

# Optimierung der Blockteilung mit ETCS Level 2 im Digitalen Knoten Stuttgart

## Optimising block division with ETCS Level 2 in the Stuttgart Digital Node

Jonas Denißen | Markus Flieger | Michael Kümmling | Michael Küpper | Sven Wanstrath

Im Digitalen Knoten Stuttgart (DKS), einem Pilotprojekt im Starterpaket der Digitalen Schiene Deutschland (DSD), wurde die Blockteilung mit neuen Methoden mikroskopisch optimiert, um über alle Zugfolgefälle hinweg möglichst kurze Zugfolgezeiten zu erreichen und somit Kapazität und Leistungsfähigkeit des Fahrwegs zu maximieren. Obwohl ETCS „ohne Signale“ (oS) dabei eine deutlich flexiblere Planung ermöglicht, stößt auch sie mitunter an Grenzen, die es noch aufzulösen gilt.

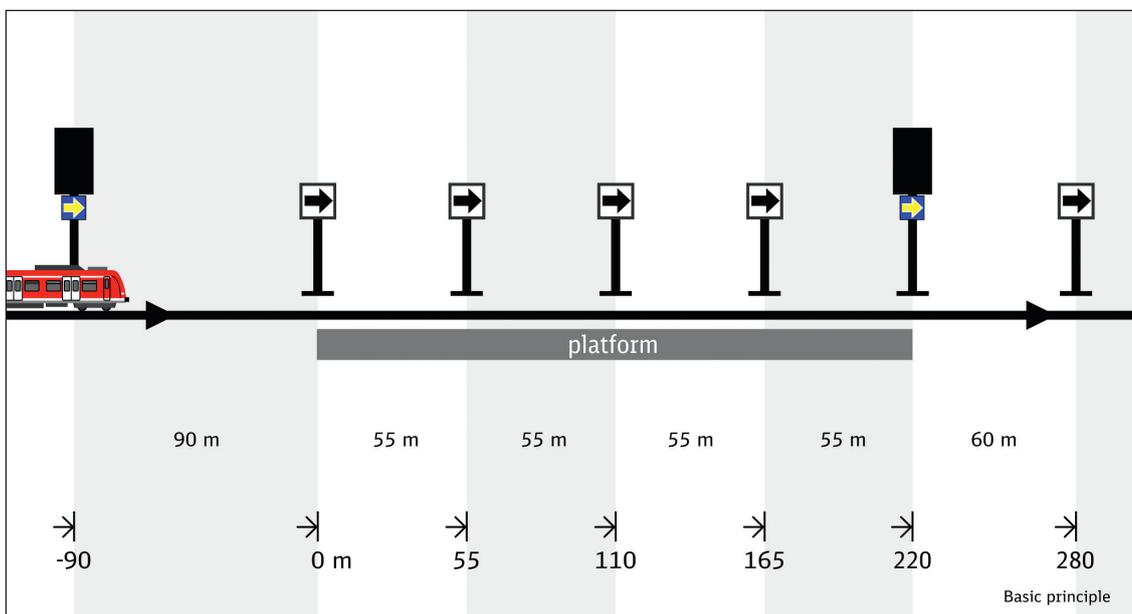
### 1 Motivation

Zündfunke für den DKS waren ab 2015 heranreifende Überlegungen, die S-Bahn-Stammstrecke in Stuttgart mit ETCS auszurüsten. Im Rahmen einer 2017 von Land, Region und DB gemeinsam beauftragten Untersuchung wurde 2018 der detaillierte Nachweis erbracht, dass ETCS für S-Bahn-Hochleistungssysteme nicht nur technisch machbar, sondern auch betrieblich sinnvoll ist. Unter vorsichtigen Annahmen konnten die Zugfolgezeiten mit ETCS Level 2 (L2) und ATO GoA 2 (Automatic Train Operation Grade of Automation 2) – gegenüber dem zuvor im Rahmen von Stuttgart 21 geplanten konventionellen 1:1-Ersatz (H/V zu Ks, mit Punktförmiger Zugbeeinflussung, PZB) – um rund 20 % bzw. fast eine halbe Minute verkürzt werden. [9] Maßgeblich dafür war der Hochleistungsblock an Bahnsteigen – mit konstant 55 m langen Abschnitten und einem ähnlichen Abschnitt davor und danach (Bild 1). [2]

The block division in the Digitaler Knoten Stuttgart (DKS, Stuttgart Digital Node) has been microscopically optimised using new methods as part of a pilot scheme included in the “starter package“ of the Digitale Schiene Deutschland (DSD, Digital Rail for Germany) project. The goal is to minimise the headways across all train pairs, thus maximising the track capacity. While ETCS without Class B systems makes signalling planning much more flexible, some restrictions still remain to be resolved.

### 1 Motivation

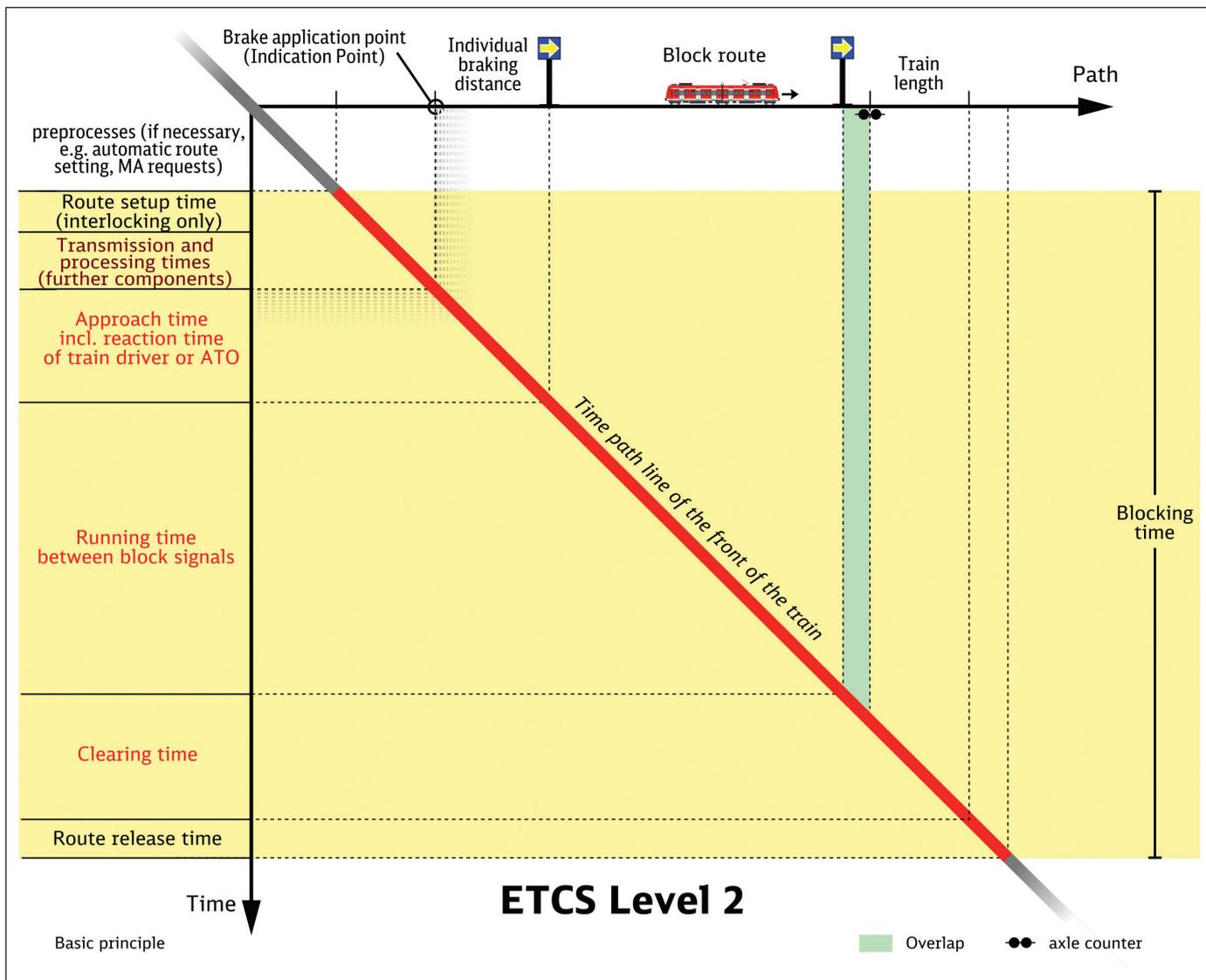
Early considerations on introducing ETCS to the core of the Stuttgart S-Bahn dating from 2015 eventually paved the way for the DKS. A feasibility study, jointly commissioned by the state, the region and DB in 2017, provided detailed evidence as to the fact that ETCS is not only technologically feasible for high-performance S-Bahn systems, but is also beneficial for railway operations. Even under cautious assumptions, ETCS Level 2 (L2) and ATO GoA 2 (Automatic Train Operation Grade of Automation 2) were able to reduce headways by some 20 %, almost half a minute, compared to the one-to-one replacement of old signalling/train protection (Ks/PZB) with new signalling (Ks, PZB) that had been planned within the scope of Stuttgart 21. [9] High-density block in platform



**Bild 1: Der S-Bahn-ETCS-Untersuchung lag eine Bahnsteigblockteilung mit rund 50 m langen Abschnitten zugrunde.**

Fig. 1: The S-Bahn ETCS feasibility study was based on a platform block division with sections of around 50 m in length.

Quelle / Source: Deutsche Bahn



**Bild 2: Belegungs- / Sperrzeitkomponenten der LST mit ETCS L2; durch die Blockteilung beeinflussten Bestandteile sind rot markiert.**

Fig. 2: The blocking times in an ETCS L2 system, the components influenced by the block division are marked in red.

Quelle / Source: Deutsche Bahn

Die überzeugenden Ergebnisse der S-Bahn-ETCS-Untersuchung wurden zu einer Grundlage für die 2019 begonnene Planung des DKS, als Teil des Starterpakets der DSD. Weit über die Stammstrecke hinaus werden bis 2025 zunächst rund 125 Streckenkilometer mit Digitaler Leit- und Sicherungstechnik (DLST) – weitgehend „ohne Signale“ (oS) – ausgerüstet, bis 2030 folgt die übrige Region (Netzbezirke Stuttgart und Plochingen). Einher mit der Planung und Umsetzung im Projekt werden dabei einige noch fehlende Grundlagen geschaffen, pilotiert und damit dem bis 2035 angestrebten, flächenhaften DSTW/ETCS-Roll-out in Deutschland der Weg bereitet. Darüber hinaus werden mehrere hundert Triebfahrzeuge mit ETCS und weiteren Techniken aus- bzw. nachgerüstet. [2]

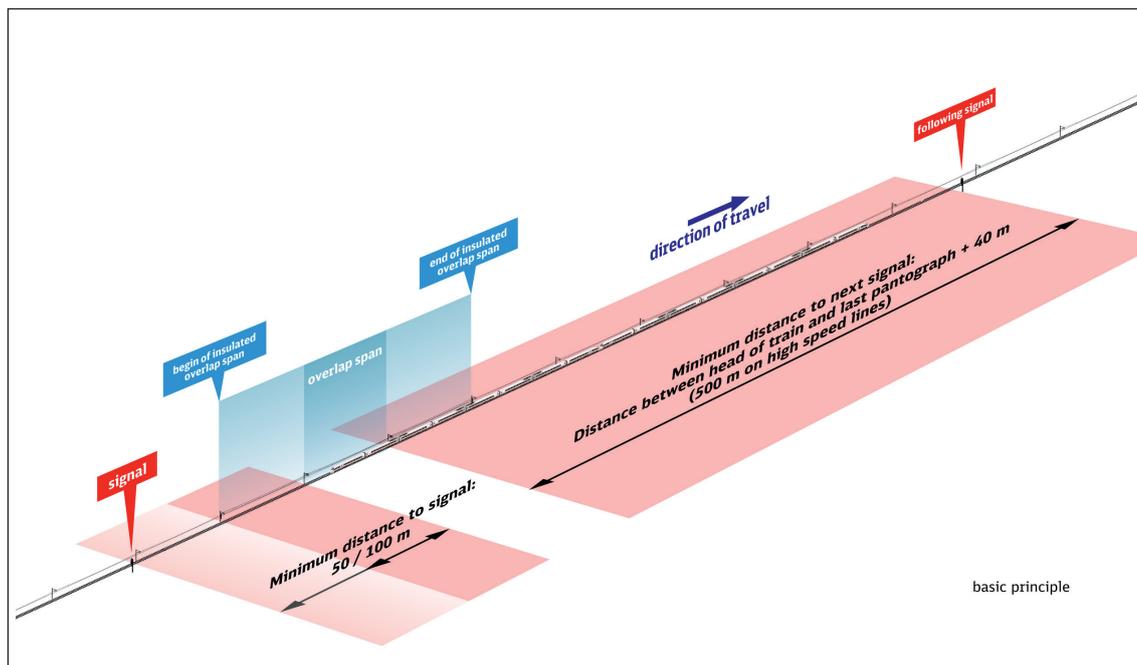
In der Blockteilung liegt ein wesentlicher Hebel zur Optimierung der Leistungsfähigkeit mit DLST (Bild 2). Darüber hinaus werden im DKS beispielsweise auch Laufzeiten verkürzt [1] und ETCS-Bremskurven optimiert [11].

Im vorliegenden Beitrag ist die Anordnung von Hauptsignalen, alleinstehenden ETCS-Halttafeln und Blockkennzeichen, sowohl im Bahnhof als auch der freien Strecke, vereinfachend als Blockteilung bezeichnet.

areas with fixed sections of 55 m in length and similar sections in front and behind was essential for this (fig. 1). [2]

The convincing results of the S-Bahn feasibility study became the foundation for DKS planning in 2019 within the framework of the DSD starter package. Far beyond the S-Bahn core, some 125 km of tracks are to be equipped with digital signalling technology, mostly without any lineside signals / Class B, by 2025. The remainder of the region (the DB Netz network districts of Stuttgart and Plochingen) will be equipped by 2030. In addition to the planning and implementation in the project, a few currently missing basic principles will also be created and tested and will thus pave the way for the full-scale digital interlocking/ETCS rollout in Germany that is envisaged to be completed by 2035. In addition, several hundred vehicles will also be equipped / retrofitted with ETCS and further technologies.

Block division represents a major push towards the optimisation of the overall performance of the digital signalling technology (fig. 2). Further optimisation being explored in the DKS includes reduced system delays and optimised ETCS braking curves.



**Bild 3: An elektrischen Schaltabschnittsgrenzen kann auf einem halben Kilometer Länge kein Signal angeordnet werden.**

Fig. 3: No signals can be placed at electrical section boundaries for half a kilometre.

Quelle / Source: Deutsche Bahn

## 2 Restriktionen

Per se können mit ETCS L2 nahezu beliebig kurze Signalabstände realisiert und kann die Leistungsfähigkeit erhöht werden. In der Praxis stößt dies jedoch an einige Grenzen. So dürfen Blockkennzeichen weder im Durchrutschweg eines vorherigen Signals noch in Sichtweite vor einem Vorsignal angeordnet werden. Bei einer Doppelausrüstung mit Lichthauptsignalen und den damit einhergehenden bis zu 300 m langen Durchrutschwegen schränkt dies die Spielräume insbesondere in Bahnhöfen erheblich ein. [4]

Wird auf eine Doppelausrüstung verzichtet, verlieren diese und weitere Restriktionen der konventionellen LST an Bedeutung, beispielsweise auch zu berücksichtigende Bremswegabstände und notwendige Signalsicht. Gleichwohl verbleiben auch in einer LST-Planung für ETCS L2oS einige Restriktionen.

Eine wesentliche Einschränkung dient dem Schutz der Oberleitung: An Schaltabschnittsgrenzen, wie sie zur elektrischen Trennung von Bahnhof und freier Strecke sowie an Abzweigen erforderlich sind, sind beidseitig Mindestabstände zu Signalen einzuhalten (Bild 3). So soll verhindert werden, dass gehobene Stromabnehmer darin stehen bleiben oder diese mit sehr niedriger Geschwindigkeit passieren, um einen Fahrdratrisse durch große Transitströme zu vermeiden. Mit den heutigen Regeln darf somit gerade in leistungskritischen Bahnhofsköpfen auf einem halben Kilometer kein Signal aufgestellt werden.

Signale dürfen nicht zwischen Weichenspitze und Grenzzeichen einer Weiche oder Kreuzung angeordnet werden (Bild 4). Dies schränkt die Spielräume in gestauchten Bahnhofsköpfen ein, soweit kleine Zwischenräume für Signale nicht frühzeitig in der Trassierung berücksichtigt werden.

Im Stuttgarter Hauptbahnhof [2] sollen darüber hinaus Signale zwischen letzter spitz befahrener Weiche und Bahnsteig vermieden werden, damit ein am Bahnsteig strandender Zug noch umfahren werden kann. Im Rahmen des Sicherheits- und Rettungskonzepts sind ferner in bestimmten Bereichen signalbedingte Halte (und damit Signale) zu vermeiden. Nicht zuletzt schließen sich im oS-Betrieb manche Betriebsverfahren noch aus, beispielsweise Vereinigen von Zügen und Nachfahren am Bahnsteig (mit Hochleistungsblock).

## 2 Restrictions

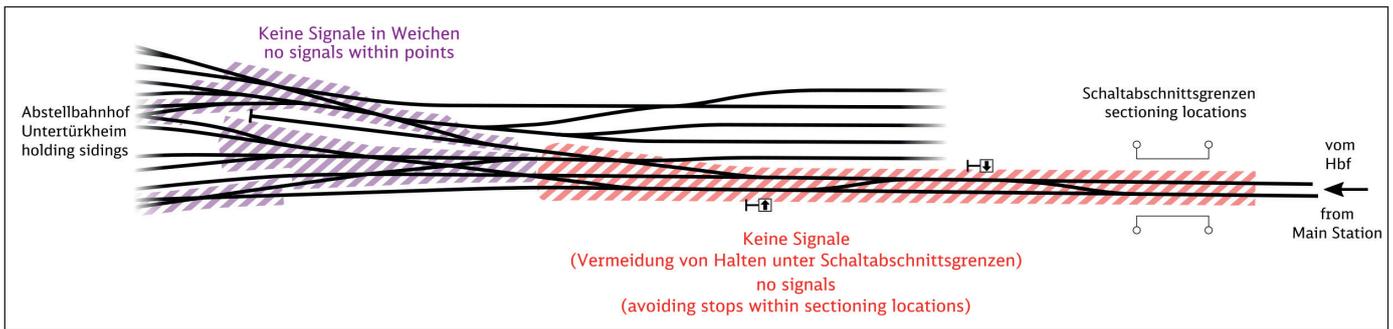
ETCS L2 enables signal distances of almost any length to be implemented and performance to be increased. There are, however, some limits to this in practice. Location markers in Germany cannot be placed in the overlaps of a previous signal or within the sighting distance of a distant signal. If ETCS is implemented along with the PZB Class B system (and its overlaps of up to 300 m in length), this will considerably limit the leeway, especially in train stations. [4]

If ETCS is implemented without an underlying Class B system, these and other underlying restrictions (such as braking distances and signal visibility) will no longer apply. Nevertheless, some restrictions will remain even in an ETCS without Class B systems.

One major restriction is used to protect the overhead contact line: minimum distances to the signals must be observed on both sides of section boundaries, as required for the electrical separation of the train station and the open line, as well as at junctions (fig. 3). This is to prevent raised pantographs from stopping there or from passing through these areas at very low speeds in order to avoid a contact wire rupture due to large transit currents. Under today's rules, no signal can be set up within half a kilometre, especially in performance-critical station heads.

Signals must not be placed between the turnout point and the turnout or crossing clearance point (fig. 4). This poses a restriction in compressed station heads, provided small spaces for signals / location markers are not taken into account early on in the alignment.

The signals between the last facing switch and the platform in Stuttgart's main station [2] should also be avoided so that a train stranded on the platform can still be bypassed. As part of the safety and rescue concept, signal-related stops (and therefore signals) must also be avoided in certain areas. Finally, some operating procedures are currently not permitted in ETCS without Class B systems operations, for example train consolidation and closely following trains (with high-density block).



**Bild 4: Restriktionen für Anordnung von Signalen in der Einfahrt des Abstellbahnhofs Untertürkheim**

Fig. 4: Restrictions on the signal arrangement in the entry section to the Untertürkheim holding sidings

Quelle / Source: Deutsche Bahn

Soll in Bahnhofsgleisen sowohl regelmäßig (signalisiert) rangiert werden als auch Blockkennzeichen zur Verkürzung der Zugfolge aufgestellt werden, sind an jedem Blockkennzeichen auch Sperrsignale anzuordnen, um Signalisierungswidersprüche zu vermeiden.

Mit ETCS L2 bildet die Mindestlänge von Gleisfreimeldeabschnitten von 30 m eine allgemeine Untergrenze. Bei besonders kurzen Signalabständen ergeben sich dabei nach aktuellem Regelwerk auch Wechselwirkungen zur Fahrzeugausrüstung: Die bisherige pauschale Untergrenze von 100 m im ETCS-L2-Lastenheft (BTSF3) wurde für den DKS durch eine Regelung ersetzt, die von der zulässigen Höchstgeschwindigkeit, der Balisenverlegenauigkeit sowie der EVC-Reaktionszeit (European Vital Computer, EVC) abhängig ist. Damit soll im Wesentlichen sichergestellt werden, dass ein Position Report am Signal (zur Haltfallbewertung) zuverlässig gesendet wird, bevor das nächste Signal erreicht und ein weiterer Position Report ausgelöst wird. Um auf rein von S-Bahnen und Nahverkehrszügen befahrenen Gleisen derart kurze Blöcke zu realisieren, werden Triebfahrzeuge mit einer gegenüber der ETCS-Spezifikation verkürzten EVC-Verarbeitungszeit eingesetzt. In anderen Bereichen können, ohne besondere Anforderungen, beispielsweise bei zulässigen 120 km/h noch 65 m zugelassen werden.

### 3 Entwicklung einer Blockteilung für maximale Leistungsfähigkeit

Ähnlich der weiterentwickelten Linienförmigen Zugbeeinflussung (LZB) in der Variante CIR-ELKE eröffnet ETCS L2 die Möglichkeit, mit Blockkennzeichen die Blockteilung zu verdichten. In der Außenanlage sind dazu lediglich Gleisfreimeldegrenzen und fixe Tafeln erforderlich; zusätzliche Lichtsignale, PZB-Magneten und dazugehörige Verkabelung sind jedoch nicht nötig. Wenn ohnehin vorhandene Gleisfreimeldegrenzen (an Weichen, an Signalen der Gegenrichtung) genutzt werden, beschränkt sich der Aufwand auf eine Balise und eine Tafel. Wenn, wie im DKS, ohnehin neue LST aufgebaut wird, liegt der Aufwand im niedrigen fünfstelligen Euro-Bereich.

Die Entwicklung einer Blockteilung für bestimmte Zugfolgefälle und Zugfolgezeiten wird bereits seit über 100 Jahren praktiziert [5]. Im Gegensatz zu konventioneller Ausrüstung mit Lichtsignalen sinkt jedoch bei dem Einsatz von ETCS L2 der Aufwand für eine dichte, auf Leistungsfähigkeit optimierte Blockteilung deutlich, zudem entfallen insbesondere bei dem Verzicht auf eine Doppelausrüstung mit Lichtsignalen zahlreiche Zwangspunkte (siehe Abschnitt 2). Zeitgleich sind durch die individuelle fahrzeugseitige Berechnung von Bremskurven bei ETCS L2 auch deutlich mehr Einflussfaktoren zu be-

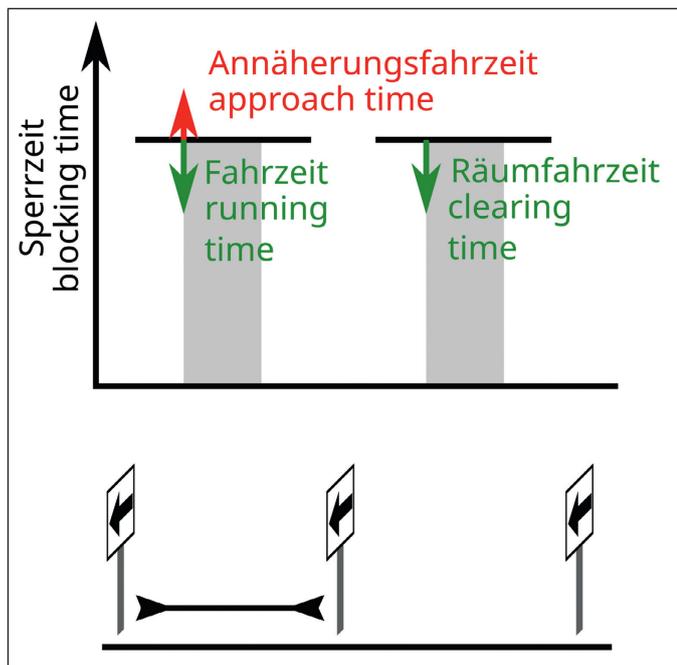
If shunting is to be regularly carried out on station tracks and location markers are to be set up to shorten the train sequence, lineside shunting signals must also be placed on each location marker in order to avoid any signalling contradictions.

With ETCS L2, the 30 m minimum length of the track vacancy detection sections constitutes the general lower limit in Germany. Under the current set of rules, there are also interactions with the vehicle equipment in the case of particularly short signal intervals: the previous general lower limit of 100 m in the DB Netz ETCS L2 specification (BTSF3) has been replaced for DKS with a regulation that has refined the minimum limit. It now depends on the maximum permitted speed, the balise location accuracy and the EVC (European Vital Computer) delays. The main aim of this is to ensure that a position report is reliably sent to the signal/location marker (for the evaluation of the signal closure) before the next signal is reached and yet another position report is triggered. In order to achieve such short blocks (on tracks that are only used by S-Bahn and local trains), traction units need to have been equipped with EVC processing times that are shorter than those defined in the ETCS specification. In other areas (without any special requirements), the block section lengths can still be reduced, for example to 65 m on a 120 km/h track.

### 3 Creating a block division for maximum performance

Just like a sophisticated Class B system (such as LZB in the CIR-ELKE variant), ETCS L2 enables high-density block division with location markers. With regard to field elements, only track vacancy detection and fixed boards are required, while additional lineside (light) signals, Class B elements/PZB magnets and associated cabling are not. If existing track vacancy detection limits (on switches or signals in the opposite direction) are used, the effort is limited to a mere balise and a board. If, as in the DKS, a new signalling system is set up anyway, the costs are in the low five-digit Euro range.

The development of a block division for certain train pairs and headway requirements has been practiced for over 100 years [5]. In contrast to conventional equipment with lineside (light) signals, however, the costs required for a dense, performance-optimised block division are significantly reduced when ETCS L2 is used; in addition, numerous constraint points are dispensed with, especially when no underlying Class B system needs to be considered (see section 2). At the same time, the individual on-board calculation of the braking curves for ETCS L2 also means that significantly more influencing factors have to be taken into account, some of which



**Bild 5: Auswirkungen der Verkürzung eines sehr kurzen Blockabschnitts auf die Sperrzeit**

Fig. 5: The effects of a very short block section on the blocking time

Quelle / Source: Deutsche Bahn

rücksichtigen, welche teils einen erheblichen Einfluss auf die Zugfolgezeiten und damit die Blockteilung haben [9]:

- aktuelle Geschwindigkeit und Beschleunigung
- örtliche Längsneigung
- Länge von Durchrutschwegen bzw. Abstand zum Gefahrpunkt, Release Speed
- ETCS-Bremsmodelle und ETCS-Version der Fahrzeuge
- Ortungsfehler.

In der Literatur beschriebene Verfahren zur Entwicklung einer Blockteilung für die ETCS-L2-Ausrüstung basieren daher grundsätzlich auf einem iterativen Vorgehen (vgl. [6, 12]).

Bei kurzen Signalabständen erstreckt sich der Durchrutschweg einer Teilzugstraße über die gesamte Länge der folgenden Teilzugstraße. Die Verkürzung eines Abschnitts führt immer zu einer kürzeren Fahrzeit im Abschnitt. Gleichzeitig führen Verkürzungen auf unter 70 m auch zu einem kürzeren Durchrutschweg des Startsignals. Dies kann zu einer Verlängerung der ETCS-Bremskurven auf das Startsignal und damit zu einer Verlängerung der Annäherungsfahrzeit führen. Darüber hinaus beeinflusst die Länge eines Abschnitts die Räumfahrzeit des vorherigen Abschnitts (Bild 5).

Diese Abhängigkeiten und gegenläufigen Effekte erfordern im Bereich solcher sehr kurzer Abschnitte eine Entwicklung der Blockteilung nach der Methode „Versuch und Irrtum“.

### 3.1 Ziel der Optimierung der Blockteilung, Prämissen

Ziel der Optimierung der Blockteilung ist eine Verschiebung und Ergänzung von Signalen so, dass die minimale Zugfolgezeit minimiert wird. Damit wird die Blockoptimierung auf die für die minimalen Zugfolgezeiten maßgebenden Bereiche begrenzt.

Die Betrachtung erfolgt fahrplanunabhängig, über alle möglichen Kombinationen der Züge des Betriebsprogramms. Es ist dabei nicht nötig, sämtliche Fahrzeugvarianten und Zugkompositionen im Detail zu betrachten. Zugbildungen, die hinsichtlich der maßgebenden

have a considerable influence on the headway and thus the block division [9]:

- the current speed and acceleration
- the gradients
- the length of any overlaps / distance to the danger point / release speed
- ETCS braking models and ETCS version of the vehicles
- odometry accuracy.

The methods described in the literature for developing a block division for ETCS L2 are therefore primarily based on an iterative approach (cf. [6, 12]).

In the case of short signal intervals, the overlap of a partial route extends over the entire length of the following partial route. A shortened section always leads to a shorter travel time in the section. At the same time, shortening to less than 70 m also leads to a shorter overlap for the start signal. This can lead to an extension of the ETCS braking curves up to the start signal and thus to an extension of the approach time. In addition, the length of a section also influences the clearance time of the previous section (fig. 5).

These dependencies and opposing effects require the block division to be developed according to the “trial and error” method in very high-density block areas.

### 3.1 The goal of optimising the block design, premises

The aim of optimising the block division is to shift and add signals in such a way that the headways are minimised. This means that the block optimisation is limited to those areas that are decisive for the headways.

The examination is conducted irrespective of timetables and across all possible train pairs in the operating plan. It is not necessary to look at all vehicle variants and train compositions in detail. Train formations with similar relevant properties (length, acceleration, ETCS braking models) can be summarised, if necessary.

No accompanying operational simulations are carried out during the development of the block division, as they would be significantly more complex than evaluating the headways. Furthermore, they would not allow for quick iterations, nor could any further relevant information be expected. Nevertheless, the capacity and operating quality of the optimised infrastructure is subsequently verified as a whole for the planned timetable via an operating simulation.

### 3.2 Input data and tools

The infrastructure and the operating plan are modelled in RailSys based on the currently planned infrastructure. In addition, constraints are also put down.

In the case of very short signal intervals, special attention is paid to any input variables that are often not (or not fully) considered in standard software, such as odometry accuracy or current acceleration. Therefore, the results of the block optimisation have been further verified for selected areas using dedicated VBA and Python scripts according to the European specifications.

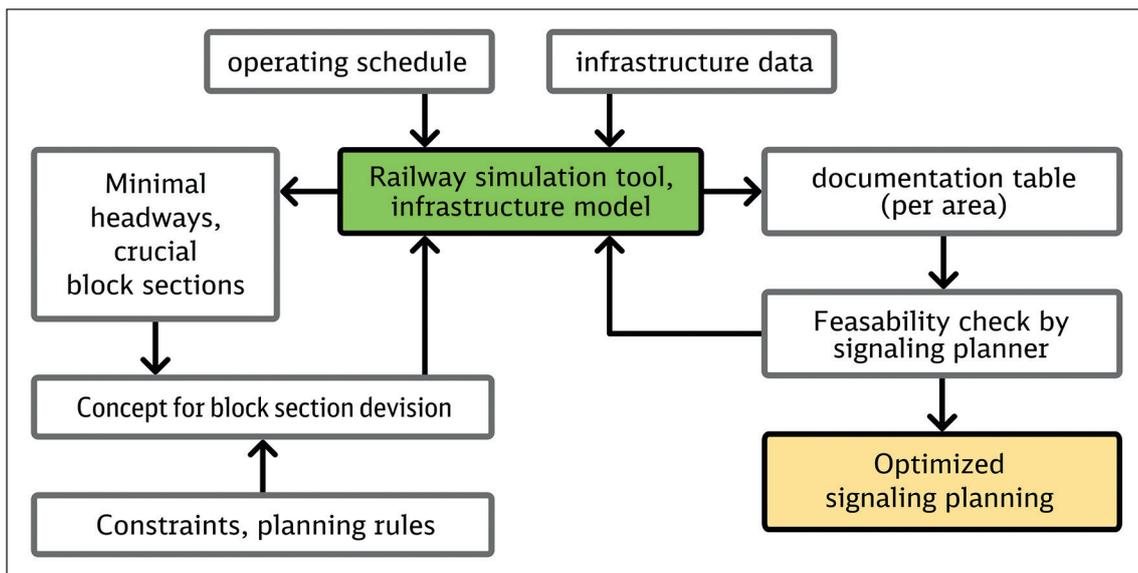
### 3.3 The processing steps / processing sequence

Existing signalling planning or minimal planning (only mandatory signals protecting groups of points or other danger points) constitutes the starting point for the block optimisation process (shown in fig. 6).

The decisive block section is determined for each evaluation section and for each train pair using the RailSys blocking time calculation and a specially created evaluation tool. Routes with

**Bild 6: Grundsätzlicher Ablauf bei der Entwicklung einer optimierten Blockteilung**

Fig. 6: The basic process for developing an optimised block division  
Quelle / Source: Deutsche Bahn



Eigenschaften (Länge, Beschleunigungsvermögen, ETCS-Bremsmodell) ähnlich sind, können ggf. zusammengefasst werden. Während der Entwicklung der Blockteilung werden keine begleitenden Betriebssimulationen (Eisenbahnbetriebswissenschaftliche Untersuchung, EBWU) durchgeführt, da diese gegenüber der Betrachtung minimaler Zugfolgezeiten deutlich aufwendiger wären, keine schnellen Iterationen ermöglichen und auch keine zusätzlichen Erkenntnisse erwarten lassen. Leistungsfähigkeit und Betriebsqualität der optimierten Infrastruktur werden gleichwohl im Anschluss gesamthaft für den vorgesehenen Fahrplan über eine Betriebssimulation nachgewiesen.

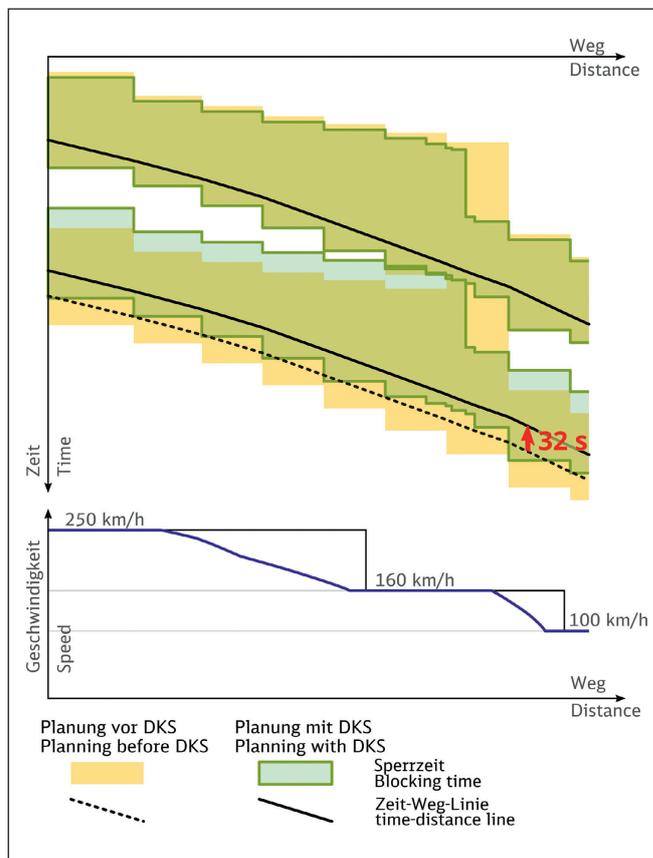
**3.2 Eingangsdaten und Werkzeuge**

Auf Basis des aktuellen Planungsstands bzw. von Planunterlagen des Bestands werden die Infrastruktur und das Betriebsprogramm in RailSys modelliert. Zusätzlich werden die Zwangspunkte erfasst. Bei sehr kurzen Signalabständen gewinnen dabei auch Eingangsgrößen an Relevanz, die in Standardsoftware oft nicht oder nur vereinfacht berücksichtigt werden, z.B. der Ortungsfehler oder die aktuelle Beschleunigung. Um die Ergebnisse der Blockoptimierung abzusichern, wurde daher die Bremskurvenberechnung gemäß der europäischen Spezifikation in eigenen VBA- und Python-Skripten für ausgewählte Bereiche nachgebildet.

**3.3 Bearbeitungsschritte / Bearbeitungsreihenfolge**

Grundlage für den in Bild 6 dargestellten Ablauf der Blockoptimierung sind eine vorhandene LST-Planung oder eine minimale LST-Planung (nur zwingend nötige Signale zur Deckung von Weichenbereichen und anderen Gefahrstellen). Über die Sperrzeitenberechnung von RailSys und ein eigens erstelltes Auswertungswerkzeug wird für jeden Auswerteausschnitt und jeden Zugfolgefall jeweils der für die Zugfolge maßgebende Blockabschnitt ermittelt. Auf Strecken mit mehreren verschiedenen Zugcharakteristiken ergeben sich häufig verschiedene maßgebende Abschnitte für unterschiedliche Zugfolgefälle. Darauf aufbauend wird die Blockteilung durch Verschiebung oder Ergänzung von Signalen so modifiziert, dass eine Reduzierung der Sperrzeit der maßgebenden Abschnitte zu erwarten ist. Für die so modifizierte Blockteilung werden anschließend die minimalen Zugfolgezeiten neu berechnet, um den Erfolg der Änderung zu überprüfen und die nun maßgebenden Blockabschnitte zu ermit-

several different train characteristics often include different decisive sections for different train pairs. Based on this, the block division is modified by shifting or adding signals so that a reduction in the blocking time of the relevant sections can be expected. The headways are then recalculated for the block divisions that have been modified in this way in order to evaluate the benefit of the change and determine the



**Bild 7: Verkürzung der Zugfolgezeit am Geschwindigkeitswechsel durch Verdichtung der Blockteilung und Optimierung der Laufzeiten**  
Fig. 7: Shortening the headway at a speed change by optimising the block division (including optimised system delays) Quelle / Source: Deutsche Bahn

teilen. Dieser Ablauf wird so lange wiederholt, bis keine weitere Verkürzung der minimalen Zugfolgezeiten mehr erreicht wird.

Wenn die maßgebenden Blockabschnitte aufgrund von Zwangspunkten bzw. Planungsregeln nicht weiter verkürzt werden können oder die Ergänzung zusätzlicher Signale nur noch zu einer sehr geringen Reduzierung der Zugfolgezeit führt, ist die Optimierung für einen Abschnitt abgeschlossen.

Während bei der betrieblich geprägten Entwicklung der Blockteilung keine vollständige LST-Planung durchgeführt werden kann, sind die wichtigsten Anforderungen jedoch bereits mit zu berücksichtigenden Änderungen bei der späteren Prüfung durch LST-Fachplaner möglichst zu vermeiden. Dies sind insbesondere:

- erforderliche Durchrutschwege bzw. Gefahrenpunktabstände
- Mindestabstand zu Schaltabschnittsgrenzen
- Mindestlängen von Blockabschnitten

Ein Datenaustausch zwischen betrieblicher Optimierung und LST-Planung über die PlanPro-Schnittstelle ist vorgesehen, ist jedoch noch nicht vollständig implementiert. Zunächst werden Angaben zu Signalstandorten mittels Excel-Dateien ausgetauscht.

Da die wichtigsten Planungsregeln bereits in der Optimierung berücksichtigt werden, kommt es bei der Umsetzung in der LST-Planung nur zu geringen Änderungen. In der Regel reicht daher bei der Abstimmung mit dem LST-Planer eine einzige Schleife.

#### 4 Ergebnisse

Mit der mikroskopisch optimierten Blockteilung können die Zugfolgezeiten auf der Stammstrecke gegenüber der S-Bahn-ETCS-Untersuchung um nochmals 2 % verkürzt und gleichzeitig die Zahl der Signale um 10 % reduziert werden. In den Bereichen des Fern- und Regionalverkehrs werden die mittleren Mindestzugfolgezeiten gegenüber der bisherigen Planung um 5 bis 55 Sekunden reduziert. Die theoretische Leistungsfähigkeit kann, bezogen auf Streckenabschnitte, um ca. 10 % erhöht werden. Die optimierte Blockteilung trägt damit wesentlich zur Maximierung der Leistungsfähigkeit bei. Bild 7 zeigt einen exemplarischen Vergleich der bisherigen und der optimierten Planung und der daraus resultierenden mittleren Mindestzugfolgezeiten am Beispiel zweier im Fildertunnel auf den Hauptbahnhof zufahrender ICE 3. Zusammengefasst lassen sich Blockverdichtungen insbesondere in folgenden Fällen:

- Streckenabschnitte vor und nach Verzweigungen (Abzweigstellen, Ein-/Ausfahrten von Bahnhöfen), auch bereits innerhalb der Bahnhofsköpfe (siehe auch [7])
  - im Bereich von Geschwindigkeitsschwellen (Wechsel auf eine deutlich niedrigere Höchstgeschwindigkeit, vgl. [6])
  - vor und nach Bahnsteigen
  - Unterteilung von Bahnsteiggleisen (bei sehr hohen Leistungsanforderungen, siehe auch [8])
  - näheres Heranrücken von Zügen an höhengleiche Kreuzungen.
- Erkenntnisse aus der Blockoptimierung im DKS fließen in das Betrieblich-Technische Zielbild (BTZ) der DSD und Musteraufgabenstellungen ein.

#### 5 Ausblick

Nachdem die bis 2025 zu errichtende LST-Infrastruktur Ende 2020 an Thales vergeben wurde, wird die mikroskopisch optimierte Blockteilung in die Ausführungsplanung (PT1) und zur Ausführung gebracht. Dabei fließen auch noch punktuelle Optimierungen mit ein, darunter die Nutzlängenoptimierung im Hauptbahnhof (vgl. [2]), ergänzende Infrastrukturmaßnahmen und weitere Erkenntnisse der Fahrplankonstruktion.

now decisive block sections. This process is repeated until the headways cannot be reduced any further.

The optimisation of the section is concluded, if the relevant block sections cannot be further shortened (due to constraints or planning rules) or if the addition of any additional signals would only lead to a very slight reduction in the headways.

While no full-scale signalling planning can be carried out during the block optimisation process, the most important constraints must, however, already be considered in order to avoid any changes during the later planning process. These particularly include:

- the length of the overlaps / distance to the danger points
- the minimum distances to the electrical section boundaries
- the minimum lengths of the block sections

An exchange of data between operating optimisation and signalling planning via the PlanPro interface is envisaged, but has not yet been fully implemented. The information on signal locations is initially exchanged using Excel files.

Since the most important planning rules have already been considered in the optimisation, there are only minor changes in the signalling planning implementation. Generally, a single iteration is sufficient when coordinating with the signalling planner.

#### 4 Results

Microscopically optimised block division has shortened the headways on the S-Bahn core by another 2 % (compared to the S-Bahn ETCS feasibility study), while the number of signals / location markers has been reduced by 10 %. In long-distance and regional traffic sections, the average headways will be reduced by 5 to 55 seconds in comparison with the initial plans. The theoretical capacity, based on open line sections, can be increased by around 10 %. Optimised block division thus contributes significantly to maximising performance. Fig. 7 shows an exemplary comparison of the previous and optimised planned and resulting mean headways using the example of two ICE 3 trains in the Filder Tunnel approaching the Stuttgart main station.

In summary, block optimisations are particularly worthwhile in the following cases:

- on open line sections near turnouts (junctions, entry and exit sections near stations) and station throats (also see [7])
- around speed thresholds (change to a significantly lower maximum speed, cf. [6])
- before and after platforms
- at the subdivision of platform tracks (with very high performance requirements, also see [8])
- on closer approaches to grade crossings.

The findings from the block optimisation in the DKS are being incorporated into the Operational and Technical Objectives (BTZ) and the DSD sample performance requirements.

#### 5 Prospects

At the end of 2020, the implementation, including the final signalling design, was awarded to Thales, based on the microscopically optimised block division. As such, some optimisations have also been incorporated, including the usable length optimisation at the main train station (cf. [2]), additional infrastructure measures and other findings from timetable construction.

Anfang 2024 wird der Versuchs- und Vorlaufbetrieb mit ETCS schrittweise beginnen, erste Züge werden von der mikroskopisch optimierten Blockteilung profitieren. Wenn im 2. Halbjahr 2025 die S-Bahn-Stammstrecke, der neue Hauptbahnhof und dessen Zulaufstrecken schrittweise mit ETCS oS in Betrieb gehen, wird sie ihre volle Wirkung entfalten. Während eine breite Mannschaft daran arbeitet, ETCS „ohne Signale“ erstmals in einem großen Knoten in Deutschland umzusetzen, wird in Werkstätten bereits an den darüber hinaus gehenden Schritten gearbeitet: Bis 2030 wird nicht nur das Umland mit DLST ausgerüstet, es werden auch grundlegende technische Weiterentwicklungen verfolgt [2]. Im Zielzustand wird mit ETCS (Hybrid) L3 die Gleisfreimeldung in weiten Teilen fahrzeugseitig erfolgen – in der im Rahmen des DKS geförderten Fahrzeugausrüstung ist die notwendige Zugvollständigkeits- und Längenerkennung (Train Integrity Monitoring System, TIMS) bereits mitberücksichtigt. Das größte Potenzial liegt gleichwohl im Kapazitäts- und Verkehrsmanagementsystem (Capacity and Traffic Management System, CTMS), das momentan im Rahmen der DSD entwickelt wird und nach 2025 im DKS zur Anwendung kommen soll. Damit können beispielsweise die tatsächliche Zuglänge, Bewegung des vorausfahrenden Zuges oder auch Stromabnehmerpositionen beim Einstellen einer Fahrstraße berücksichtigt werden und die Blockteilung in Bahnhöfen kann damit nochmals deutlich verdichtet werden. Am Ende dessen könnten Zugfolgezeiten im DKS nochmals deutlich verkürzt werden – im Hauptbahnhof Stuttgart beispielsweise um bis zu einer Minute. ■

#### LITERATUR | LITERATURE

- [1] Behrens, M.; Caspar, M.; Distler, A.; Fries, N.; Hardel, S.; Kreßner, J.; Lau, K.Y.; Pensold, R.: Schnelle Leit- und Sicherungstechnik für mehr Fahrwegkapazität, DER EISENBAHNINGENIEUR 6/2021 (<https://bit.ly/2SIQvY>)
- [2] Behrens, M.; Eckardt, E.; Kümmling, M.; Loeff, M.; Otrzonsek, P.; Schleede, M.; von Schaper, M.-L.; Wanstrath, S.: Auf dem Weg zum Digitalen Knoten Stuttgart: ein Überblick, DER EISENBAHNINGENIEUR 4/2020 (<https://bit.ly/3pyuXfg>)
- [3] Beyer, M.; Jurtz, S.; Langhof, M.; Reinhart, P.; Vogel, T.: ETCS als Trägersystem zur Leistungssteigerung bei der S-Bahn Stuttgart, SIGNAL+DRAHT 6/2019, S. 6–16 (<https://bit.ly/2MJ4zAY>)
- [4] Bojic, M.; El Hajj Sleiman, H.; Flieger, M.; Lies, R.; Osburg, J.; Retzmann, M.; Vogel, T.: ETCS in großen Bahnhöfen am Beispiel des Stuttgarter Hauptbahnhofs, SIGNAL+DRAHT 4/2021, S. 21–29 (<https://bit.ly/3fiozoJ>)
- [5] Brown, H.G.: The Signalling of a Rapid-Transit Railway. A Study of the Relation Between Signal Locations and Headway, The Journal of the Institution of Electrical Engineers 233, 1 May, 1914 (<https://doi.org/10.1049/jiee-1.1914.0046>)
- [6] Eichenberger, P.: Kapazitätssteigerung durch ETCS, SIGNAL+DRAHT 3/2007, S. 6–14
- [7] Eilers, F.; Ernst, W.: Die Installation des Hochleistungsblocks (HBL) mit linienförmiger Zugbeeinflussung, Die Deutsche Bahn 7/1992, S. 768–770
- [8] Hornemann, K.: Neue LZB bei der S-Bahn München, SIGNAL+DRAHT 9/2005, S. 14–20
- [9] Ingenieurgemeinschaft: Untersuchung zur Einführung von ETCS im Kernnetz der S-Bahn Stuttgart – Abschlussbericht, 31.01.2019 (<https://bit.ly/2Yyaw6h>)
- [10] Meier, H.; Bär, M.: Minimale Zugfolge und notwendige Pufferzeiten im Hochgeschwindigkeitsverkehr mit ETCS, Verkehrswissenschaftliche Tage 2005
- [11] Neuhäuser, R.; Reinhart, P.; Richter, R.; Vogel, T.: Digitaler Knoten Stuttgart: Digitalisierung ist kein Selbstzweck, Deine Bahn 3/2021, S. 22–27
- [12] Vignali, V.; Cuppi, F.; Lantieri, C.; Dimola, N.; Galasso, T.; Rapagnà, L.: A methodology for the design of sections block length on ETCS L2 railway networks, Journal of Rail Transport Planning & Management 13 (2020), 100160

The trial and run-up operations with ETCS will gradually begin at the beginning of 2024 and the first trains will benefit from microscopically optimised block division. Its full effect will become apparent when the S-Bahn core, the new main station and its access routes gradually convert to ETCS without Class B systems in the second half of 2025.

While a broad team is working on implementing ETCS (without Class B) in a large node in Germany for the first time, groundwork on the additional steps has already commenced: not only the surrounding area will be equipped with digital signalling by 2030, but fundamental technical developments will also be pursued [2]. ETCS (Hybrid) L3 will eventually mean that the track vacancy detection will be largely carried out on the vehicle side; the necessary Train Integrity Monitoring System (TIMS) is already included in the vehicle equipment funded as part of the DKS.

Nevertheless, the greatest potential lies in the Capacity and Traffic Management System (CTMS), which is currently being developed within the scope of the DSD and which is intended for use in the DKS after 2025. Using CTMS, parameters such as the actual train length, the motion of a train running ahead or pantograph positions can be taken into account when setting a route. This will lead to a further improved block division in stations. Ultimately, headway times in the DKS could be significantly shortened, for example by up to a minute at the Stuttgart Main Station. ■

#### AUTOREN | AUTHORS

##### Dr. Jonas Denißen

Entwicklung Steuersysteme / *Control Systems Development*  
DB Netz AG  
Anschrift / *Address*: Stresemannstr. 123, D-10963 Berlin  
E-Mail: [jonas.denissen@deutschebahn.com](mailto:jonas.denissen@deutschebahn.com)

##### Markus Flieger

Betriebliche Infrastrukturplanung Projekt Stuttgart-Ulm / *Operational Infrastructure Planning for the Stuttgart-Ulm Project*  
DB Netz AG  
Anschrift / *Address*: Presselstr. 17, D-70191 Stuttgart  
E-Mail: [markus.flieger@deutschebahn.com](mailto:markus.flieger@deutschebahn.com)

##### Michael Kümmling

Team Verkehr, Betrieb, Digitalisierung & Brandschutz / *Transportation, operations, digitalisation and fire safety team*  
DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH  
Anschrift / *Address*: Rappelenstr. 17, D-70191 Stuttgart  
E-Mail: [michael.kuemmling@deutschebahn.com](mailto:michael.kuemmling@deutschebahn.com)

##### Dr. Michael Küpper

Entwicklung Steuersysteme / *Control Systems Development*  
DB Netz AG  
Anschrift / *Address*: Stresemannstr. 123, D-10963 Berlin  
E-Mail: [michael.m.kuepper@deutschebahn.com](mailto:michael.m.kuepper@deutschebahn.com)

##### Sven Wanstrath

Team Verkehr, Betrieb, Digitalisierung & Brandschutz / *Transportation, operations, digitalisation and fire safety team*  
DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH  
Anschrift / *Address*: Rappelenstr. 17, D-70191 Stuttgart  
E-Mail: [sven.wanstrath@deutschebahn.com](mailto:sven.wanstrath@deutschebahn.com)