRANSEUROPAISCHE NETZE FÜR VERKEHRINFRASTRUKTUREN

ETCS | ETCS [www.eurailpress.de/archiv/etcs](http://www.eurailpress.de/archiv/etcs)

## ETCS als Trägersystem zur Leistungssteigerung bei der S-Bahn Stuttgart

ETCS as a carrier system for improved performance at S-Bahn Stuttgart

Martin Beyer | Steffen Jurtz | Michael Langhof | Peter Reinhart | Thomas Vogel

Mit rund 435.000 Fahrgästen pro Tag ist die S-Bahn Stuttgart eine Erfolgsgeschichte – inzwischen bringen mehr als 800 Zugfahrten pro Werktag insbesondere die Stammstrecke an ihre Leistungsgrenze. Da ein konventioneller Infrastrukturausbau (2. Stammstrecke) nicht finanzierbar und die LZB (Linienförmige Zugbeeinflussung) nicht über 2030 verfügbar sein wird, rückte ab 2015 eine mögliche Ausrüstung der Stammstrecke mit ETCS L2 (European Train Control System – Level 2) in den Fokus. Nachdem erste, grobe Untersuchungen 2016 einen erheblichen betrieblichen Nutzen von ETCS erwarten ließen, beauftragten die DB Netz AG, das Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg und der Verband Region Stuttgart 2017 gemeinsam eine umfassende

With around 435,000 passengers per day, Stuttgart S-Bahn is a success story: however, more than 800 train journeys every workday have brought its Core to particular limits. Since it will not be possible to finance a conventional infrastructure upgrade (a 2<sup>nd</sup> main line) and LZB will not be available until beyond 2030, the focus from 2015 onwards has been on equipping the Core with ETCS L2 (European Train Control System – Level 2). After initial studies in 2016 indicated that the ETCS would bring considerable operational benefits, DB Netz AG, Ministry of Transport for the State of Baden-Württemberg and Verband Region Stuttgart jointly commissioned a comprehensive ETCS study in 2017 for the

Genehmigt für Deutsche Bahn AG / wsdm Druck für Besucher der Seiten 10/11/2020

LEIT- UND SICHERUNGSTECHNIK [www.eurailpress.de/archiv/fst-planung](http://www.eurailpress.de/archiv/fst-planung)

## Auf dem Weg zum Digitalen Knoten Stuttgart: ein Überblick

Im Pilotknoten der Digitalen Schiene Deutschland wird „digitale“ Leit- und Sicherungstechnik für maximale Leistungsfähigkeit, Betriebsqualität und Resilienz geplant.

MARC BEHRENS | ENRICO ECKARDT | MICHAEL KÜMMLING | MARKUS LOEF | PETER OTRZONSEK | MARTIN SCHLEEDE | MAX-LEONHARD VON SCHAPER | SVEN WANSTRATH

Die Digitalisierung der Eisenbahn ist in aller Munde. Das Spektrum der Erwartungen reicht von bis zu 35 % mehr Kapazität ohne den Neubau von Gleisen bis hin zu Berichten zu Leistungseinschränkungen auf bereits „digitalisierten“ Strecken. Seit Jahren mischen sich Erfolgsmeldungen zu ETCS & Co. mit solchen über Rückschläge. Auf den ersten Blick scheint nicht immer ganz klar, ob der Weg in die „digitale“ Zukunft ein erfolgversprechender ist.

neue Bahnhöfe/Stationen gehen einher mit erheblichen Anpassungen im Bestand.

**Ausgangslage**  
Seitens der Leit- und Sicherungstechnik (LST) waren dafür drei neue ESTW-(Unter-)Zentralen und weitreichende Eingriffe in drei Altstellwerke vorgesehen. Im Feld waren Ks- und HV-Signale mit punktförmiger Zugbeeinflussung (PZB) geplant, in weiten Teilen überlagert mit ETCS Level 1 und 2 (Abb. 1). Der Fokus von ETCS (European Train Control System) lag auf Interoperabilität und Hochgeschwindigkeitsverkehr – Leistungssteigerungen waren kaum Thema. Für die sicherungstechnisch konventionell bereits ausgereizte S-Bahn-Stammstrecke waren Ks-Signale als kapazitätserhaltender Ersatz der heutigen HV-Signale ebenfalls

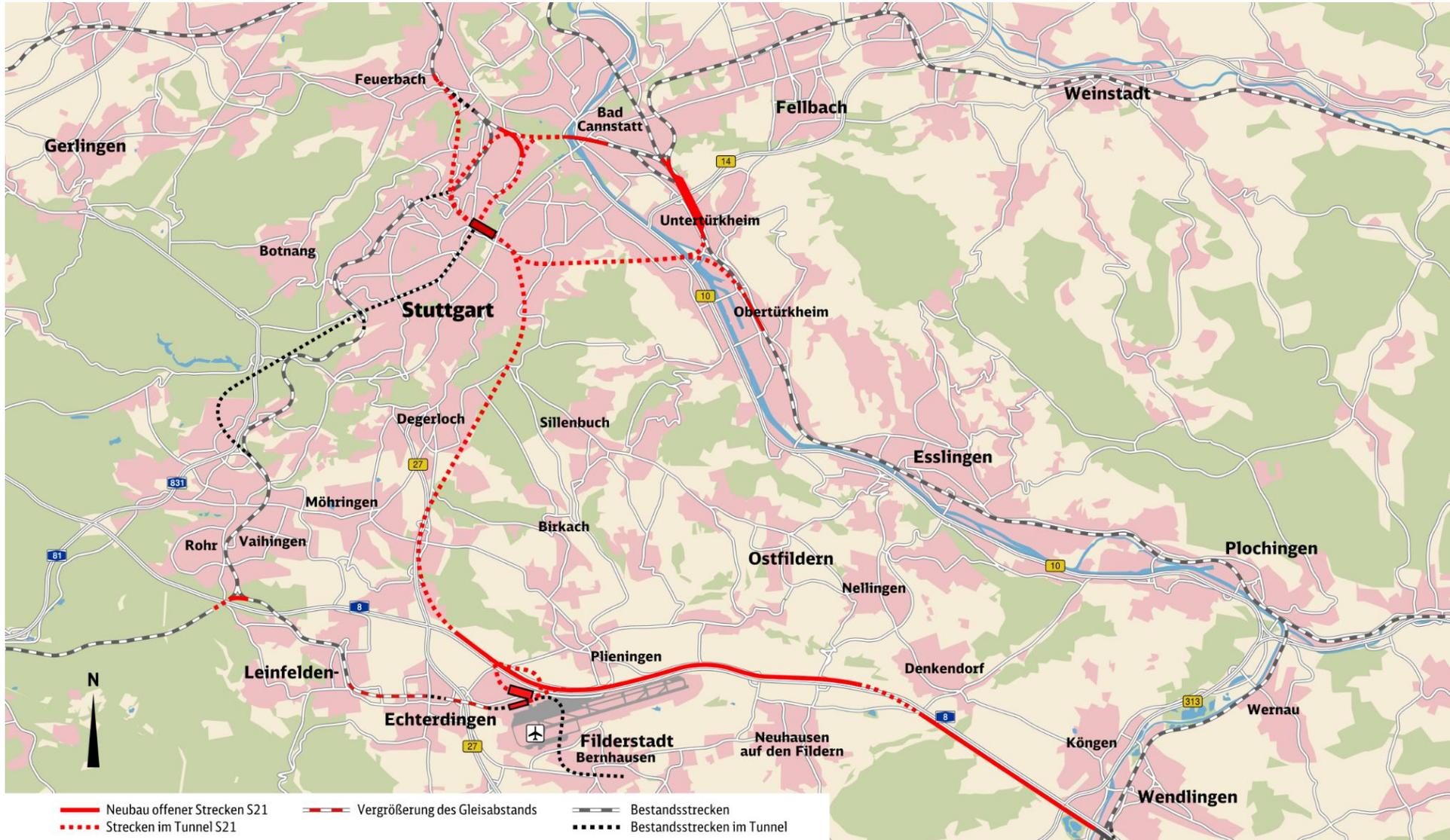
digitalsprüfeinrichtungen realisiert werden können.  
Auf dieser Grundlage wurde 2011 im sogenannten „StressTest“ der detaillierte Nachweis erbracht, dass die neue Infrastruktur des Fern- und Regionalverkehrs die zuvor festgelegte Messlatte einer mehr als 30-prozentigen Leistungssteigerung gegenüber dem Bestand bei guter Betriebsqualität deutlich überspringen kann. [1]

**Neukonzeption der LST**  
Die Verzögerungen bei den Rohbauarbeiten öffneten 2017 ein kurzes Zeitfenster, die LST des Projekts zu überdenken. Zündfunke war im Lichte rapide steigender Fahrgast- und Zugzahlen die sinkende S-Bahn-Betriebsqualität und die Aussicht auf einen höheren

Genehmigt für Deutsche Bahn AG / wsdm Druck für Besucher der Seiten 10/11/2020

# Stuttgart 21: Grundlegende Neuordnung des Bahnknotens

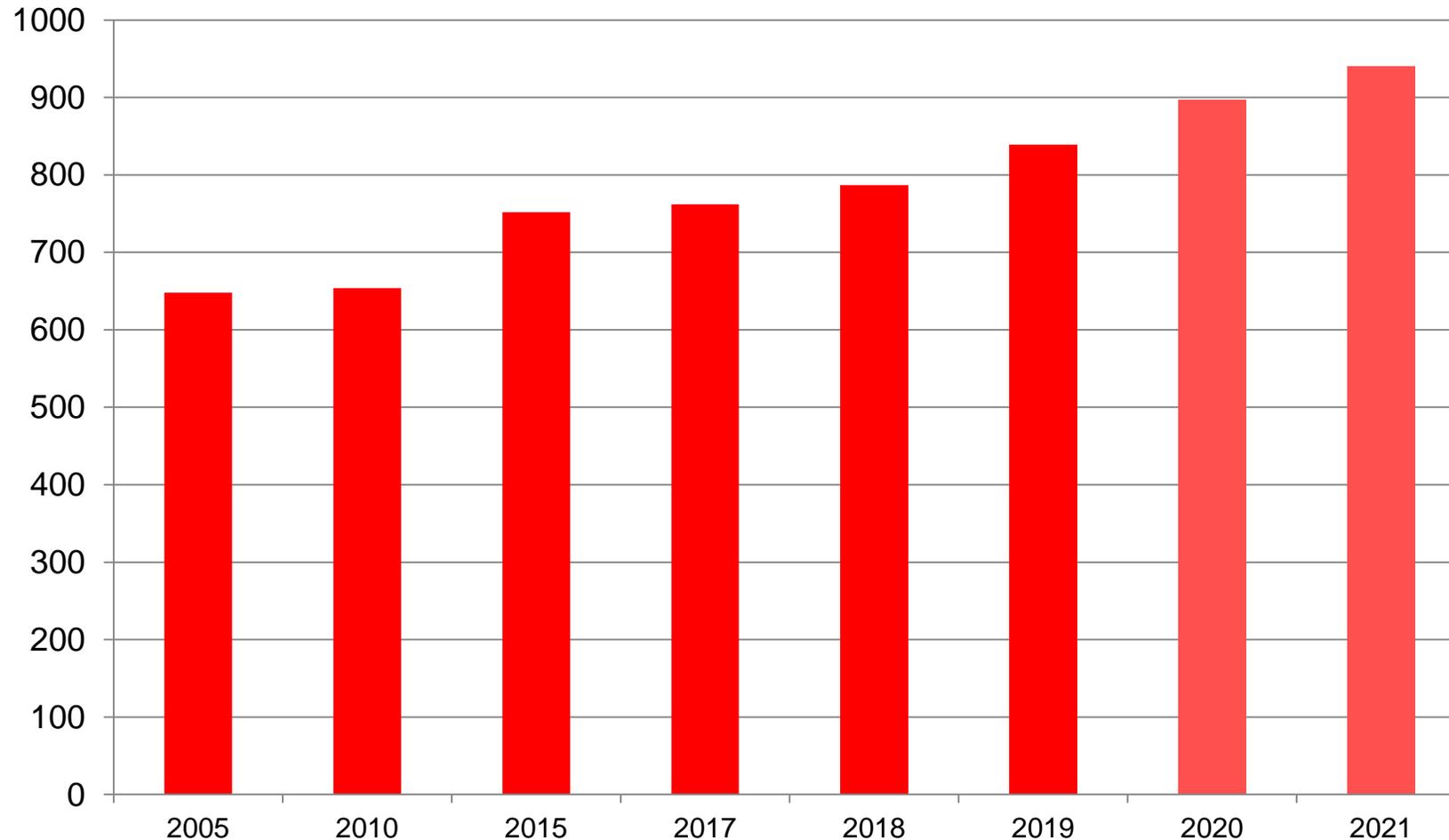
## 5 neue Bahnhöfe, 9 Tunnel, 57 neue Bahnkilometer



# Erfolgsgeschichte S-Bahn Stuttgart: Die Belastung der Stammstrecke steigt weiter an.

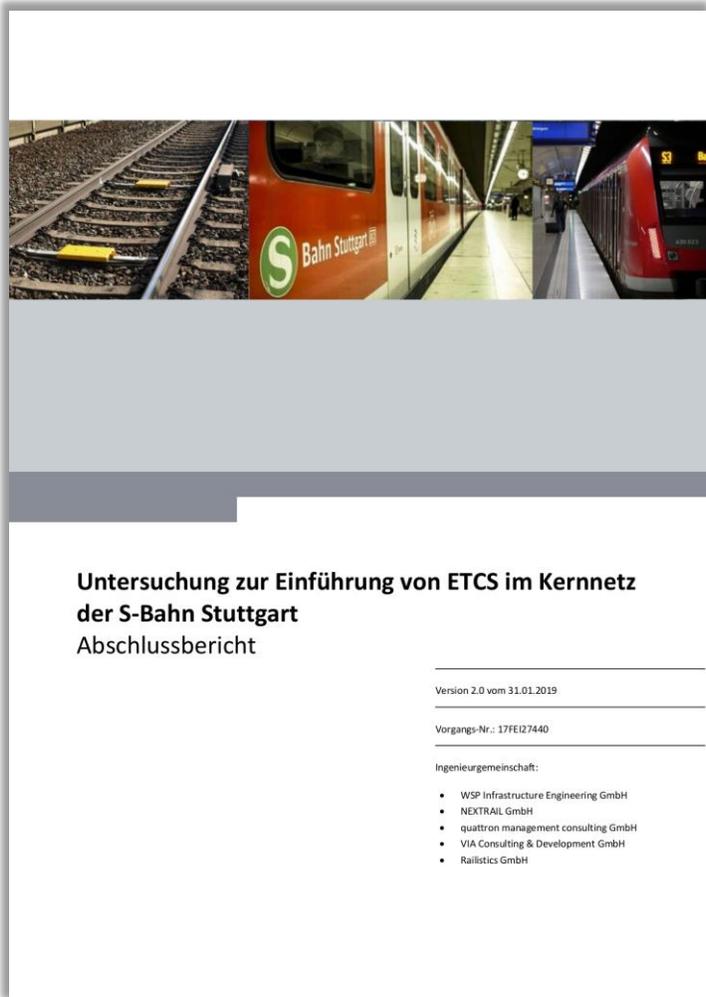


Züge über die Stammstrecke (pro Werktag)



Werktägliche (Mo-Fr) Züge im Jahresfahrplan (Regelverkehr ohne Leerfahrten; 2020, 2021: Planung)

# Die Einführung von ETCS bei der S-Bahn Stuttgart wurde 2017/2018 umfassend untersucht und die Machbarkeit aufgezeigt.



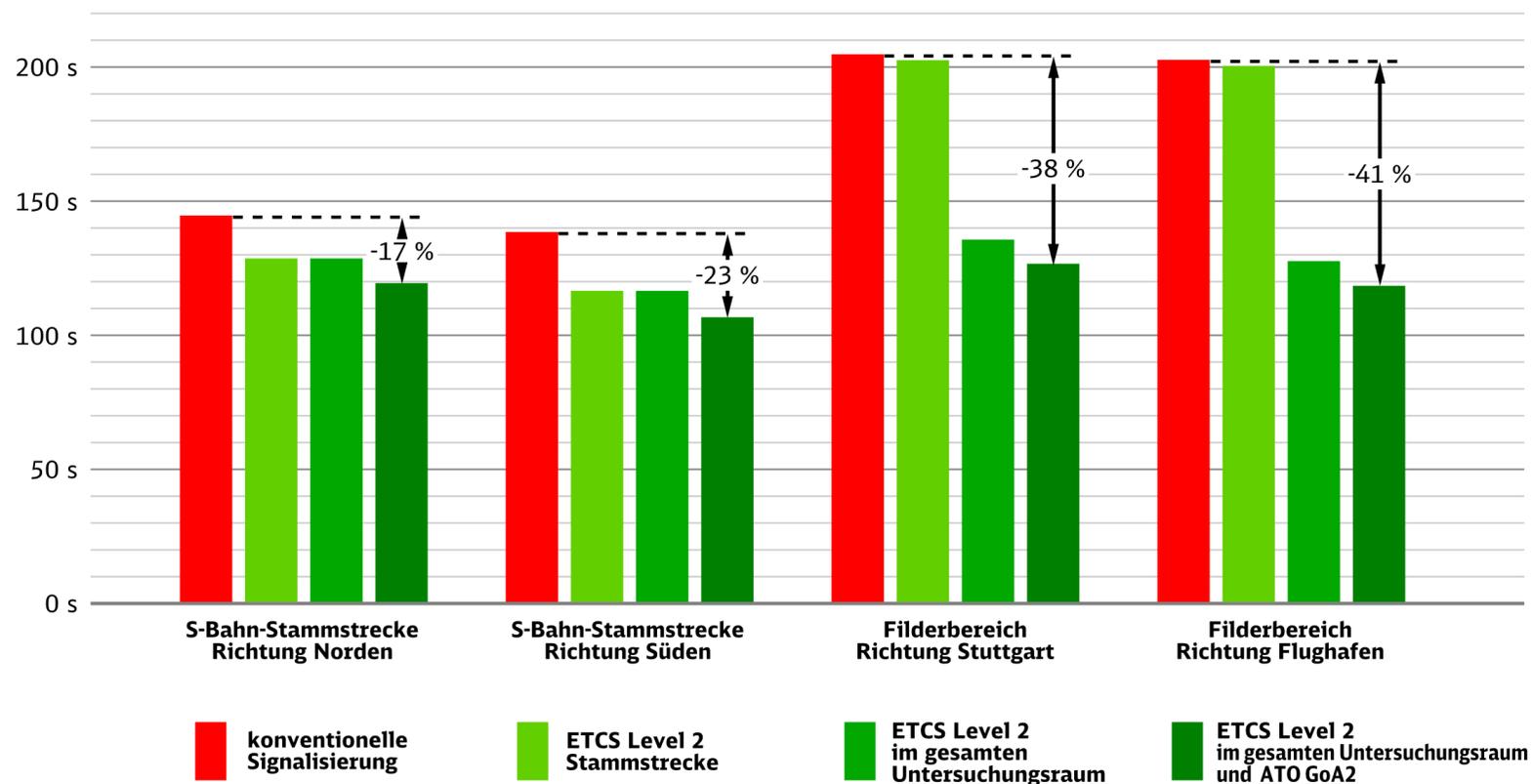
- Nachdem erste Voruntersuchungen (2016) einen erheblichen Nutzen von ETCS erwarten ließen, beauftragten Land, Region (VRS) und DB Netz 2017 eine gemeinsame Untersuchung.
- Mit einem Budget von rund einer Million Euro wurden bis Ende 2018 zahlreiche betriebliche, organisatorische und technische Aspekte untersucht.
- Die betriebliche Sinnhaftigkeit und die technische Machbarkeit wurden darin detailliert aufgezeigt.
- Der 422-seitige Abschlussbericht steht zum Download bereit.

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

# Unter konservativen Prämissen bringen ETCS & ATO rund 20% kürzere Mindestzugfolgezeiten (S-Bahn-Stammstrecke).



Mindestzugfolgezeiten der verschiedenen Ausrüstungsvarianten in Sekunden

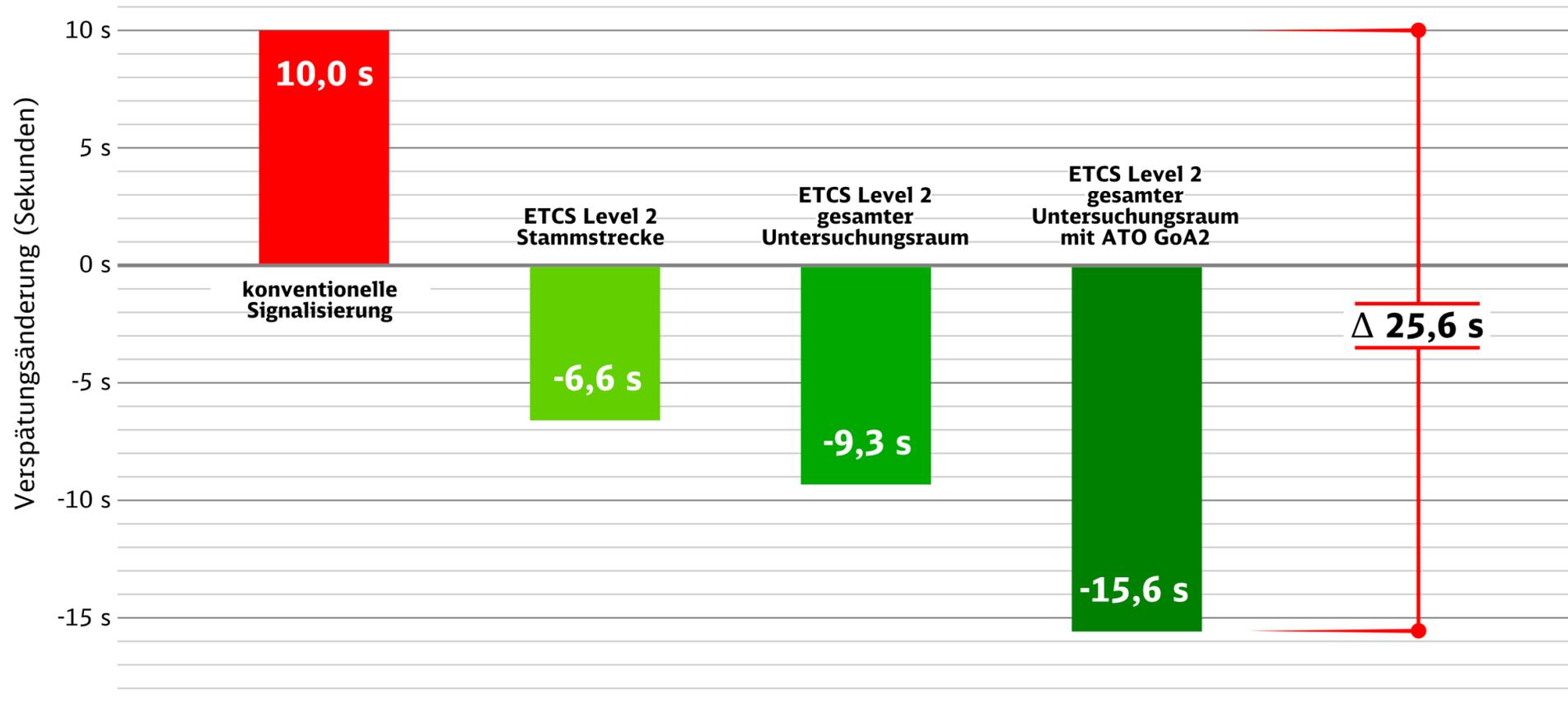


Mindestzugfolgezeiten in verschiedenen, aufeinander aufbauenden Ausprägungsstufen in den genannten Bereichen.  
Datengrundlage: Abschlussbericht der S-Bahn-ETCS-Untersuchung vom 31. Januar 2019

# Mit ETCS & ATO GoA 2 bauen Züge über die Stammstrecke keine Verspätung mehr auf – sondern ab.

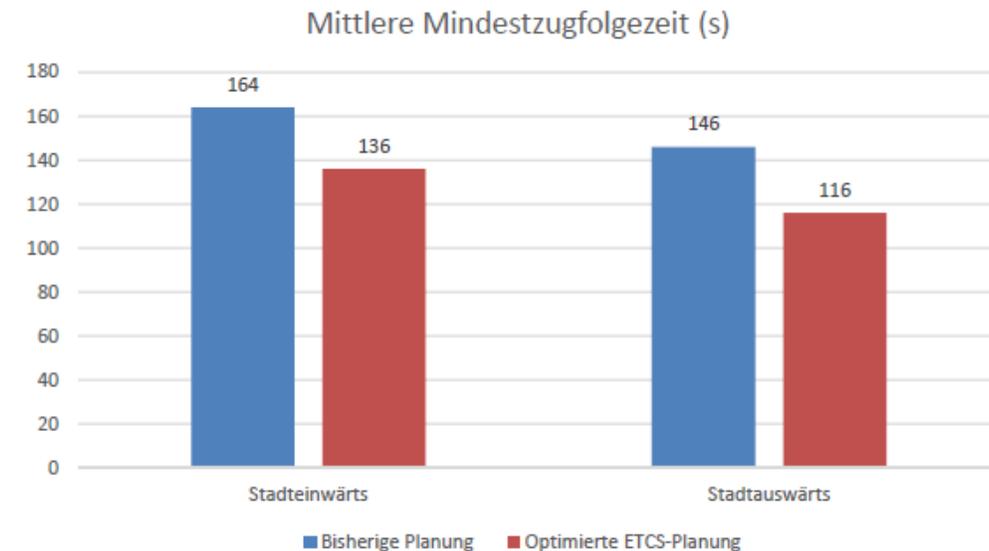
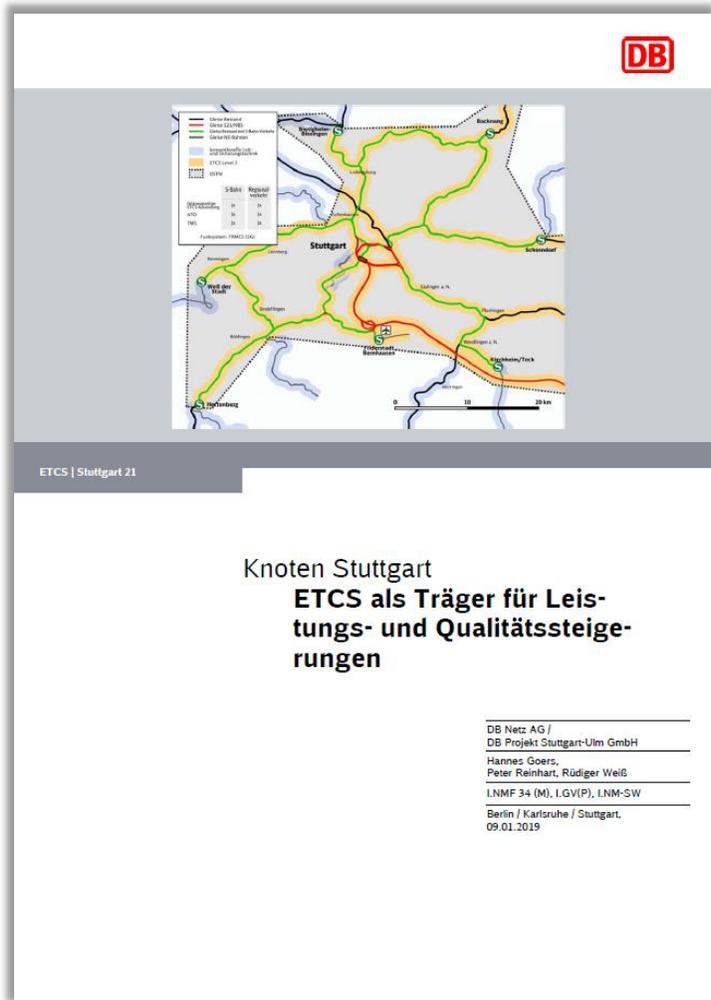


Mittlere Verspätungsänderung über alle Zugfahrten



Verspätungsentwicklung im Untersuchungsraum in verschiedenen, aufeinander aufbauenden Ausprägungsstufen.  
Datengrundlage: Abschlussbericht der S-Bahn-ETCS-Untersuchung vom 31. Januar 2019

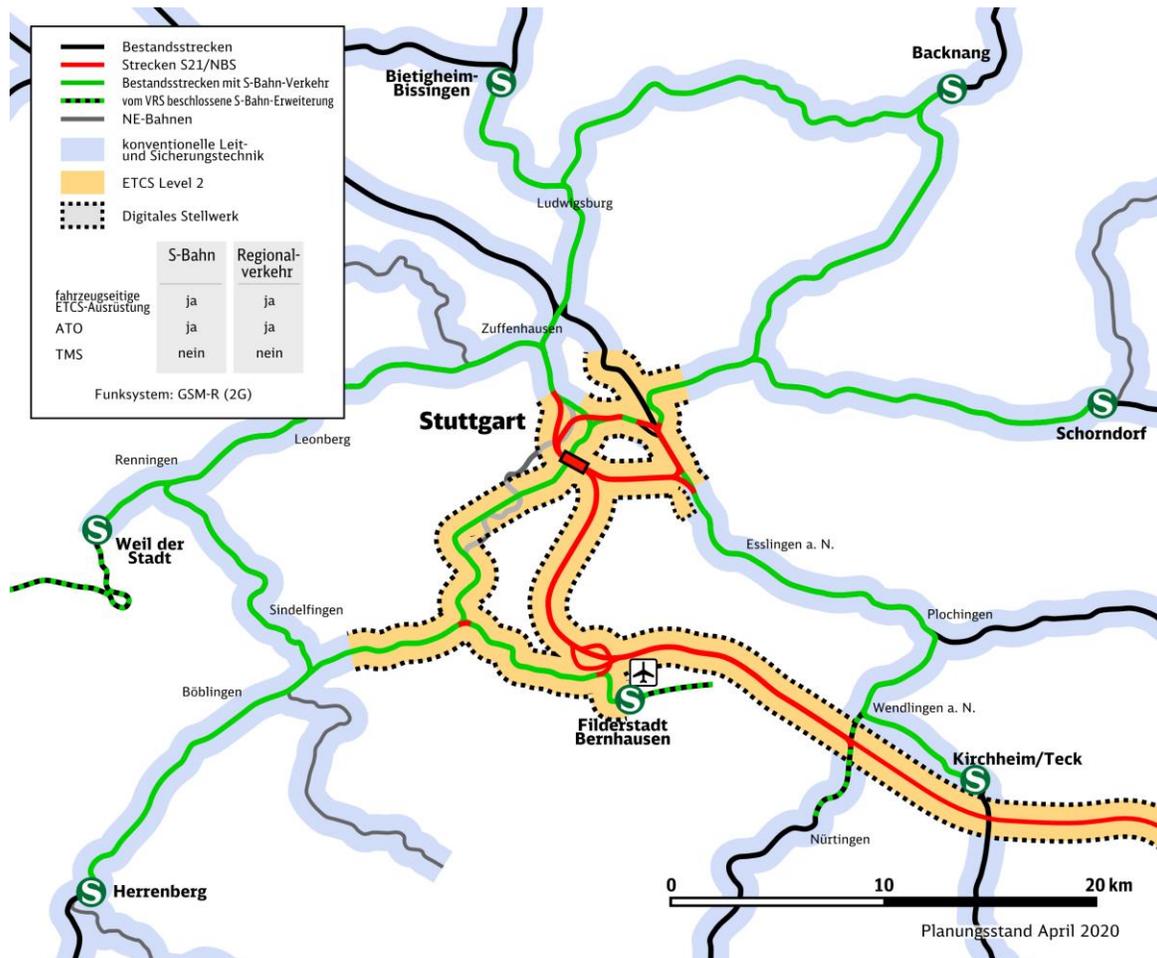
# Nutzenbetrachtung zeigt: Effekte sind grundsätzlich auch auf den Regional- und Fernverkehr übertragbar



Beispiel Zuffenhausen – Hauptbahnhof

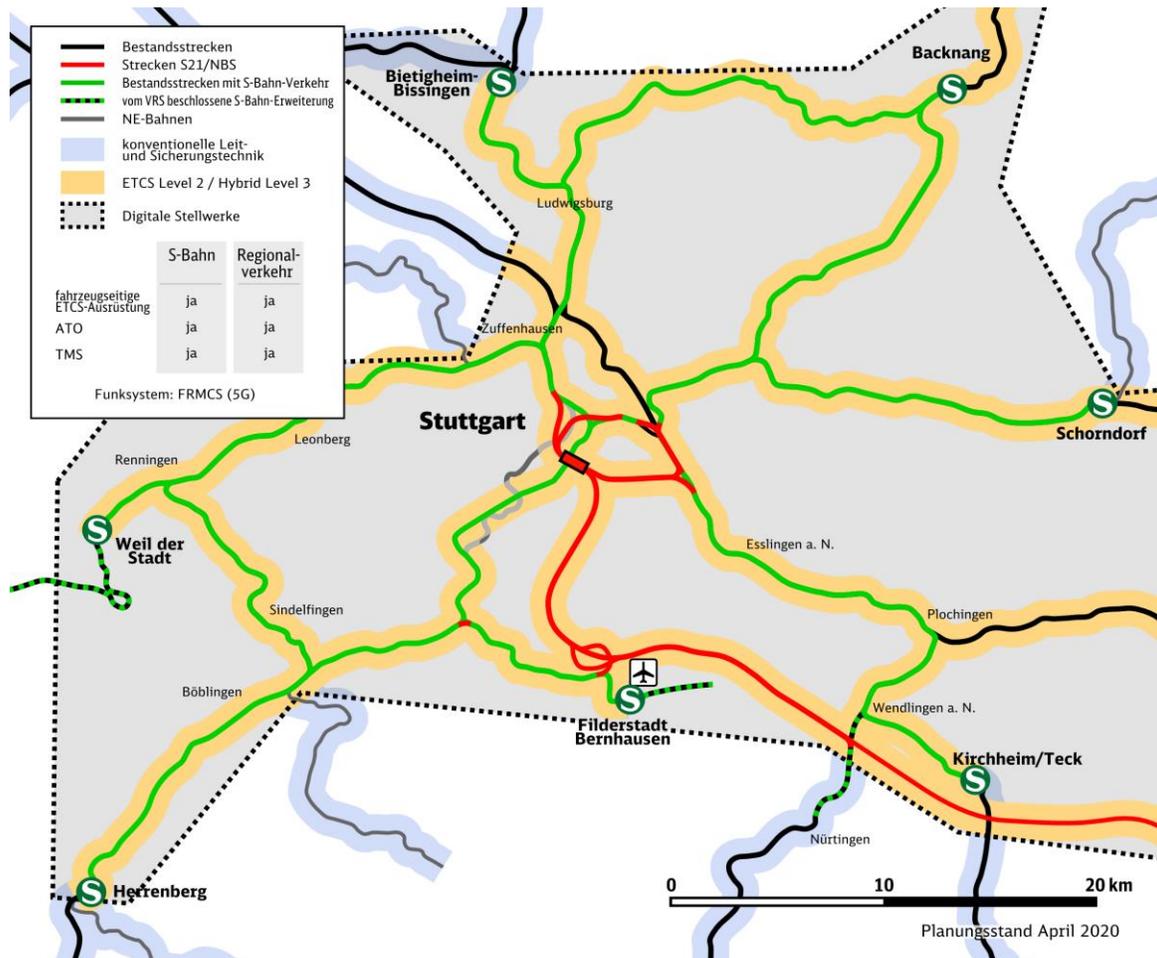
Abbildung: Nutzenbetrachtung ETCS vom 9. Januar 2019  
([https://vm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/Dateien/PDF/20190109\\_ETCS-Nutzen.pdf](https://vm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/Dateien/PDF/20190109_ETCS-Nutzen.pdf))

# Bis 2025 werden mehr als 100 Bahn-km mit ETCS Level 2 und ATO GoA 2 ausgerüstet (Bausteine 1 und 2 der dreistufigen Konzeption).



- Mit Stuttgart 21 wären ohnehin weite Teile des Knotens mit ETCS auszurüsten (ca. 50 Netz-km); Fokus auf Fernverkehr, teils mit ETCS Level 1, als Overlay zu Ks/PZB. Für den Neubau wären drei ESTW-UZ entstanden, mehrere Altstellwerke umfassend anzupassen.
- Stattdessen entsteht nun ein DSTW, durchgehend ETCS Level 2 (weitgehend oS) und ATO GoA 2.
- Weiterentwicklung von Lastenheften und Regelwerken zur Optimierung von Leistungsfähigkeit und Stabilität.
- Realisierung zusammen mit Stuttgart 21 bis 2025.
- Damit geht die Aus- und Nachrüstung von rund 500 Triebfahrzeugen (Nahverkehr & S-Bahn) einher.

# Ausblick: Digitalisierung der übrigen Region (Baustein 3, ~320 Netzkilometer), mit technischen Weiterentwicklungen, bis 2030.



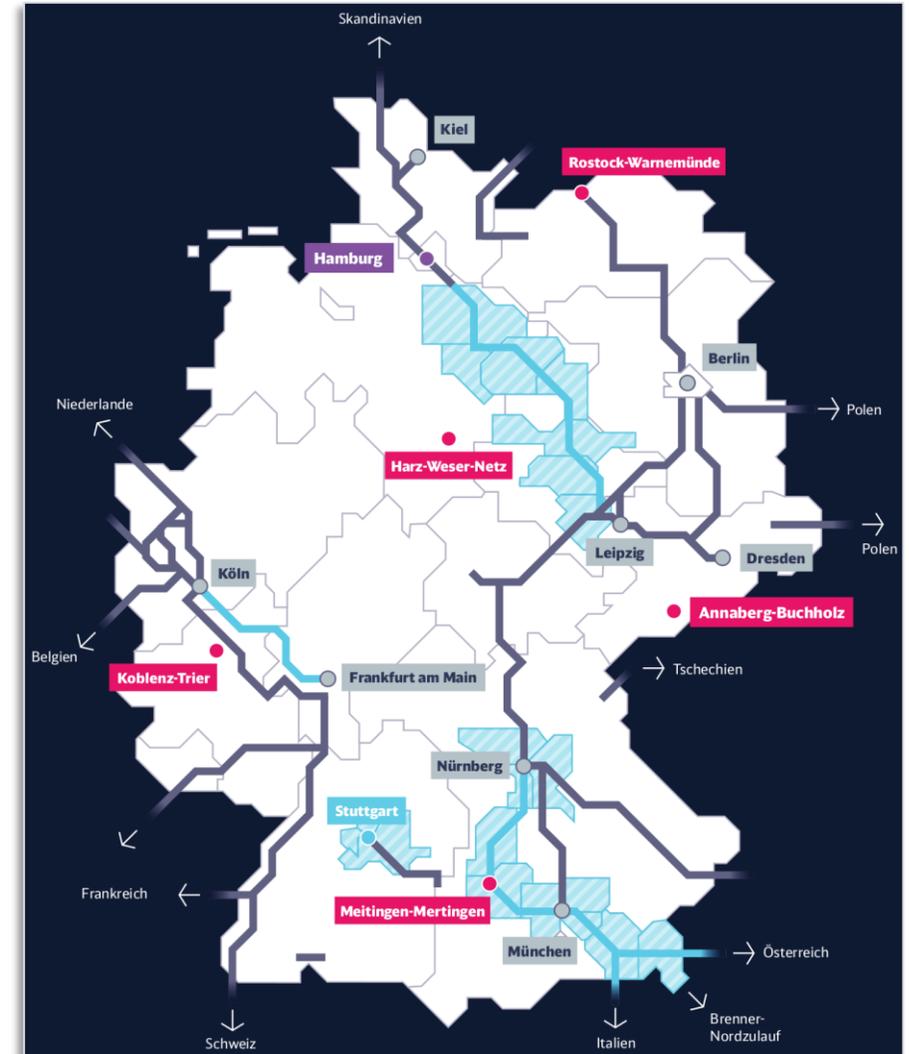
- Mit der Ausrüstung sämtlicher Fahrzeuge mit ETCS ist der Weg geebnet, in der übrigen Region bis 2030 schrittweise DSTW, ETCS, ATO GoA 2 sowie TMS einzuführen.
- Zahlreiche abgängige Altstellwerke werden ersetzt. Konsequente Ausrüstung „ohne Signale“, entsprechend DSD-Zielbild, zur Maximierung der Leistungsfähigkeit.
- Ausgerüstet wird dabei u. a. der gesamte heutige S-Bahn-Perimeter (Netzbezirke Stuttgart und Plochingen).
- Hybrid Level 3 und FRMCS werden angestrebt und sind in den laufenden Ausschreibungen zur Fahrzeugnachrüstung bereits mit berücksichtigt.

# Die Umsetzung des Digitalen Knotens Stuttgart ist im Gange

als Teil des Starterpakets der Digitalen Schiene Deutschland.



- DKS ist Teil eines von drei Starterpaket-Projekten der Digitalen Schiene Deutschland
- Die Finanzierung ist in der Bundeshaushaltsplanung hinterlegt.
- Die Leit- und Sicherungstechnik der Infrastruktur für die Bausteine 1 und 2 wurde im Oktober 2019 ausgeschrieben, die Vergabe erfolgt noch 2020.
- Die ETCS/ATO-Nachrüstung von mehr als 300 Bestandsfahrzeugen wurde am 14. Juli 2020 ausgeschrieben. Zusätzlich werden neue Regionaltriebzüge mit ETCS und ATO beschafft.
- Nach Fertigstellung erster DSTW-Bereiche sind ab 2024 ca. 18 Monate ETCS-Erprobungen geplant.
- Die kommerzielle Inbetriebnahme des Knotens erfolgt stufenweise im 2. Halbjahr 2025.
- ATO GoA 2 wird nachgelagert zu ETCS in Betrieb genommen.



# Das Vergabeverfahren für die Leit- und Sicherungstechnik ist abgeschlossen, die Inbetriebnahme ist in Stufen geplant.



Anhang I zu Bewerbungsbedingungen

07/12/2020 S238

I. II. IV. V. VI.

**Deutschland–Frankfurt am Main: Elektrische Signaleinrichtungen für den Eisenbahnverkehr**

2020/S 238–589258

Bekanntmachung vergebener Aufträge – Sektoren

Ergebnisse des Vergabeverfahrens

Lieferauftrag

**Rechtsgrundlage:**

Richtlinie 2014/25/EU

**Abschnitt I: Auftraggeber**

**I.1) Name und Adressen**

Offizielle Bezeichnung: DB Netz AG (Bukr 16)

Postanschrift: Theodor-Heuss-Allee 7

Ort: Frankfurt am Main

NUTS-Code: DE712 Frankfurt am Main, Kreisfreie Stadt

Postleitzahl: 60486

Land: Deutschland

Anla

Ausschnitte: Deckblatt Leistungsbeschreibung bzw. Bekanntmachung Vergabe aus  
<https://ted.europa.eu/udl?uri=TED:NOTICE:497847-2019:TEXT:DE:HTML>  
<https://ted.europa.eu/udl?uri=TED:NOTICE:589258-2020:TEXT:DE:HTML>

- Die Leit- und Sicherungstechnik für die Bausteine 1 und 2 wurde am 30. November 2020 für rund 127 Mio. Euro an Thales vergeben.
- Inbetriebnahme in Stufen: Nach Fertigstellung erster DSTW-Bereiche ab 2024 ETCS-Versuchsfahrten und Vorlaufbetrieb.
- kommerzielle Inbetriebnahme des Knotens erfolgt 2025.
- ATO GoA 2 wird nachgelagert zu ETCS in Betrieb genommen.
- Die Ausschreibung zur Neu- und Nachrüstung von ETCS und ATO GoA 2 für rund 500 Triebfahrzeuge laufen.

# Aus der S-Bahn-ETCS-Untersuchung verbleiben zahlreiche weitere Kapazitätspotentiale...



# Grundlagen Leistungsfähigkeit ETCS Level 2

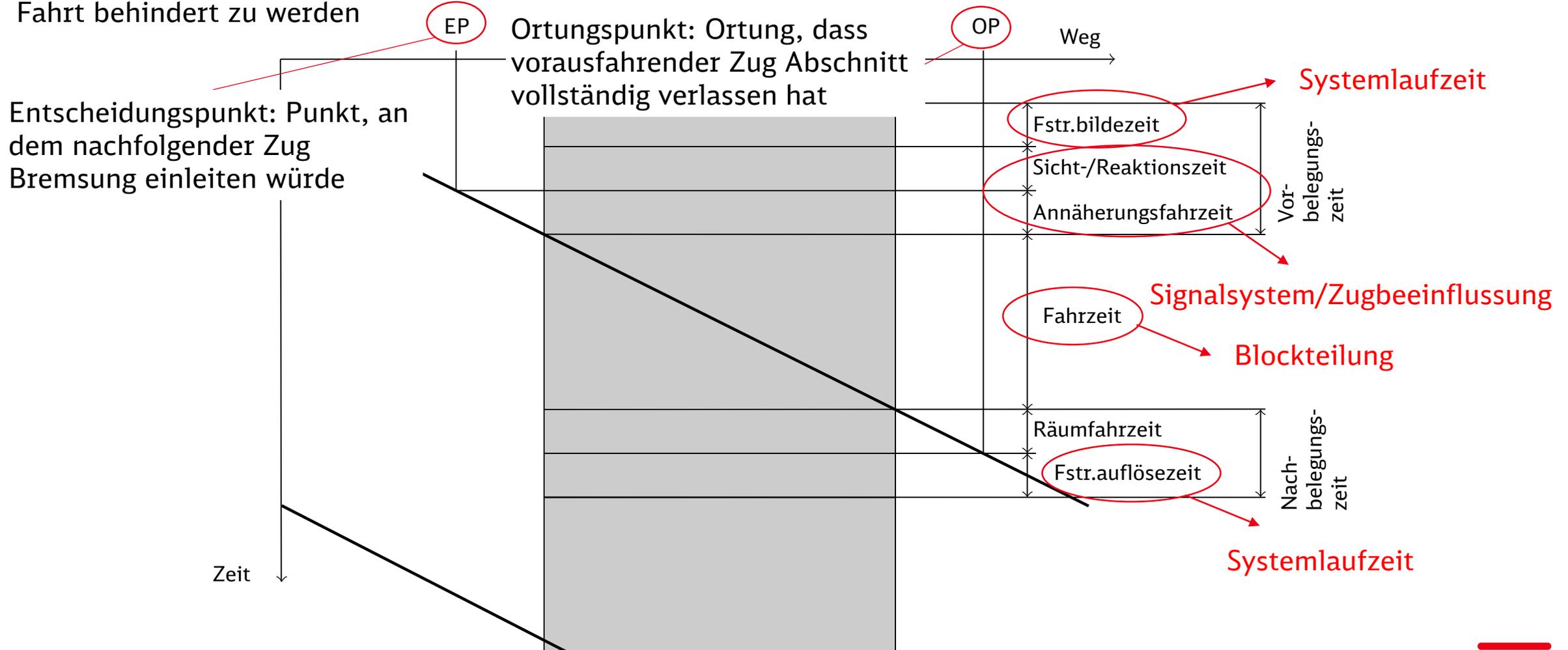
---

Eine kurze Einführung

# Grundprinzip minimale Zugfolgezeit



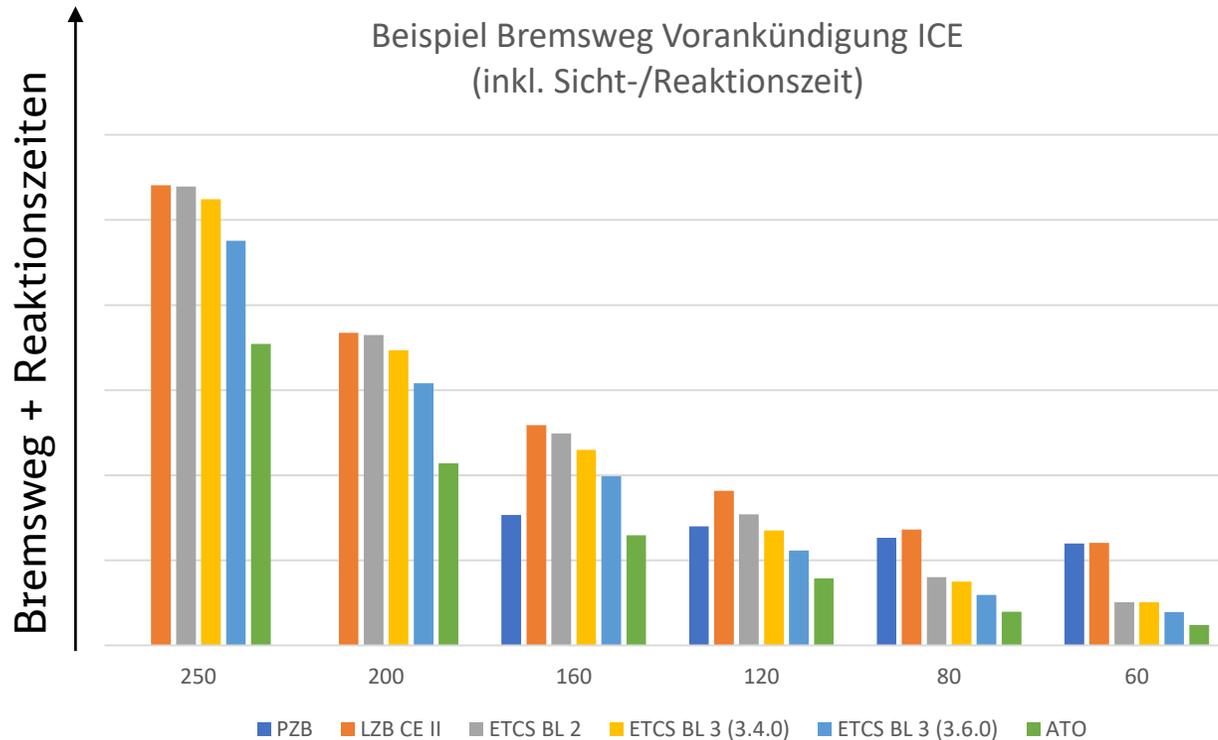
- Grundannahme minimale Zugfolgezeit: Zeit, nach der ein zweiter Zug einem ersten Zug folgen kann, ohne in seiner Fahrt behindert zu werden



# Leistungsfähigkeit: dichtere Zugfolge durch kürzere Bremswege



- stetige Weiterentwicklung von LZB CIR-ELKE II über ETCS Baseline 2, ETCS Baseline 3 MR 1 (SRS 3.4.0) zu aktueller Baseline 3 M2 (SRS 3.6.0); ATO ermöglicht weitere Verkürzung der Zugfolgezeit



Typische Effekte für Reisezüge:

- Anwendung von ETCS ohne Änderung der Blockteilung führt bei höheren Geschwindigkeiten zu längeren min. Zugfolgezeiten
- ETCS berücksichtigt im Gegensatz zu signalgeführtem Betrieb komfortable & verschleißarme Betriebsbremsung
- bei niedrigeren Geschwindigkeiten: selbst bei gleicher Blockteilung kürzere Zugfolge mit ETCS
- ATO reduziert benötigte Reaktionszeiten

Bremswege auch abhängig von

- Neigung
- Bremsvermögen des Fahrzeugs
- Modellierung der Bremskurven in ETCS (Optimierungspotential!)

# Gestaltung der Blockteilung bei ETCS Level 2

---

Praktische Vorgehensweise

# Was ist neu an der Optimierung der Blockteilung?



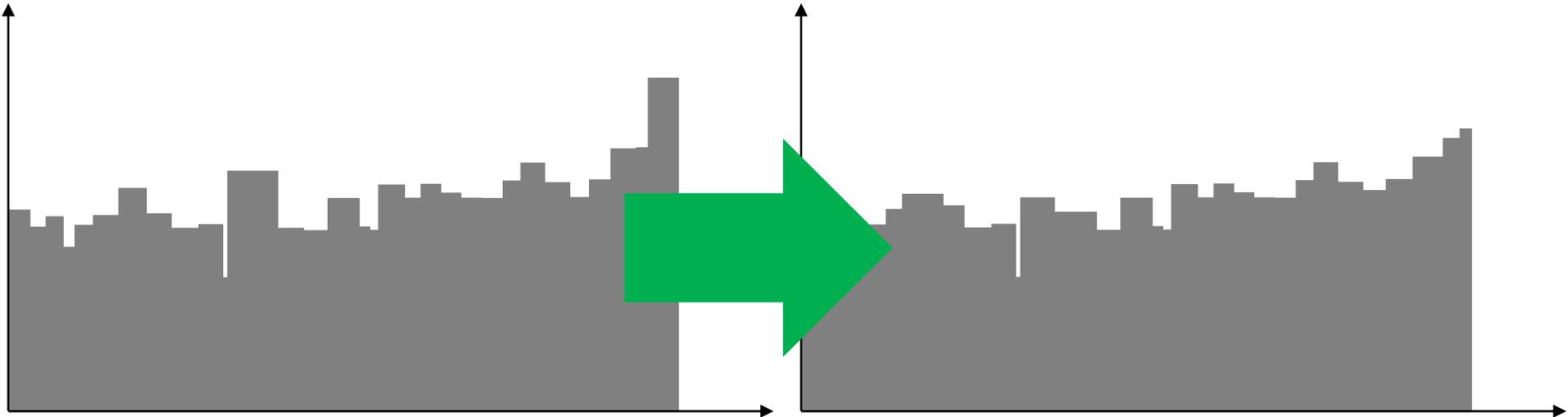
mit ETCS Level 2 muss neu gedacht werden!

- wesentlich mehr Freiheiten bei der ETCS-Blockteilung
- variable Bremswege (= variable Vorbelegungszeiten) abhängig von:
  - Geschwindigkeit
  - Längsneigung
  - ETCS-Bremsmodelle der Fahrzeuge
  - Länge des Durchrutschwegs
  - sowie in geringem Maße: ETCS-Ortungsfehler, aktuelle Beschleunigung

# Ziel der Optimierung der Blockteilung

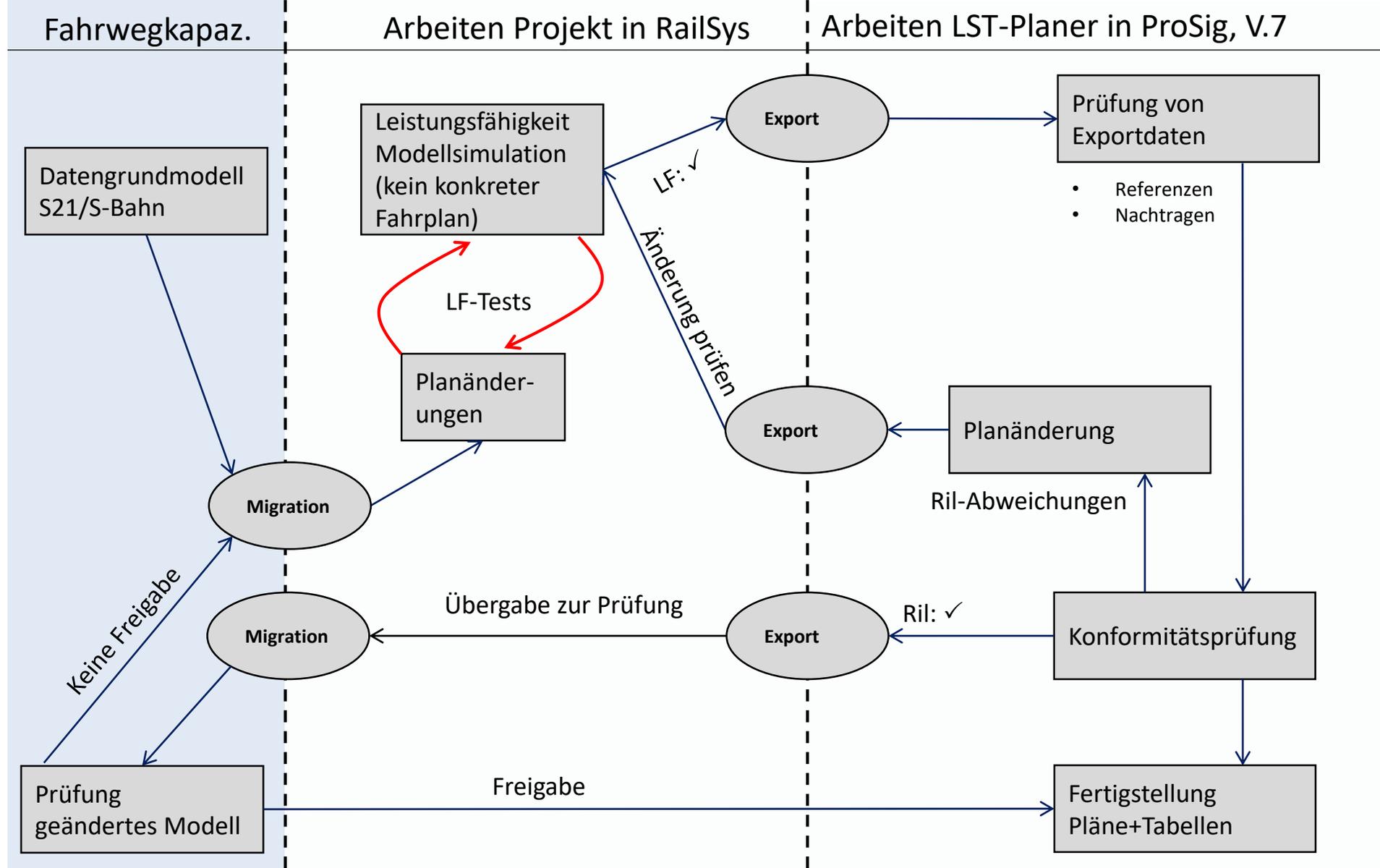
- Optimierung der minimalen Zugfolgezeiten durch Überarbeitung der Blockteilung
- keine pauschale Verdichtung der Blockteilung – nur Ergänzung von Blockkennzeichen, die zu einer Reduzierung von Zugfolgezeiten führen

- Beispiel:



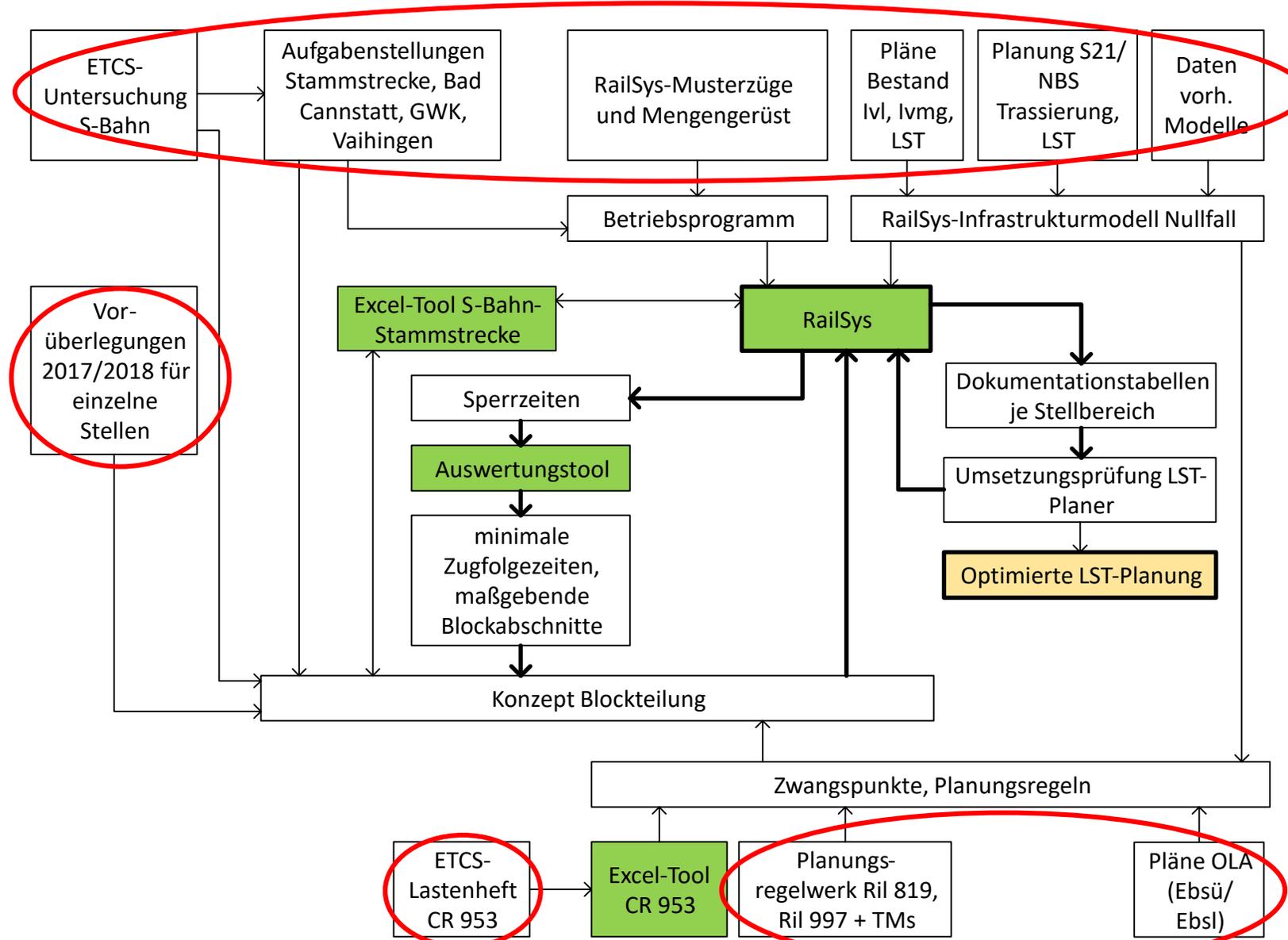
- fahrplanunabhängig
- Betrachtung generischer Musterzüge

- kein Ersatz einer Eisenbahnbetriebswissenschaftlichen Untersuchung (EBWU)
- EBWU mittels Betriebssimulation ist mit hohem Aufwand und hohen Anforderungen verbunden:
  - konfliktfreie Fahrplankonstruktion (ggf. bei jeder Infrastrukturanpassung) für ausreichend langes Zeitfenster
  - Ermittlung Verspätungsniveaus
  - Modellkalibrierung
  - usw.
- Daher während der Entwicklung der Blockteilung:
  - nur Betrachtung der minimalen Zugfolgezeiten, keine Durchführung einer Betriebssimulation
  - Randbedingung: keine Vergrößerung minimaler Zugfolgezeiten ggü. bestehender Planung
  - da Fahrplankonzept noch nicht festgelegt ist, Betrachtung aller möglichen Zugfolgefälle (beliebige Reihenfolge der Züge)
- Bestätigung der Ergebnisse in abschließender EBWU



- Plananpassungen werden projektintern getestet
- Erst nach schnellen Prüfungen wird die Planung finalisiert und geprüft
- Eine Betriebssimulation bestätigt die Planung

# Eingangsdaten - Übersicht

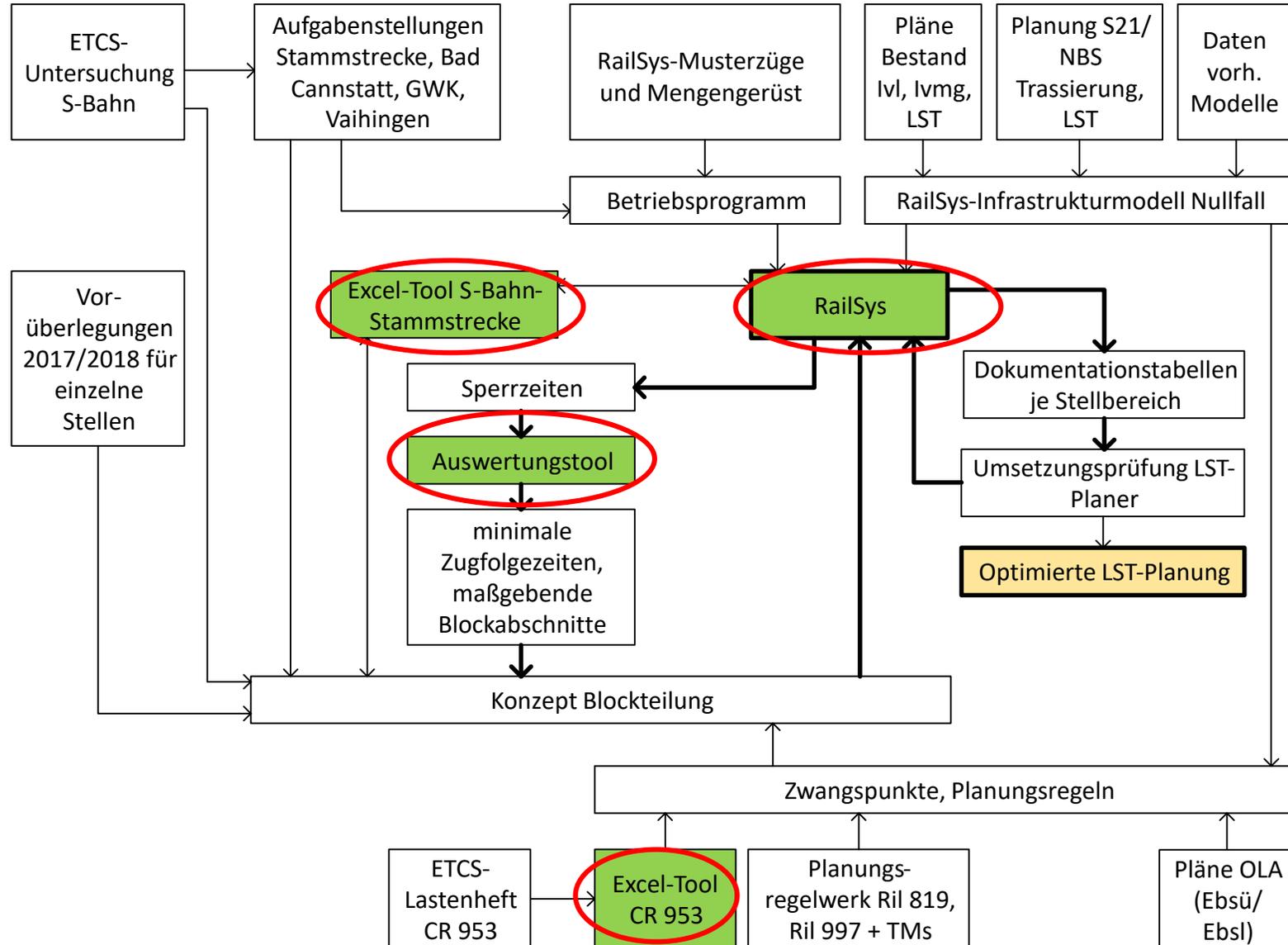


# Eingangsdaten

## Regelwerke/Zwangspunkte

- ein Teil der LST-Planungsregeln wird bereits bei der betrieblichen Konzipierung der Blockteilung berücksichtigt:
  - Länge Durchrutschweg bzw. Gefahrpunktabstand
  - Mindestabstand zu Schaltabschnittsgrenzen der Oberleitung
  - Mindestlänge Blockabschnitte
  - ...
- Ziel: konzipierte Blockteilung soll möglichst auch realisierbar sein
- Einhaltung dieser Regeln liegt jedoch in Verantwortung LST-Planer bzw. -Planprüfer

# Eingesetzte Werkzeuge



# Eingesetzte Werkzeuge

## Excel-Tool CR 953 / CR 1127



- Anforderungen an Blockteilung für sehr kurze Blockabschnitte sind sehr komplex
- Maximum aus 9 relevanten Regeln ergibt minimal erforderliche Blockabschnittslänge

			Soll	Mindest
$v_{max}$ ETCS	60			
$v_{max}$ konventionell	80		30	30
$v_{max}$ SR	40	BTSF3.000.xxx6a (CR 953)	8	8
Q_LOCACC	2 m	BTSF3.000.xxx6c (CR 953)	8	7
Anzahl innere verlinkte BG maskierbar	0	BTSF3.000.xxx6d (CR 953)	22	22
Anzahl innere verlinkte BG nicht maskierbar	0	BTSF3.000.xxx6g (CR 953)	0	0
Reaktionszeit EVC	1 s	BTSF3.000.xxx6h (CR 953)	14	14
1. Signal Ne 14	0 (0/1 = nein/ja)	BTSF3.000.xxx6i (CR 953)	0	0
2. Signal Ne 14	0 (0/1 = nein/ja)	BTSF3.000.xx54 (CR 953)	30	30
1. Signal Licht-Hauptsignal	0 (0/1 = nein/ja)	BTSF3.000.xx57 (CR 953)	20	20
2. Signal Licht-Hauptsignal	0 (0/1 = nein/ja)	BTSF3.000.x1 (CR 1127)	17	17
Abstand Halteplatz - Signal	5 m			
Aufstarten am Signal	0 (0/1 = nein/ja)			
Wendender Zug	0 (0/1 = nein/ja)			
Abstand Zugspitze - Signal wendender Zug	5 m			
Zwischensignal im Bstg am Anfang	0 (0/1 = nein/ja)			

→ Ermittlung der örtlich jeweils zulässigen min. Blockabschnittslängen

# Eingesetzte Werkzeuge

## Auswertungstool



- Export von Fahrplan und Zugfolgezeiten aus RailSys in CSV-Datei
- Auswertung der maßgebenden Blockabschnitte
- Auswertung über alle möglichen Zugfolgefälle
- Vergleich ggü. vorheriger Variante

```
ae2: TFLH|TFLD->TOBN
ae3: TOBN->TFLH|TFLD
ae4: TFLP|TFLD->TS
ae5: TS->TSZ
ae6: TSM|TSC->TSMS
ae7: TFE->TSC|TSU
ae8: TSMS->TSS
ae9: TSS->TSV Abs|TSRO
ae10: TSRO|TSRD->TBO
Bitte strecke wählen
ae2
ae mittlere Zugfolgezeit: 144
Zugfolgezeit reduziert: TFLH|TFLD-TOBN 319->115 272->252 ->/tfld.237 (13607): 2: 9% | 3: 9%
Zugfolgezeit reduziert: TFLH|TFLD-TOBN 319->323 157->142 )->4813d.4752 (13115): 0: 23%
Zugfolgezeit reduziert: TFLH|TFLD-TOBN 323->111 220->219 ->/tfld.237 (13607): 2: 9% | 3: 9%
Zugfolgezeit reduziert: TFLH|TFLD-TOBN 323->113 208->205 <2)->/tfld.71 (13Z54): 0: 39%
Zugfolgezeit reduziert: TFLH|TFLD-TOBN 323->115 217->211 >/tubn.7 (03129): 0: 14%
Zugfolgezeit reduziert: TFLH|TFLD-TOBN 409->101 187->168 7)->/tubn.7083 (X6): 7: 7% | 8: 9%
Zugfolgezeit reduziert: TFLH|TFLD-TOBN 409->111 275->257 5)->4813d.4765 (13117): 9: 9%
Zugfolgezeit reduziert: TFLH|TFLD-TOBN 409->113 263->242 3)->4813d.4806 (03125): 7: 6%
Zugfolgezeit reduziert: TFLH|TFLD-TOBN 409->115 272->252 5)->/tubn.7130 (03127): 0: 20% | 7: 7% | 8: 5%
Zugfolgezeit reduziert: TFLH|TFLD-TOBN 409->323 157->140
Zugfolgezeit reduziert: TFLH|TFLD-TOBN 411->101 171->167
Zugfolgezeit reduziert: TFLH|TFLD-TOBN 411->111 259->254
Zugfolgezeit reduziert: TFLH|TFLD-TOBN 411->113 247->240
Zugfolgezeit reduziert: TFLH|TFLD-TOBN 411->115 256->246
Zugfolgezeit reduziert: TFLH|TFLD-TOBN 411->323 141->140
Zugfolgezeiten speichern? (j|N)
```

# Eingesetzte Werkzeuge

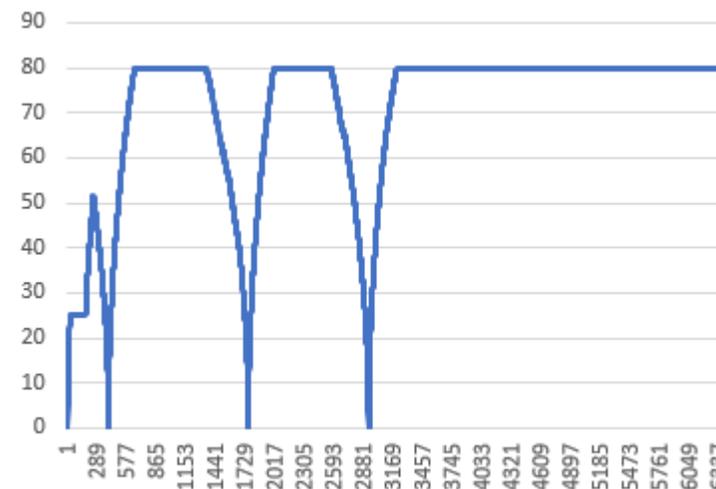
## Excel-Tool S-Bahn-Stammstrecke

- bei sehr kurzen Blockabschnitten werden Effekte relevant, die in Standardsoftware ggf. nur vereinfacht abgebildet wird → Erstellung eines Excel-Tools (+VBA-Code) zur Absicherung der Ergebnisse
- Eingabe Infrastruktureigenschaften mit Tabellenblatt je Streckengleis

kmabs	kmrel	v <sub>max</sub>	i	A_T	kmabs	kmrel	Haltezeit	DS100	freieBlöcke	kmabs	kmrel	Vsig	Sig	Ne14	Bk	AZ	Balise	Fb	Fa
15798	1	25	0,000	0	15798	1	600	TSV Abs	0	15793	6	X	X		X	X		13	2
15624	175	80	0,000	0	15400	399	30	TSV	1	15713	86				X			13	2
15431	368	80	-11,965	0	14040	1759	30	TSOS	1	15662	137					X		13	2

- Eingabe der Fahrzeugeigenschaften (Länge, Masse, Leistung, ..., ETCS-Parameter)
- Fahrzeit- und Sperrzeitrechnung auf Basis detaillierter Berechnung der ETCS-Bremskurven
- Ausgabe von Geschwindigkeiten und Fahrzeiten
- Ausgabe von Sperrzeiten je Blockabschnitt

Pos	B	E	t <sub>Fz</sub>
5644	1008	1110	102
6594	1051	1153	102
7425	1088	1163	75
7648	1096	1168	72
7681	1097	1212	115
7714	1098	1216	118



# Bearbeitungsschritte

## Bearbeitungsreihenfolge

- Entwicklung der Blockteilung aus wesentlichen Zwangspunkten heraus
  - „Tunnelspinne“ Fernbahn: Bereiche um Oberleitungs-Streckentrennungen
  - S-Bahn: Minimal zulässige Blockteilung (bei  $v_{\max}$  80 km/h: 30 m), Bahnsteiggleise als maßgebende Engpässe
- Identifizierung der maßgebenden Blockabschnitte
- iterative Ergänzung/Verschiebung von Blockkennzeichen zur Verkürzung der maßgebenden Blockabschnitte
- Abbruch, wenn maßgebende Blöcke auf Grund von Zwangspunkten/Planungsregeln nicht weiter verkürzt werden können oder Zugfolgezeitgewinn durch zusätzliche Blockkennzeichen zu gering wird

# Bearbeitungsschritte

## Zusammenarbeit mit LST-Planern



### Betriebliche Anforderung

Bezeichnung Signal	0185
Bezeichnung Signal vorläufig <sup>1)</sup>	
Hauptsignal	
Vorsignal	
Mehrabschnittssignal	
Blockkennzeichen	x
Virtuelles Signal (alleinstehendes Ne 14)	
Standort [km] / Strecke	2,790 / 4813 RG
<b>Betriebliche Anforderung</b>	
Standort [km] / Strecke <sup>2)</sup>	2,800 / 4813 RG
(kurze) Begründung Notwendigkeit <sup>3)</sup>	Verkürzung maßgebender 0185->01A
Erläuterung betrieblicher Zwangspunkte <sup>4)</sup>	-

### Umsetzung durch LST-Planer

<b>Umsetzungsprüfung LST-Planer</b>	Verschiebung um 10m		
Standort [km] / Strecke	2,800 / 4813 RGI Ri. TST	6,92 / 4813 RGI Ri. TST	7,1 / 4813 RGI Ri. TST
Gefahrpunktabstand Länge Ist	70 m	92 m	70m
Durchrutschweg D1 Länge Ist	-		
Durchrutschweg kurz Länge Ist <sup>5)</sup>	-		
(kurze) Begründung bei Abweichung	-		
<b>Erläuterung Besonderheiten</b>	Gefahrpunkt: Zugschluss auf Höhe Azp 01B0283/01B0185 wenn kurzer Zug am Einfahrsignal 01A steht muss 70 m betragen  Versetzung Azp erforderlich	Azp mittig zw. 01203 und TST-X1	Azp entsprechend anordnen

- Häufig lohnt sich eine Verdichtung der Blockteilung in folgenden Fällen:
  - Streckenabschnitte vor und nach Verzweigungen (Abzweigstellen, Überhol-/Abzweigbahnhöfe), auch bereits innerhalb der Bahnhofsköpfe
  - im Bereich von Geschwindigkeitsschwellen (Wechsel auf eine deutlich niedrigere Höchstgeschwindigkeit) – Besonderheit bei anzeigegeführten Systemen!
  - vor und nach Bahnsteigen
  - bei sehr hohen Anforderungen an die Leistungsfähigkeit: Unterteilung der Bahnsteiggleise mit Teilzugstraßen zur Reduzierung der Zugfolgezeit
  - näheres Heranrücken von Zügen an höhengleiche Kreuzungen
  - Verdichtung der Blockteilung auf dem Gegengleis mit sehr geringem Aufwand durch Ausnutzung der vorhandenen Gleisfreimeldegrenzen der Blockteilung im Regelgleis

- bei DKS ggü. vorheriger Planung Reduzierung der mittleren minimalen Zugfolgezeiten um 5 bis 55 Sekunden (auch abhängig von der zuvor vorhanden/geplanten Blockteilung)
- typische Steigerung der theoretischen Leistungsfähigkeit, bezogen auf Streckenabschnitte, um 10 – 15 %
- zusätzliche Effekte ergeben sich mit ETCS L2oS besonders im Bahnhofsbereich durch kurze Durchrutschwege, elementscharfe Geschwindigkeiten und Blockkennzeichen im Bahnhofsbereich
- Nutzen am Rand des ETCS-Ausrüstungsbereichs wird zunächst durch konventionelle Blockteilung begrenzt

# Optimierung der Systemlaufzeiten

---

Wie werden Stellwerk und ETCS-Zentrale schneller?

- Ausgangslage:
  - wenige Informationen über Laufzeiten der Stellwerke bzw. ETCS-Zentralen
  - Laufzeiten ESTW häufig eher länger als RSTW
  - Anforderungen in den Lastenheften nur für sicherheitsrelevante Zeiten
- ETCS-Untersuchung S-Bahn:
  - Expertenbefragung
  - Marktabfragen
  - Beobachtungen an vorhandener Infrastruktur
    - große Bandbreite
    - großer Anteil entfällt auf Stellwerk und RBC

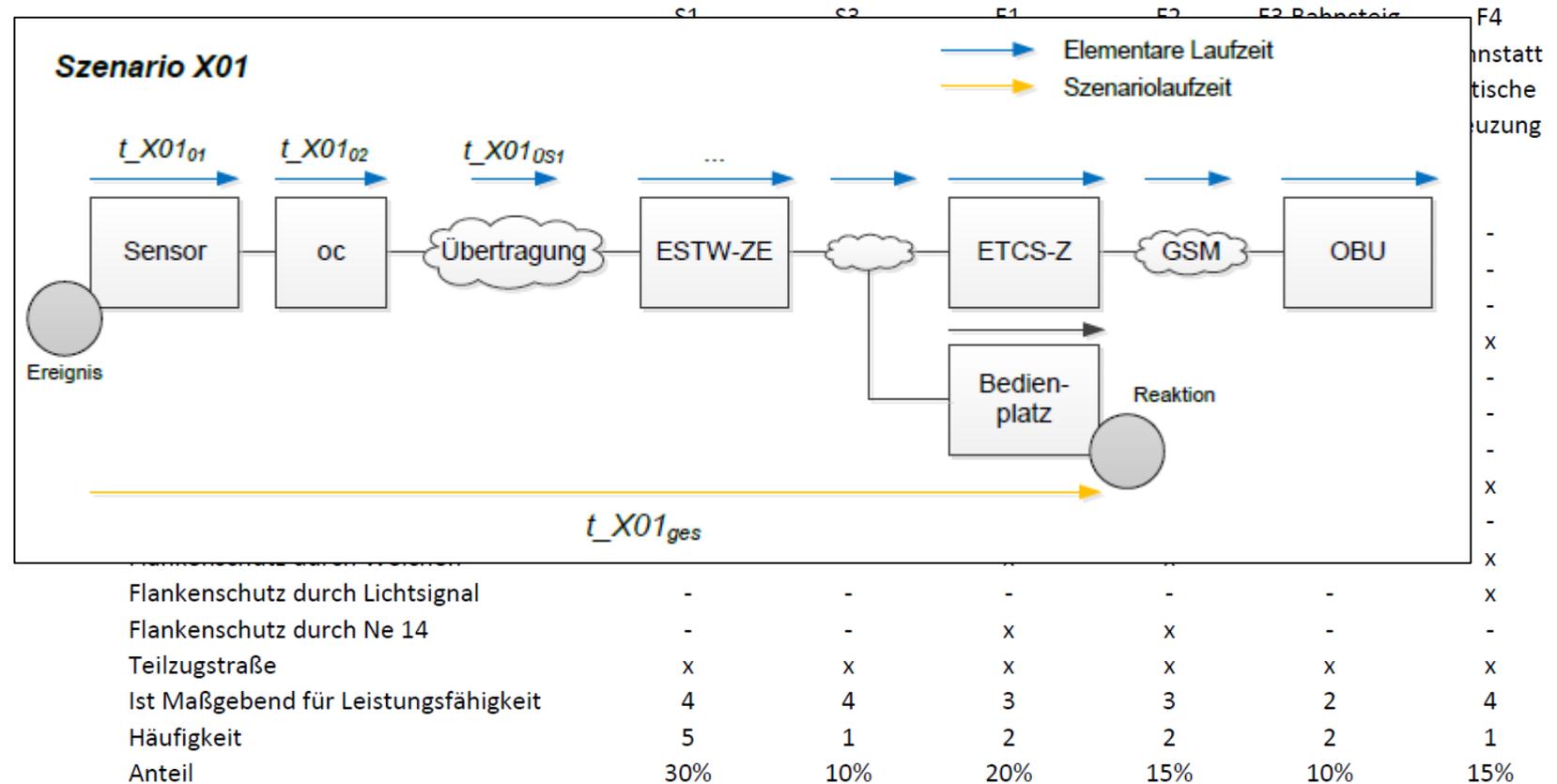


PR Laufzeitmessung am Bahnhof München Hackerbrücke, November 2017  
Institut für Luftfahrt und Logistik

# Laufzeitwettbewerb



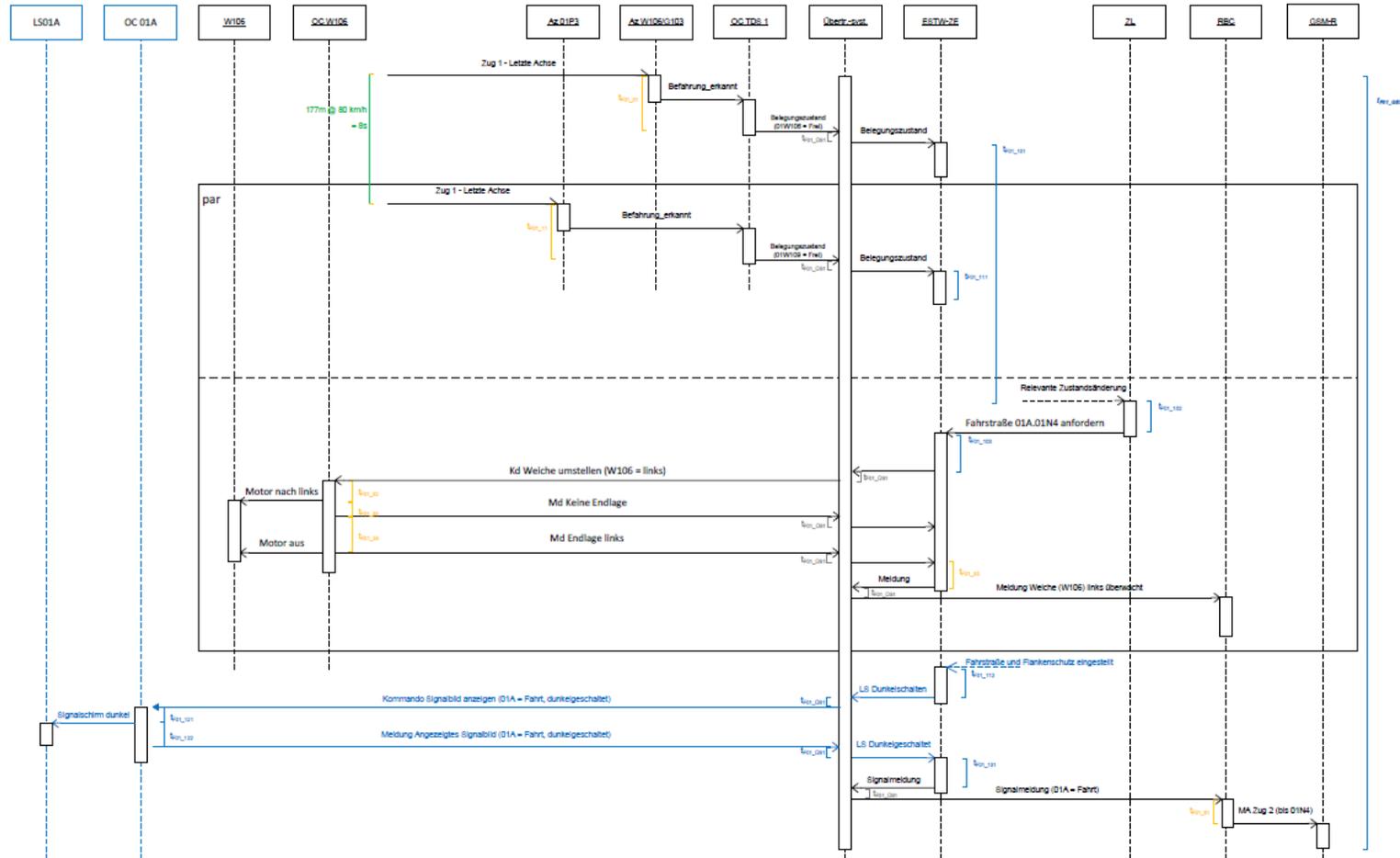
- Verankerung des Laufzeitwettbewerbs in Vergabeverfahren
- Entwicklung typischer und für die Leistungsfähigkeit relevanter Szenarien
- Detaillierung der Szenarien in Sequenzen mit einzelnen Zeiten
- Aufstellung Lastszenarien



# Vorgehen Laufzeitwettbewerb



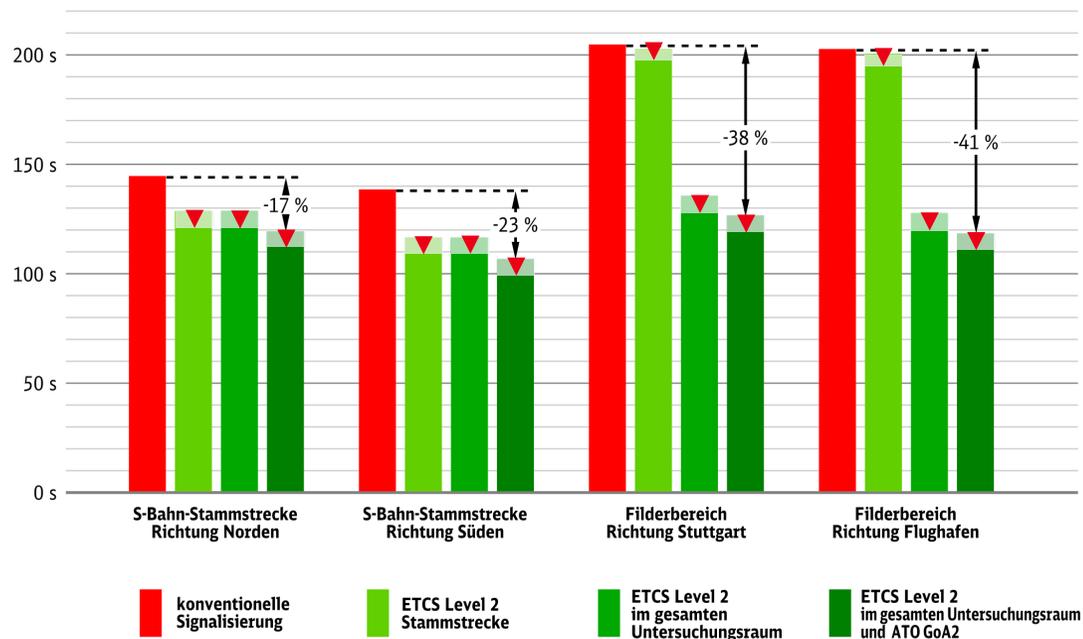
## - Beispiel vollständiges Sequenzdiagramm



# Ergebnis des Laufzeitwettbewerb: deutlich reduzierte Laufzeiten vereinbart



Mindestzugfolgezeiten der verschiedenen Ausrüstungsvarianten in Sekunden



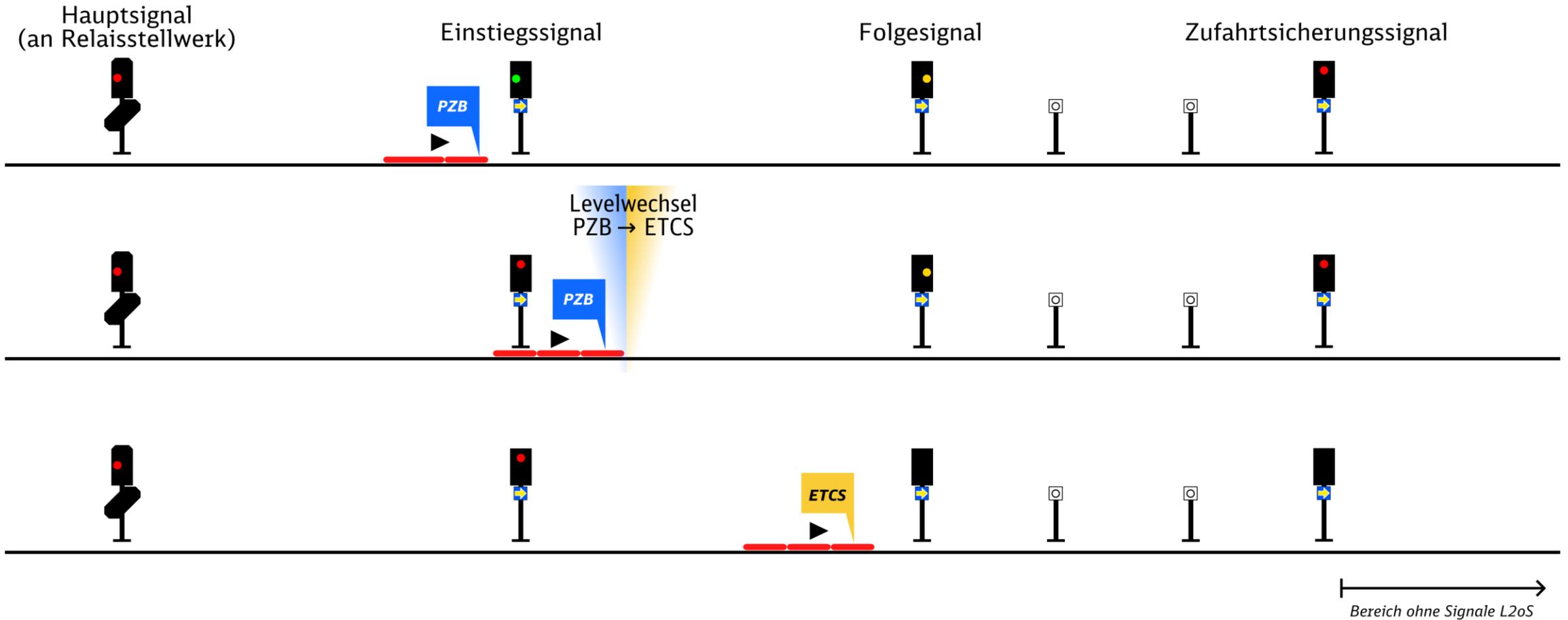
- gegenüber dem Ergebnis der S-Bahn-ETCS-Untersuchung sind die vereinbarten Laufzeiten um 5 bis 9 Sekunden kürzer
- auf maßgebenden Abschnitten der S-Bahn-Stammstrecke (Teilzugstraßen ohne Weichen) wurde die Infrastrukturlaufzeit (Stellwerk + RBC) von 11 auf 2 Sekunden reduziert
- Umsetzung dieser Laufzeiten unter Praxisbedingungen (Last) ist nachzuweisen
- übrige Laufzeitanteile (GSM-R mit 1,8 s und ETCS-Fahrzeuggerät mit 1,5 s) sind unverändert und Gegenstand weiterer Untersuchungen

# ETCS-Einstiege – der Teufel steckt im Detail

---

Warum die Schnittstellen einer besonderen Betrachtung bedürfen

# Grundsatz: ETCS-Einstieg mit 3 Hauptsignalen zur Vermeidung eines Geschwindigkeitseinbruchs



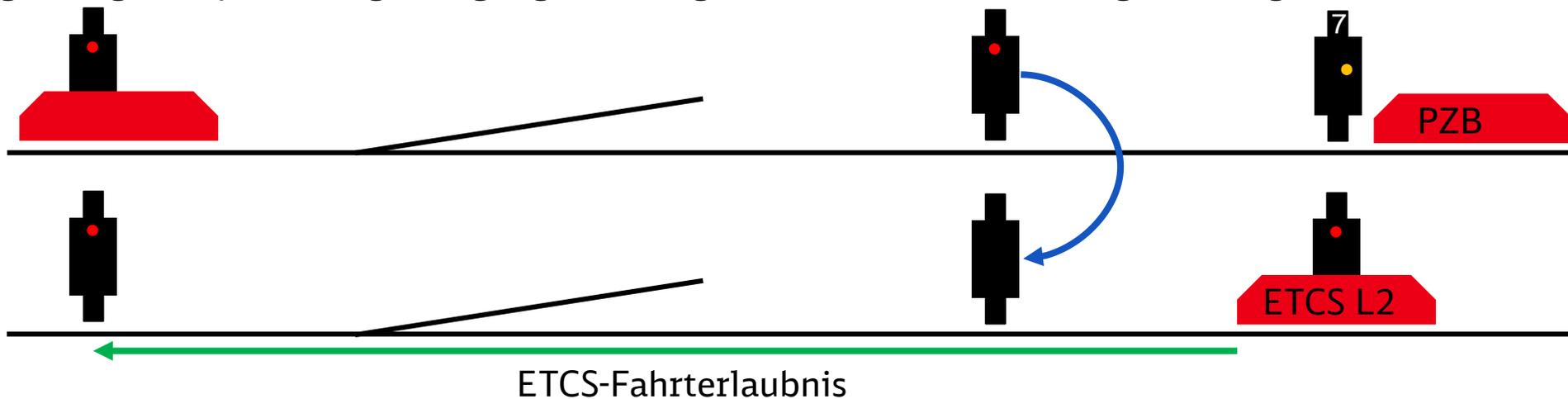
Beispiel für ETCS Level 2 „ohne Signale“ (L2oS), mit Zufahrtsicherungssignal am Beginn des Bereichs „ohne Signale“

# Drei Lichtsignale – reicht das immer aus?

- vereinfachtes Beispiel aus der Praxis: ETCS-Einstieg auf S-Bahn-Strecke; bereits im Bestand sehr dichte Signalabstände
- ursprüngliche Planung mit ETCS L2oS:



- Signalfolge bei planmäßiger Zugfolgezeit: Zug fährt immer auf Halt zeigendes Signal zu!

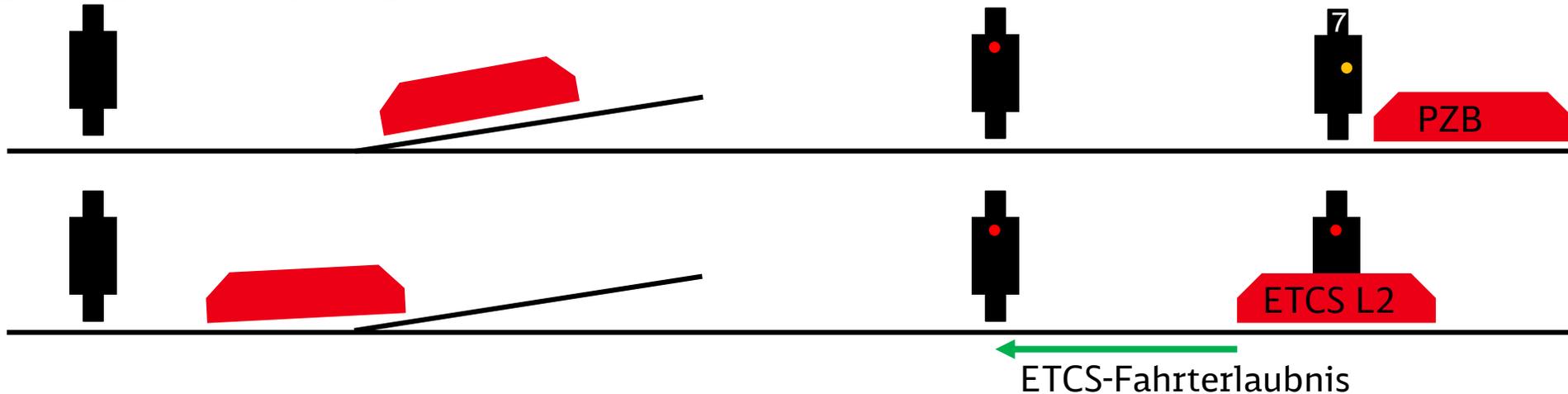


# Drei Lichtsignale – reicht das immer aus?

- vereinfachtes Beispiel aus der Praxis: ETCS-Einstieg auf S-Bahn-Strecke; bereits im Bestand sehr dichte Signalabstände
- ursprüngliche Planung mit ETCS L2oS:



- Signalfolge bei Verspätung: da Blockkennzeichen kein Flankenschutz für Weichen bieten, noch stärkere Behinderung

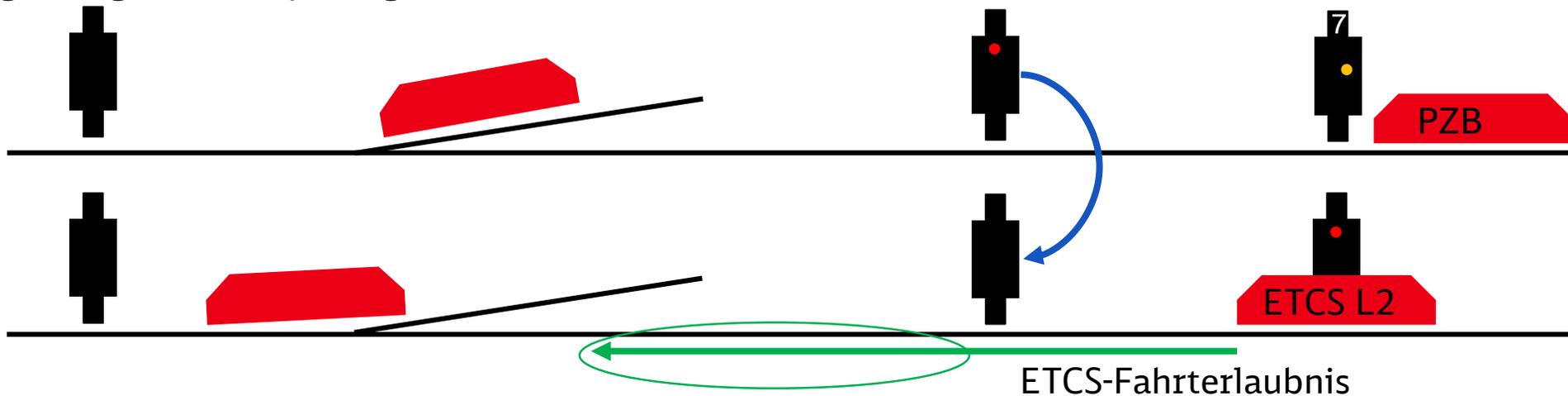


# Drei Lichtsignale – reicht das immer aus?

- vereinfachtes Beispiel aus der Praxis: ETCS-Einstieg auf S-Bahn-Strecke; bereits im Bestand sehr dichte Signalabstände
- Planung mit **zusätzlichem Sperrsignal und Blockkennzeichen**

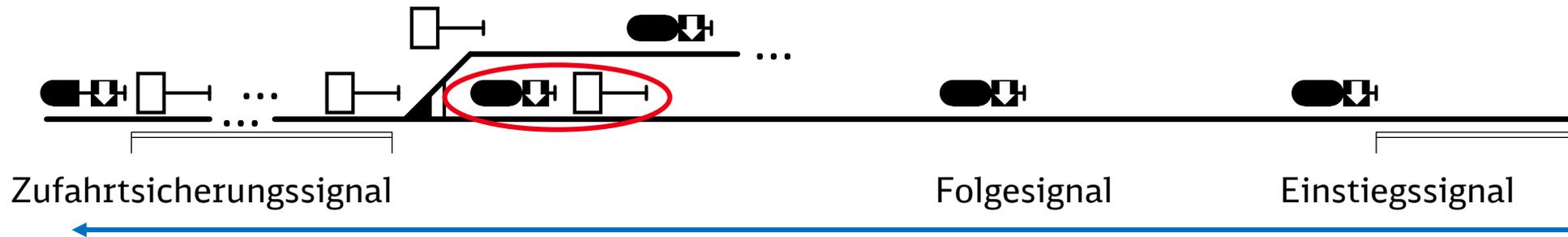


- Signalfolge bei Verspätung: zusätzliches Blockkennzeichen übernimmt Flankenschutz... kleine Verbesserung!

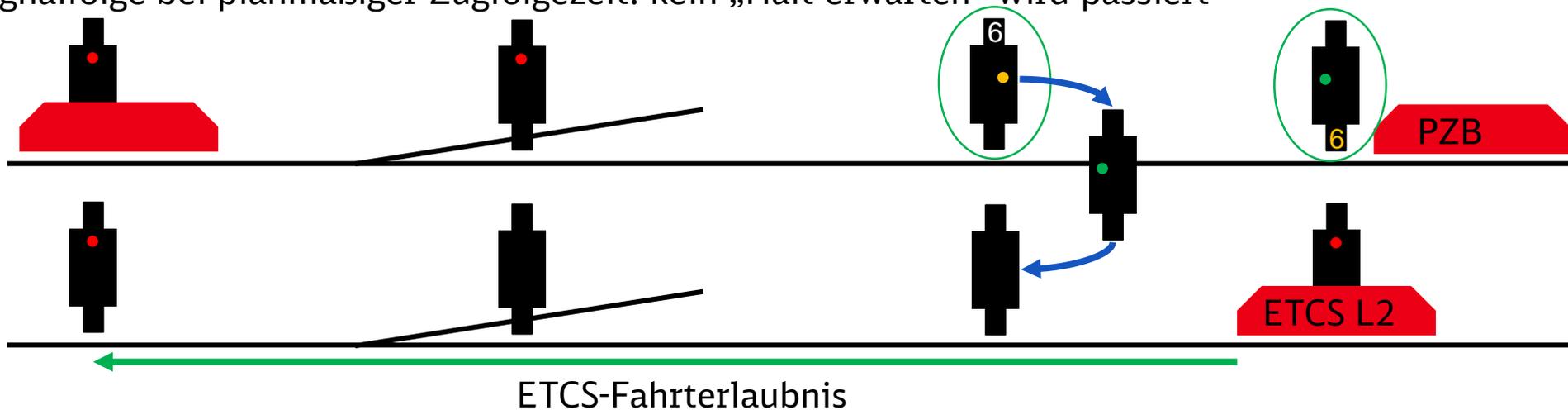


# Drei Lichtsignale – reicht das immer aus?

- vereinfachtes Beispiel aus der Praxis: ETCS-Einstieg auf S-Bahn-Strecke; bereits im Bestand sehr dichte Signalabstände
- Planung mit **zusätzlichem Lichthauptsignal**



- Signalfolge bei planmäßiger Zugfolgezeit: kein „Halt erwarten“ wird passiert

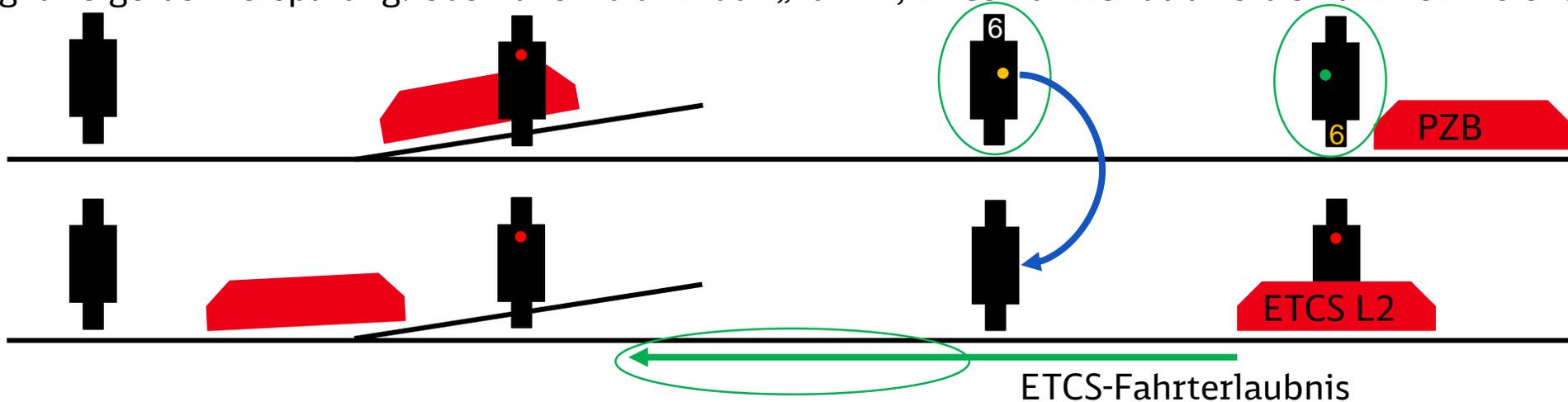


# Drei Lichtsignale – reicht das immer aus?

- vereinfachtes Beispiel aus der Praxis: ETCS-Einstieg auf S-Bahn-Strecke; bereits im Bestand sehr dichte Signalabstände
- Planung mit **zusätzlichem Sperrsignal und Blockkennzeichen**



- Signalfolge bei Verspätung: ebenfalls Abfahrt auf „Fahrt“, ETCS-Fahrterlaubnis bis kurz vor Weiche



# Ergebnis ETCS-Einstieg bei sehr kurzen Signalabständen



- Folge: zusätzliches, 4. Hauptsignal wird geplant
- allgemeine Ergebnisse
  - grundsätzlich können Teilblöcke/Teilzugstraßen ab dem Folgesignal eingesetzt werden
  - bei kurzen Signalabständen erfolgt die Dunkelschaltung des Folgesignals erst mit Durchführung des Levelwechsels LNTC → L2
    - → Teilblock kann zeitlich erst ab Levelwechsel genutzt werden!
  - Flankenschutz ist an Weichen zusätzlich zu beachten
- diese Effekte werden in gängiger Software für Fahrplankonstruktion bzw. Leistungsfähigkeitsuntersuchungen nicht vollständig abgebildet
- bei „normaler“ Infrastruktur Einfluss gering
- bei sehr kurzen Signalabständen und hohen Leistungsfähigkeitsanforderungen sollten ETCS-Einstiege individuell untersucht werden

- 1. über die S-Bahn-ETCS-Untersuchung hinausgehende Potentiale werden mit großem Erfolg weiter bearbeitet**
- 2. Eigenheiten von ETCS Level 2 müssen für die Planung einer leistungsfähigen Infrastruktur berücksichtigt werden**

**Vielen Dank**

