

# Innovationskooperation zur LST-Infrastruktur im Digitalen Knoten Stuttgart

## Innovative cooperation for the CCS infrastructure at the Stuttgart Digital Node

Peter Barth | Marc Behrens | Michael Kümmling | Steffen Mehnert | Thomas Nenke | Wolfgang Pieper | Martin Retzmann | Jochen Trinckauf

Zur Ausrüstung des ersten deutschen Eisenbahnknotens mit Digitalen Stellwerken (DSTW) und ETCS Level 2 ohne Signale (ETCS L2oS) beschreiten die Deutsche Bahn AG (DB) und Thales neue Wege der Zusammenarbeit. Im Lichte neuer und veränderter Anforderungen wurde insbesondere das ETCS-Level-2-Lastenheft auf den Prüfstand gestellt, die Eignung für Knoten nachgewiesen und einige gebotene Verbesserungen kooperativ entwickelt. Das Vorgehen hat sich für beide Seiten bewährt. Die Ergebnisse gehen in die generische Lastenheftentwicklung der DB Netz AG (DB Netz) ein, Potenziale für darüber hinausgehende Verbesserungen verbleiben. In der folgenden Ausgabe von SIGNAL+DRAHT folgt ein Beitrag zu einer ähnlichen Innovationskooperation zur Fahrzeugausrüstung.

### 1 Motivation

Im Rahmen des Digitalen Knotens Stuttgart (DKS) wird bis 2030 der Großraum Stuttgart mit DSTW, ETCS (European Train Control System) und weiteren Techniken ausgerüstet. Im Fokus steht zunächst der bis Ende 2025 schrittweise kommerziell in Betrieb gehende Kernbereich des Knotens mit dem neuen Hauptbahnhof und der S-Bahn-Stammstrecke (Bild 1). Bis 2030 folgen die übrige Region und weitere Techniken, beispielsweise automatisiertes Fahren mit Triebfahrzeugführer (ATO GoA 2), ETCS (Hybrid) Level 3, das Bahnkommunikationssystem FRMCS (Future Rail Mobile Communication System) sowie das Kapazitäts- und Verkehrsmanagementsystem CTMS. Erstmals in Deutschland wird damit ein großer Knoten – unter hohen Leistungsanforderungen und vielfältigen Betriebsabläufen – ohne konventionelle Licht-Haupt- und -Vorsignale ausgerüstet sein. Damit einhergehend werden zunächst rund 500 Triebfahrzeuge ausgerüstet. Das Vorhaben umfasst rund 500 Streckenkilometer – 1,5 % des DB-Netzes – und ist Teil des Starterpakets der Digitalen Schiene Deutschland (DSD), in dem bis 2030 die Grundlagen für die Ausrüstung des übrigen Netzes gelegt werden [1, 2, 3]. Es wird entsprechend dem Betrieblichen Technischen Zielbild [4] (BTZ) realisiert.

### 2 Neue Formen der Zusammenarbeit

Entwicklungsprojekten der DB Netz liegen betriebliche und technische Anforderungen zugrunde, anhand derer Lastenhefte ausgearbeitet werden. Die Lastenhefte sind wiederum Grundlage für die Entwicklung, Zulassung und Inbetriebnahme entsprechender Produkte und Systeme durch Lieferanten, die ihre spezifische Lösung in Pflichtenheften beschreiben. Die Schritte werden weitgehend sequenziell abgearbeitet. Iterationen zwischen den Phasen

Deutsche Bahn AG (DB) and Thales are breaking new ground in terms of cooperation in order to equip the first German railway node with digital interlockings and ETCS Level 2 without Class B systems. The ETCS Level 2 specifications in particular have been put to the test, their suitability for nodes has been demonstrated and some necessary improvements have been cooperatively developed in light of the new and changed requirements. The procedure has proved to be successful for both sides. The results are to be included in the DB Netz AG (DB Netz) generic specification development, while potential for further improvements remains. In the following issue of SIGNAL+DRAHT follows an article on a similar innovation cooperation on vehicle equipment.

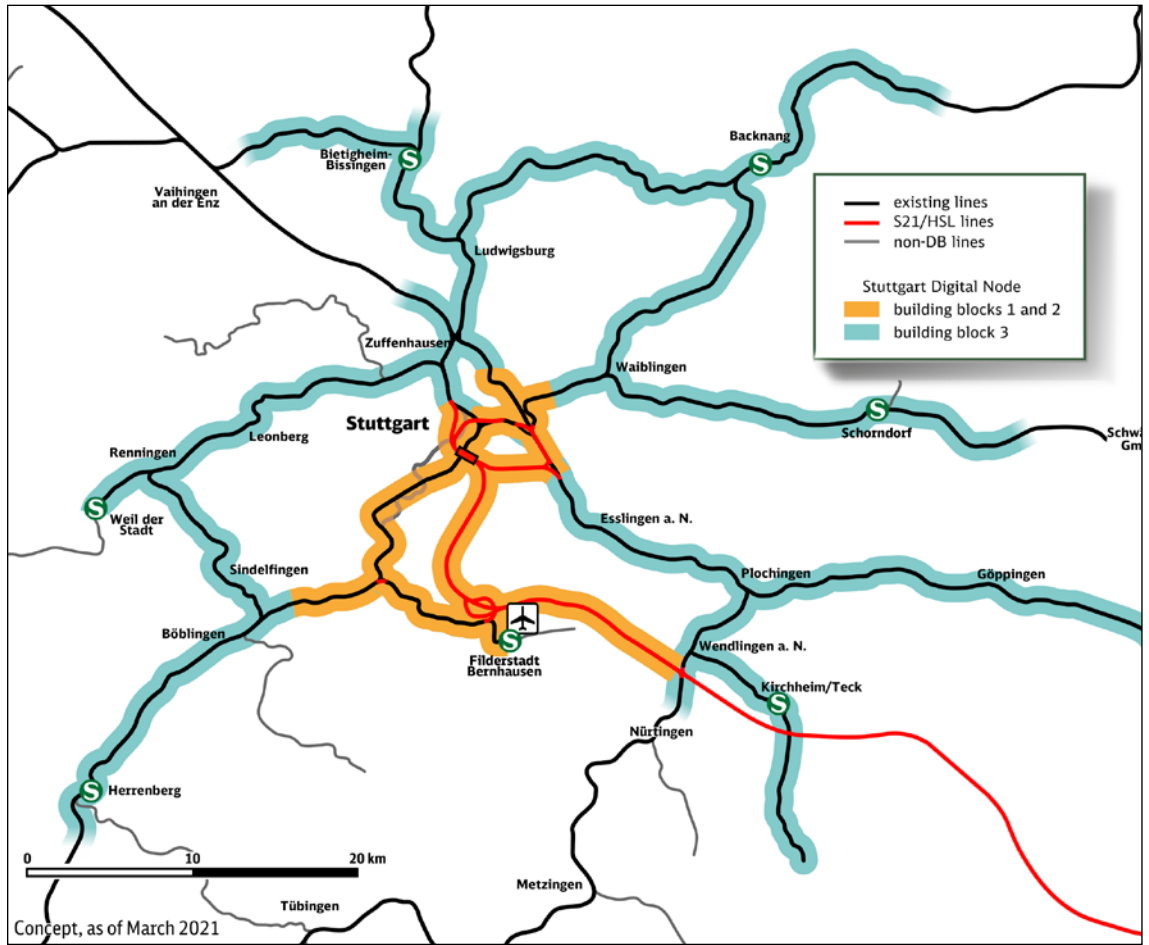
### 1 Motivation

The greater Stuttgart area will be equipped with digital interlockings, ETCS (European Train Control System) and further technologies by 2030 within the framework of the Digital Node Stuttgart (DKS). The initial focus is on the core area with the new Stuttgart main station and the S-Bahn core, which will gradually come into commercial operation by the end of 2025 (fig. 1). The rest of the region and further technologies, such as semi-automatic train operations (ATO GoA 2), ETCS (Hybrid) Level 3, the FRMCS rail communication system (Future Rail Mobile Communication System) and the Capacity and Traffic Management System (CTMS), will follow by 2030. For the first time in Germany, a large node with high performance requirements and diverse operating procedures will be equipped without any main and distant lineside signals. Some 500 traction units are initially to be equipped alongside the infrastructure. The project covers around 500 route kilometres – 1.5 % of the DB Netz – and is part of the Digital Rail for Germany (DSD) starter package, in which the foundations are being laid for equipping the rest of the network [1, 2, 3]. It is being implemented in accordance with DB's Operating-Technical Objectives [4] (BTZ).

### 2 New forms of cooperation

DB Netz development projects are based on operating and technical requirements that are used to draw up specifications. The specifications in turn form the basis for the development, approval and commissioning of the corresponding products and systems by suppliers, who describe their specific solution in requirement specifications. The steps are largely processed se-

**Bild 1: Bis 2025 wird zunächst der Kernbereich (Bausteine 1 und 2) ausgerüstet, bis 2030 folgt die übrige Region (Baustein 3).**  
 Fig. 1: The core area (building blocks 1 and 2) will be the first to be equipped by 2025, followed by the rest of the region (building block 3) by 2030. *Quelle / Source: DB*



Lastenheft und Pflichtenheft sind bei komplexen Sachverhalten aufgrund neuer Erkenntnisse und technischen Fortschrittes oftmals unausweichlich. Zwischen der Formulierung einer Anforderung und deren praktischen Anwendung können durchaus zehn Jahre liegen.

Das enge zeitliche Korsett zur Umsetzung des DKS bedingt, diesen althergebrachten Pfad zu verlassen: Zwischen der 2020 getroffenen Entscheidung für den DKS und der im Dezember 2025 geplanten Inbetriebnahme des neuen Stuttgarter Hauptbahnhofes (als Teil von Stuttgart 21) liegen gerade einmal fünf Jahre. Eine Verschiebung von Stuttgart 21 zur Einführung neuer Leit- und Sicherungstechnik (LST) kam ebenso wenig ernsthaft in Frage wie das Projekt mit einer (in vielfacher Hinsicht nachteiligen [5]) Doppelausrüstung in Betrieb zu nehmen.

Bereits im Rahmen der 2018/2019 geführten Diskussionen um die Ausrüstung eines großen Knotens ohne konventionelle Signale zeigte sich, dass die zur Ausschreibung zur Verfügung stehenden Lastenhefte (insbesondere das BTSF3 für ETCS) zwar den Betrieb mit L2oS auf der freien Strecke und einfachen Bahnhöfen abdecken würden, für große Knoten jedoch zumindest noch einige Fragen zu klären waren. Sowohl durch die Zahl der erwarteten Zugfahrten (über 1700 pro Tag bereits 2025 [6]) als auch durch Betriebsverfahren (z. B. Aufstarten) geht der Betrieb im Kern des DKS über die bisherigen Anwendungen von ETCS L2oS in Deutschland deutlich hinaus. Es zeigte sich, dass sich nicht alle offenen Punkte bis zur Vergabe vollumfassend klären ließen.

Vor diesem Hintergrund wurde eine Innovationskooperation (IK) von Auftraggeber und Auftragnehmer konzipiert und in die Vergabeunterlagen eingearbeitet. Der letztlich an Thales im Novem-

ber 2021 abgeschlossene Vertrag wurde schließlich in zwei Phasen erteilt. Iterationen zwischen der Anforderungsspezifikation und der Funktionsspezifikation sind in komplexen Situationen aufgrund neuer Erkenntnisse und technischen Fortschrittes unvermeidbar. Es kann bis zu zehn Jahren zwischen der Formulierung einer Anforderung und ihrer praktischen Anwendung liegen.

Das enge zeitliche Korsett zur Umsetzung des DKS bedingt, diesen althergebrachten Pfad zu verlassen: Zwischen der 2020 getroffenen Entscheidung für den DKS und der im Dezember 2025 geplanten Inbetriebnahme des neuen Stuttgarter Hauptbahnhofes (als Teil von Stuttgart 21) liegen gerade einmal fünf Jahre. Eine Verschiebung von Stuttgart 21 zur Einführung neuer Leit- und Sicherungstechnik (LST) kam ebenso wenig ernsthaft in Frage wie das Projekt mit einer (in vielfacher Hinsicht nachteiligen [5]) Doppelausrüstung in Betrieb zu nehmen. Bereits im Rahmen der 2018/2019 geführten Diskussionen um die Ausrüstung eines großen Knotens ohne konventionelle Signale zeigte sich, dass die zur Ausschreibung zur Verfügung stehenden Lastenhefte (insbesondere das BTSF3 für ETCS) zwar den Betrieb mit L2oS auf der freien Strecke und einfachen Bahnhöfen abdecken würden, für große Knoten jedoch zumindest noch einige Fragen zu klären waren. Sowohl durch die Zahl der erwarteten Zugfahrten (über 1700 pro Tag bereits 2025 [6]) als auch durch Betriebsverfahren (z. B. Aufstarten) geht der Betrieb im Kern des DKS über die bisherigen Anwendungen von ETCS L2oS in Deutschland deutlich hinaus. Es zeigte sich, dass sich nicht alle offenen Punkte bis zur Vergabe vollumfassend klären ließen.

Vor diesem Hintergrund wurde eine Innovationskooperation (IK) von Auftraggeber und Auftragnehmer konzipiert und in die Vergabeunterlagen eingearbeitet. Der letztlich an Thales im Novem-

ber 2020 vergebene Auftrag schließt auch die IK mit ein. Die Bearbeitung wurde Anfang 2021 begonnen und wird durch das CERSS-Kompetenzzentrum Bahnsicherungstechnik fachlich unterstützt. Im Fokus steht die Entwicklung von Lösungen für betrieblich-technische Szenarien, die noch nicht (vollständig) durch Lastenhefte abgedeckt sind oder für deren Umsetzung noch keine praktischen Erfahrungen vorliegen. Im Rahmen der IK werden Lasten- und Pflichtenhefte kooperativ und parallel entwickelt, um somit den Entwicklungszeitraum zu verkürzen. Dabei übernehmen Auftraggeber und Auftragnehmer gemeinsam Verantwortung für das Gelingen.

Eine weitere IK wurde im DKS auch für die Nachrüstung von 333 Triebzügen vereinbart [7]. In ähnlicher Weise wird im Rahmen der DSD auch in weiteren Projekten zusammengearbeitet [8, 9].

### 3 Themenfelder

Im Fokus der IK standen insbesondere die Umsetzung von „ETCS L2oS in Knoten“ sowie „Teilblock am Bahnsteig“ und damit verbundener betrieblich-technischer Anforderungen. Ein weiteres Element ist die Entwicklung der „Dispositiven Zufahrtsicherung“, einem Früherkennungssystem für Fahrzeuge mit gestörtem ETCS. Das ebenfalls geplante Thema „Bedingter Ausstieg bei ETCS L2oS“ erwies sich zu Beginn der IK als regelwerksseitig geklärt und war somit nicht weiter zu bearbeiten.

Die IK wurde generell gemäß CENELEC DIN EN 50126-1 entlang der Phasen 1 bis 5 geführt. In zwei Machbarkeitsstudien wurde zunächst die Umsetzbarkeit von ETCS L2oS in großen Bahnknoten sowie die Anwendung von Teilblock an Bahnsteigen unter den technischen und betrieblichen Randbedingungen im Bereich der DB Netz untersucht. Die beiden Machbarkeitsstudien umfassen hierbei die CENELEC-Phasen 1 bis 3 (Konzept- und Systemdefinition, Betrieblicher Kontext, Risikoanalyse/betriebliche Gefährdungsanalyse) und anteilig Phase 4 (Spezifikation und Systemanforderung). Im weiteren Verlauf wurden und werden die Phasen 4 und 5 (Architektur und Zuteilung der Systemanforderungen) durch die Beteiligten der IK durch Fortschreibung der entsprechenden Lasten- und Pflichtenhefte komplettiert.

Die Herangehensweise war nicht DKS-spezifisch, sondern generisch, sodass die Ergebnisse auch in weiteren Projekten verwend-

ly awarded to Thales in November 2020. The IC work started at the beginning of 2021 and has been technically supported by CERSS Dresden. The focus is on the development of solutions for operating-technical scenarios that are not yet (completely) covered by the specifications or for whose implementation no practical experience is yet available. Specifications and requirements are developed cooperatively and in parallel within the framework of the IC in order to shorten the development period. The client and the contractor take joint responsibility for the success in this process.

Another IC has been set up in the DKS for the retrofit of 333 multiple units [7]. Similar cooperation is also taking place in other DSD projects, such as Sensors4Rail and Digital S-Bahn Hamburg [8, 9].

### 3 Topics

The IC particularly focused on the implementation of “ETCS Level 2 without Class B in nodes” and “short blocks at platforms” and the associated operating-technical requirements. Another element involves the development of an early detection system for vehicles with faulty ETCS. The likewise planned topic of “lineside signals for conditional transitions to Class B in ETCS-only areas” was clarified by the regulations at the beginning of the IC and therefore did not have to be dealt with any further.

The IC was generally conducted according to CENELEC DIN EN 50126-1 along phases 1 to 5. Two feasibility studies dealt with implementing ETCS L2 (without Class B) in large railway nodes as well as short blocks at platforms, while considering the technical and operating boundary conditions in the DB Netz. The two studies comprised CENELEC phases 1 to 3 (concept and system definition, the operating context, the risk analysis/operating hazard analysis) and proportionally phase 4 (specifications and system requirements). Phases 4 and 5 (the architecture and system requirement allocation) were subsequently and are being completed by the IC participants by means of updating the corresponding requirements and functional specifications.

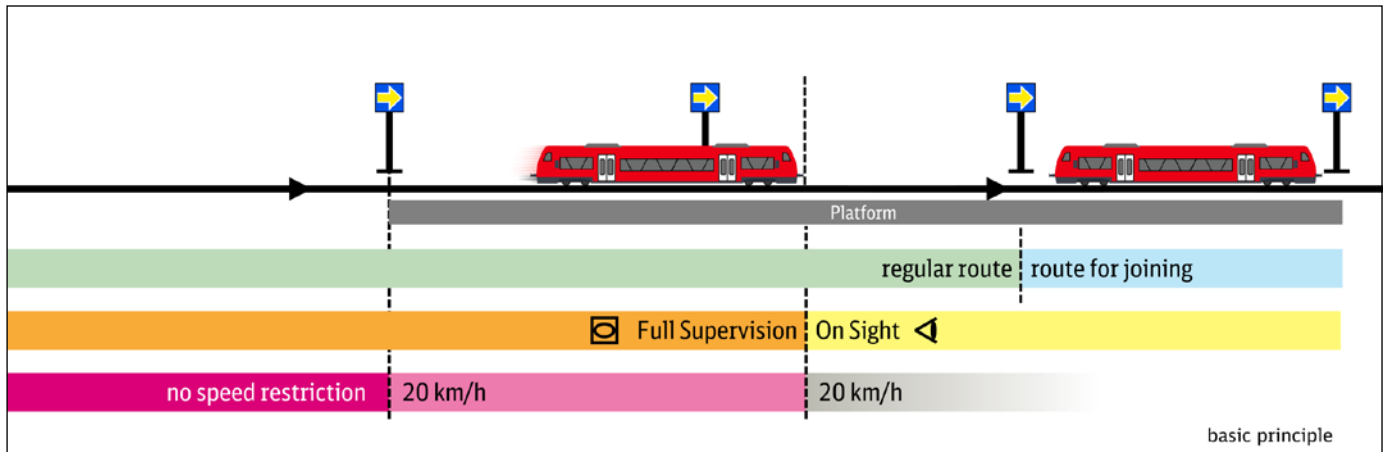
The approach was not DKS-specific, but generic, so that the results can also be used in other projects. Simplifications were

Wert	bislang	L2oS in Knoten
Rate der Signalzugfahrten	37 h <sup>-1</sup>	50 h <sup>-1</sup>
Rate der Annäherung an ein Signal in der Betriebsart SR	4 · 10 <sup>-3</sup> h <sup>-1</sup>	5,5 · 10 <sup>-3</sup> h <sup>-1</sup>
Anteil der Signalabschnitte ≤ 400 m für eine Zugfahrt	1 %	100 %
Rate der Vorbeifahrt am Halt zeigenden Signal	2,33 · 10 <sup>-6</sup> h <sup>-1</sup>	3,15 · 10 <sup>-6</sup> h <sup>-1</sup>
Wahrscheinlichkeit, dass das Zielsignal Flankenschutz bieten kann	1 %	60 %
Anteil von Teilblöcken in der Größenordnung der SR-Zuordnungsdistanz	1 %	15 %
Wahrscheinlichkeit, dass sich vorausfahrendes Fahrzeug im relevanten Teilblock befindet	1 %	5 %

Tab. 1: Beispiele für Werte, die sich bei Berücksichtigung von L2oS in Knoten ändern

Value	To date	ETCS L2 in large nodes
Rate of signals passed by a train	37 h <sup>-1</sup>	50 h <sup>-1</sup>
Rate of approaches to a signal in SR mode	4 · 10 <sup>-3</sup> h <sup>-1</sup>	5,5 · 10 <sup>-3</sup> h <sup>-1</sup>
Proportion of signal sections ≤ 400 m	1 %	100 %
Rate of signals passed at danger	2,33 · 10 <sup>-6</sup> h <sup>-1</sup>	3,15 · 10 <sup>-6</sup> h <sup>-1</sup>
Probability that the target signal can provide flank protection	1 %	60 %
Proportion of short blocks in the order of the SR allocation distance	1 %	15 %
Probability that a vehicle ahead is in the relevant short block	1 %	5 %

Tab. 1: Examples of values that change when DB's ETCS Level 2 rules are applied to large-scale nodes



**Bild 2: Ablauf des Stärkens mit Kuppelfahrstraße**

Fig. 2: Joining a train, using the new type of route

Quelle / Source: DB

bar sind. Vereinfachungen wurden zu Themen getroffen, die im Planungsgebiet nicht vorkommen, beispielsweise wurden ETCS Level 1 und Bahnübergänge nicht betrachtet.

### 3.1 ETCS L2oS in Knoten

Aufgrund der besonderen Bedingungen des ETCS-Hochleistungsbetriebs in Knoten war es ein Kernstück der IK, in einer Machbarkeitsstudie (MBS) zu untersuchen, inwieweit ETCS L2oS im Knoten gemäß BTSF3 umsetzbar ist. Ein Schwerpunkt lag im Nachweis, dass das Sicherheitsziel von ETCS L2oS auch bei der Ausrüstung von Knoten eingehalten ist. Dazu wurden sämtliche Annahmen zu Basisereignissen, Raten und Wahrscheinlichkeiten aus der Betrieblichen Gefährdungsanalyse bzw. den Erläuterungen zur Gefährdungsbeherrschung darauf geprüft, ob sie durch ETCS L2oS im Knoten beeinflusst werden, beispielsweise durch die intensivere Nutzung von ETCS-Hochleistungsblock. Betrachtet wurden nur Veränderungen von Werten, die durch den Einsatz von ETCS L2oS im Knoten die Gefährdungsrate potenziell erhöhen und damit das Erreichen des Sicherheitsziels möglicherweise gefährden (siehe Tab. 1). Veränderungen von Basisereignissen, Raten und Wahrscheinlichkeiten, die die Gefährdungsrate potenziell reduzieren, wurden hingegen nur als bei Bedarf nutzbares Verbesserungspotenzial markiert, um die Nachweisführung auf das nötige Maß zu beschränken [10]. Im Ergebnis konnte nachgewiesen werden, dass auch bei Berücksichtigung von ETCS L2oS im Knoten die tolerierbare Gefährdungsrate nicht überschritten wird. Dabei wurden teils vereinfachte Annahmen zur sicheren Seite getroffen.

Die MBS wurde Ende 2021 erfolgreich abgeschlossen, die Machbarkeit von ETCS L2oS in Knoten bestätigt. Eine für den unwahrscheinlichen Fall des Scheiterns in der Ausschreibung noch vorgesehene Doppelausrüstung (Ein- und Ausfahrtsignale als Lichtsignale, jedoch Blockkennzeichen statt Blocksignalen) konnte damit zu den Akten gelegt werden.

Ein weiteres wesentliches Feld lag im Stärken, das nach dem bisherigen Regelwerk als Rangierfahrt und in der ETCS-Betriebsart Shunting (SH) durchgeführt wird. Regelmäßiges Rangieren erfordert zwingend die Aufstellung von Rangiersignalen, womit ETCS-L2oS-Bereiche mit Lichtperrsignalen ausgerüstet werden müssten. Dies lässt sich vermeiden, wenn in der Betriebsart On Sight (OS) gestärkt wird, wie dies auch im BTZ vorgesehen ist. Im Rahmen der IK wurde der neue Fahrstraßentyp der Kuppelfahrstraße entwickelt. Diese ermöglicht dem nachfahrenden Zug, im Bahnsteigbereich von Vollüberwachung (FS) in OS zu wechseln. Bild 2 verdeutlicht die Abläufe.

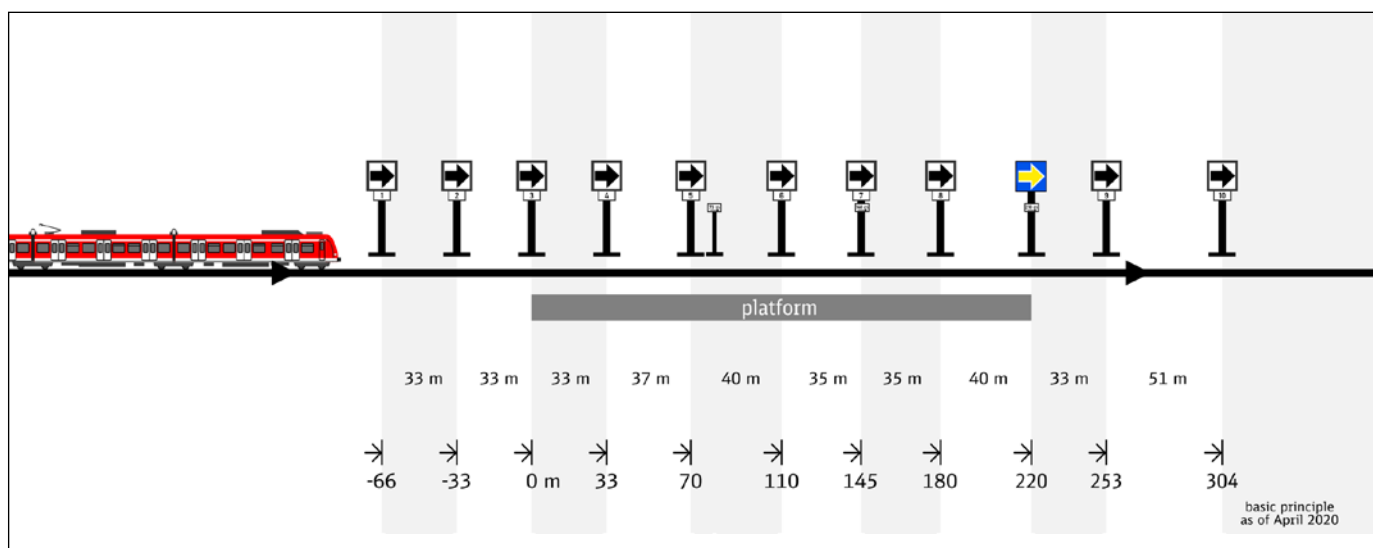
made for those topics that do not occur in the planning area. For example, ETCS Level 1 and level crossings were not considered.

### 3.1 ETCS Level 2 (without Class B) in nodes

Given the special conditions of the ETCS high-performance operations in nodes, a core part of the IC involved carrying out a feasibility study in order to investigate to what extent ETCS Level 2 (without Class B) can be implemented in nodes according to BTSF3. One focus was to prove that DB's ETCS Level 2 (without Class B) safety objectives can also be met when large-scale nodes are equipped. All the assumptions concerning basic events, rates and probabilities from the operating hazard analysis or the explanations on hazard control were checked for this purpose in order to see whether they were influenced by the application of ETCS Level 2 (without Class B) in large-scale nodes, for example due to the more intensive use of short blocks. Only those changes in values that potentially increased the hazard rate and thus potentially jeopardised the safety objective were considered (see tab. 1). Any changes in the basic events, rates and probabilities that potentially reduced the hazard rate, on the other hand, were merely marked as potential for improvement that could be used if required, so as to limit the verification to the necessary extent [10]. As a result, the tolerable hazard rate was proven not to have been exceeded when ETCS Level 2 (without Class B) was applied to a node. Simplified assumptions were made on the safe side in some cases.

The study was successfully completed at the end of 2021 and it confirmed the feasibility of ETCS Level 2 (without Class B) only operations in nodes. An additional Class B fall back (entry and exit signals as lineside signals with additional ETCS location markers), which had still been included in the tender for the unlikely event of a failure, was therefore able to be shelved.

Another important field involved joining (train parts), which is to be carried out in shunting mode (SH) according to the current DB regulations. Since regular/frequent shunting in turn requires lineside shunting signals, ETCS-only areas would have to be equipped with such light signals. This can be avoided by joining in On Sight (OS) mode, as the solution has also been defined in the BTZ. A new route type for train coupling was developed under the IC. This enables the following



**Bild 3: Mit kurzen Signalisierungsabschnitten unterteiltes Bahnsteiggleis auf der S-Bahn-Stammstrecke**

Fig. 3: Short blocks at a platform section in the S-Bahn core

Quelle / Source: DB

### 3.2 Teilblock am Bahnsteig

Um die betriebliche Leistungsfähigkeit in hochbelasteten Bereichen zu erhöhen, werden im DKS viele Bahnsteiggleise durch (teils sehr kurze) Signalisierungsabschnitte („Teilblock“, eigentlich Teilzugstraße) unterteilt [11]. Damit können beispielsweise die Mindestzugfolgezeiten auf den besonders hochbelasteten Bahnsteigen der S-Bahn-Stammstrecke (Bild 3) um rund eine halbe Minute verkürzt werden [12]. Der Aufwand ist dafür vergleichsweise gering (Achszählpunkt, Balise, Blockkennzeichen, Projektierung) und ist ein gleichermaßen effizienter wie effektiver Weg für substanzielle Leistungssteigerungen mit ETCS [11].

Damit verbunden sind vier betrieblich-technische Handlungsfelder:

- Um die technischen Laufzeiten möglichst kurz zu halten, ist eine Beschleunigung des Stellenstoßes geplant. An Blockkennzeichen ohne nachfolgende Weichen wird dabei sowohl auf die Zuglenkung als auch auf eine Fahrterlaubnis-Anforderung verzichtet. Das Stellwerk stellt die nächste Teilzugstraße schnellstmöglich ein, die ETCS-Zentrale (Radio Block Centre, RBC) erteilt auf dieser Grundlage eine Fahrterlaubnis (Movement Authority, MA). Dies ist eine wesentliche Grundlage, um in derartigen Hochleistungsbereichen letztlich Ende-zu-Ende-Systemlaufzeiten (Freifahren bis verarbeitete MA) von nur noch zwei Sekunden zu erreichen [3, 14].
- Die bislang an jedem Blockkennzeichen notwendige, teils komplexe Haltfallbewertung [15] lässt längere Systemlaufzeiten und (sehr seltene) unnötige Zwangsbremungen erwarten. Sie soll dabei an Blockkennzeichen ohne Weichen auf einen einfachen bedingten Nothaltauftrag (conditional emergency stop, CES) vereinfacht werden, der ohne weitere Prüfung durch die ETCS-Zentrale gesendet wird, wenn ein Signal/Blockkennzeichen in Halt gefallen ist.
- Die bisherige Regel, wonach ein (virtuelles) Vorsichtsignal (Zs 7) erst als MA in Betriebsart OS (auf Sicht) übermittelt werden darf, wenn das vorhergehende Signal bzw. Blockkennzeichen passiert wurde [16], würde dazu führen, dass ein Zug vor Verlängerung der MA nahezu in den Stillstand abbremsen müsste. Der Betrieb in der Rückfallebene (z. B. bei einer Gleisfreimeldestörung) würde somit wesentlich erschwert. Es wird eine Angleichung des RBC-Verhaltens an die Bedingungen für das Stellen von Zs 7 im Stellwerk und die betrieblichen Regelungen angestrebt.

train to change from full supervision (FS) to OS in the platform area (fig. 2).

### 3.2 Short blocks at the platforms

In order to reduce headways in high-density areas, many platform tracks in the DKS have been subdivided into (sometimes very short) blocks [11]. For example, headways on the S-Bahn core can be reduced by half a minute (fig. 3) [12]. The costs required for this is comparatively low (axle counter, balise, location marker, some software) and it is an equally efficient and effective way of achieving substantial performance increases with ETCS. [11]

This involves four operating and technical fields of action:

- the automatic route setting will be accelerated, so as to keep system delays as short as possible. Both the automatic route-setting trigger and the movement authority (MA) requests are skipped at location markers without any subsequent switches. The interlocking sets the next (short) route as soon as possible and the RBC (Radio Block Centre) then immediately issues an MA. This contributes to an end-to-end system delay (section cleared until MA processed) of eventually just two seconds in such high-density areas [3, 14].
- the RBC needs to evaluate every time a signal is set to stop (this is to counteract certain signals being set to stop due to hazards that the interlocking cannot detect as such and report to the RBC). This leads to longer system delays and (very rarely) to unnecessary emergency braking. This will be simplified at location markers without any points by means of a simple conditional emergency stop order (CES) sent by the RBC when a virtual signal is set to stop, thereby no longer requiring any further evaluation by the RBC.
- when running in degraded mode, an MA based on a (virtual) caution signal (Zs 7, driving on sight at up to 40 km/h) may currently only be issued when the previous marker board / location marker has been passed [16], which would lead to a train having to brake to almost a full standstill before the MA is extended. Operating in degraded mode (e.g. due to a faulty vacancy detection) would thus be made considerably more difficult. The aim is to align the RBC behaviour with the conditions for setting Zs 7 in the interlocking and the operating regulations.

Insbesondere die betriebliche Anforderung, in Gleisen mit „Teilblock“ auch wenden zu können, führte zu einer umfangreichen betrieblichen und technischen Betrachtung. Die heutigen Auflösebedingungen für Stellwerke in Deutschland führen zu Restverschlüssen (Fahrstraßenresten) beim Richtungswechsel, da das Drehen der Beanspruchungsrichtung bei Zugstraßen in geteilten Zielgleisen nicht möglich ist (Bild 4). Der Fahrdienstleiter muss deshalb nach Verlassen des Zuges mit einer Hilfsbedienung (FHA / FHAE) die Fahrstraßenreste auflösen. Planmäßige Wenden, beispielsweise in Bauzuständen, wären damit unzulässig.

In einer Reihe von Gesprächen zwischen Thales, verschiedenen zentralen Fachbereichen der DB (Bediensystem, Betrieb, ETCS, Stellwerk), dem Projekt DKS und CERSS wurden einige Lösungsvarianten in Diskussionen entwickelt, unter betrieblichen, technischen und Umsetzungsgesichtspunkten bewertet und letztlich gemeinsam entschieden, eine neue Fahrstraßenbesonderheit zu entwickeln: die Wendezugstraße.

Die Wendezugstraßen werden für die spezifischen Fahrstraßen geplant und mit der Syntax W,[Start].[Ziel] ausgeführt. Das Startsignal ist z. B. die ETCS-Halttafel (Ne 14) vor dem Bahnsteiganfang, das Zielsignal die ETCS-Halttafel am Bahnsteigende. Die Blockkennzeichen zwischen Start- und Zielsignal zeigen einen virtuellen Fahrtbegriff. Die Auflösebedingungen für diesen Fahrstraßentyp werden so gestaltet, dass mit der Auflösung des Durchrutschweges alle Fahrwegelemente durch das Stellwerk aufgelöst werden, ohne dass Bedienhandlungen erforderlich sind.

**3.3 Dispositive Zufahrtsicherung**

Betriebserfahrungen mit ETCS L2oS im In- und Ausland zeigen, dass die Ursache für einen Großteil der betriebsbehindernden ETCS-Störungen nicht in der Infrastruktur, sondern in den Fahrzeugen liegt. Als eine wesentliche von vielen Maßnahmen für einen robusten Hochleistungsbetrieb im DKS wurde daher die Dispositive Zufahrtsicherung (DZ) konzipiert. Etwa 10 Minuten vor dem Erreichen des Hauptbahnhofs bzw. der S-Bahn-Stammstrecke wird ein Funkaufbau kommandiert, und die anschließend in der ETCS-Zentrale auflaufenden Zugdaten werden durch die DZ mit Daten aus dem Leitsystem LeiDis verglichen. Baut ein zur Einfahrt in den L2oS-Bereich vorgesehener Zug keine Funkverbin-

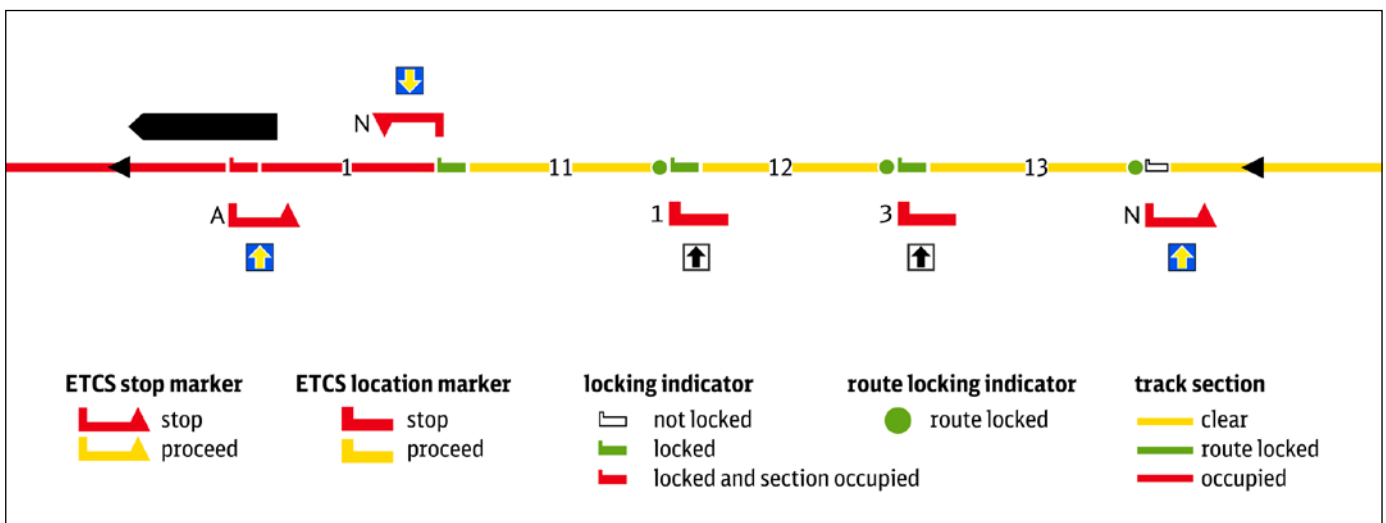
The operating requirement to change direction on tracks separated by location markers has particularly led to extensive operating and technical considerations. The current DB resolution conditions for interlockings lead to residual routes (route remnants) when changing direction on such separated tracks, as it is not possible to turn the “working direction” (fig. 4). Therefore, the dispatcher must use an emergency release after the train has left the track in order to resolve any route residues. Scheduled turns, for example during anticipated construction work, would thus be inadmissible.

A series of discussions between Thales, various central DB departments (control system, operations, ETCS, interlocking), the DKS project and CERSS looked into a number of solution variants, whereupon they were developed and evaluated from an operating, technical and implementation point of view and ultimately a joint decision was taken to develop a new route feature: the “route for reversing trains”.

These routes are planned for the specific routes and initiated by the dispatcher with a certain syntax. For example, the start signal is the marker board in front of the platform start and the destination signal is the marker board at the platform end. The location markers in between show a virtual proceed aspect. The release conditions for this type of route are designed in such a way that all the route sections are released once the overlap has been released.

**3.3 An early-warning system for faulty trains**

Operating experience with ETCS Level 2 (without Class B) in Germany and further countries has shown that the cause of the majority of ETCS disruptions that hinder operations does not lie in the infrastructure, but in the vehicles. An early-warning system (DZ) has therefore been designed as one of many measures for robust high-density operations in the DKS. A radio session is initiated by the balises about 10 minutes before reaching the main station or the S-Bahn core. The train data subsequently received at the RBC is compared by the DZ with the data from DB’s LeiDis control system. If a train scheduled to enter the ETCS-only area does not establish a radio session, a warning message is sent via the DZ so that



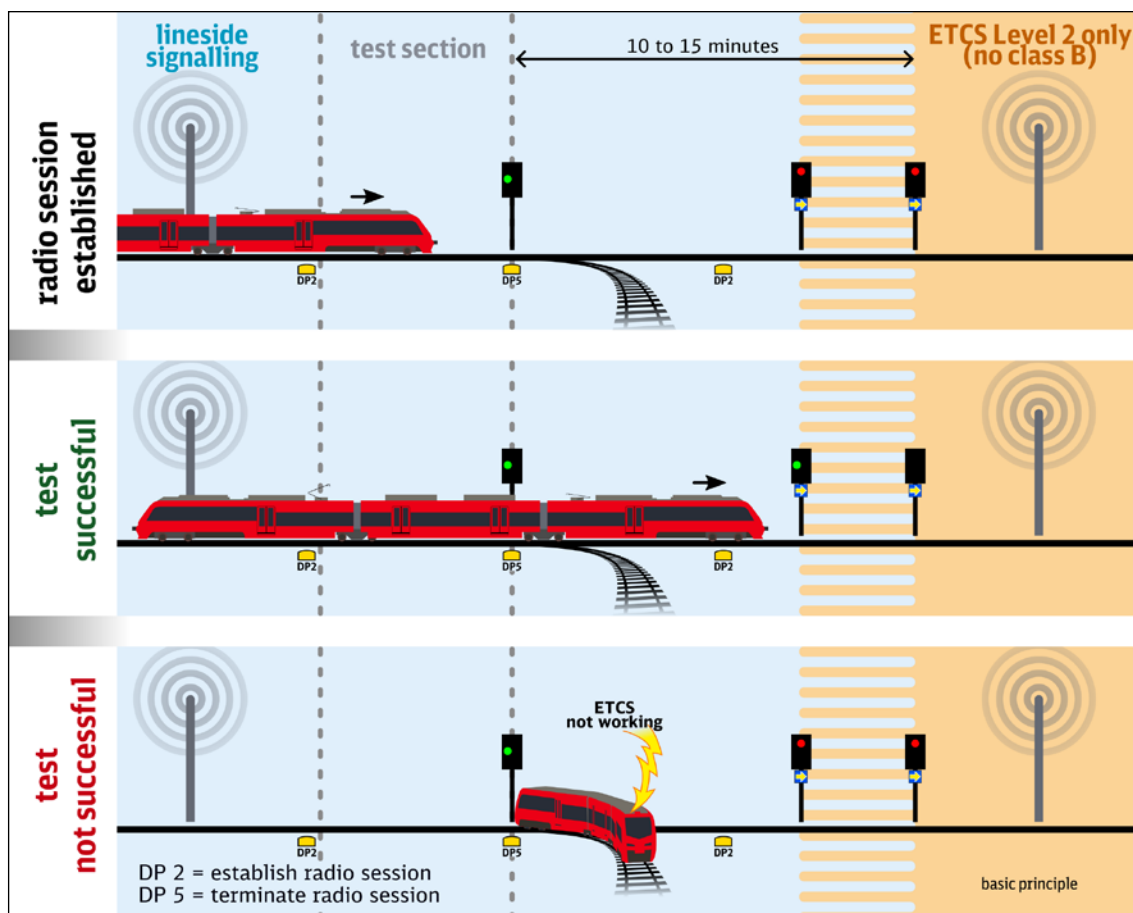
**Bild 4:** Nach einer Zugwende in dem mit Hochleistungsblock unterteilten Gleis verbleiben an den Blockkennzeichen 1 und 3 Restverschlüsse, die nur durch Hilfsbedienung aufgelöst werden können.

Fig. 4: After a train turn on a track with short blocks, the residual routes remain at location markers 1 and 3, which can only be released by an emergency release.

Quelle / Source: DB

**Bild 5: Funktionsprinzip der Dispositiven Zufahrtsicherung**

Fig. 5: The basic working principle of the early-warning system Quelle / Source: DB



dung auf, erfolgt über die DZ eine Warnmeldung, damit noch rechtzeitig vor dem Erreichen des ETCS-L2oS-Bereiches betriebliche Maßnahmen (wie Umleitungen) ergriffen werden können. Bild 5 verdeutlicht die Funktion. Die DZ ist als dispositives, nicht sicherheitsrelevantes System konzipiert, das die bisherige und sicherheitsrelevante Zufahrtsicherung (mit Zufahrtsicherungssignalen) ergänzt.

Im Rahmen der IK wurden die Systemdefinition und Risikoanalyse zur DZ bereits abgeschlossen. Die Finalisierung des Lastenheftes, die Vorbereitung zur 1:1-Übernahme der Lastenheftanforderungen in das Pflichtenheft, die Erstellung des Bedien- und Instandhaltungskonzeptes sowie die konkrete Realisierung im Projekt mit PT1 / PT2-Erstellung, Produktentwicklung, Umsetzung im Technikstandort sowie in den Randstellwerken sind im Gang.

#### 4 Resümee und Ausblick

Mit der Innovationskooperation zur Infrastruktur im DKS wurde der grundsätzliche Nachweis der Eignung von ETCS L2oS in großen Knoten in Deutschland erbracht. Zwischen ersten Zusammenkünften der interdisziplinären Arbeitsgruppen Anfang 2021 und erster fertiger Lastenheftänderungen (CR) Ende 2021 lag weniger als ein Jahr. Die teils intensiven Diskussionen waren letztlich vom gemeinsamen Willen geprägt, unter vielfältigen Randbedingungen und Restriktionen gute und rechtzeitig umsetzbare Lösungen zu finden.

Im Sinne der Sache hat dabei Thales oftmals vielfältige internationale Erfahrungen eingebracht sowie die Möglichkeiten der praktischen Umsetzbarkeit thematisiert. Die frühzeitige, offene und ergebnisorientierte Diskussion mit den verschiedenen Fachbe-

operating measures (such as diversions) can be implemented in good time before the train reaches the ETCS-only area. Fig. 5 illustrates the function. The DZ has been designed as an additional, non-safety-related system to supplement the safety-related transition protection (by lineside signals and PZB) that prevents trains without working ETCS from entering the ETCS-only area.

The system definition and risk analysis for the DZ have already been completed within the framework of the IC. The finalisation of the requirement specification, the preparations for the 1:1 transfer of the requirement specification's requirements into the functional specification, the creation of the operating and maintenance concept and the concrete realisation in the project involving the creation of the final signalling design, product development and implementation in the interlocking centre (TSO) as well as in the adjacent signal boxes are all in progress.

#### 4 Summary and outlook

The innovative cooperation on the infrastructure in the DKS has provided fundamental proof of the suitability of ETCS Level 2 (without Class B) in large nodes in Germany. Less than a year passed between the first meetings of the interdisciplinary working groups at the beginning of 2021 and the first finished changes (CR) to DB's BTSF3 specification at the end of 2021. The at times intensive discussions were ultimately characterised by the common will to find good solutions that could be implemented in good time under diverse boundary conditions and restrictions. Thales frequently contributed a wide range of international experience pertaining to the matter at hand and addressed issues of

reichen der DB führte dabei letztlich immer wieder zu Lösungen, die nicht nur einfacher umsetzbar, sondern auch kostengünstiger, leistungsfähiger, robuster und / oder sicherer sind. Der Blick über den Tellerrand tat dem Vorhaben somit gut.

Die DB hat dabei auch viele Erfahrungen gewonnen, wie die Umsetzung zahlloser weiterer Änderungen an diversen Lastenheften, die durch die Umsetzung von hunderten Anforderungen durch das BTZ und des damit einhergehenden Technologieentwicklungsplans (TEP) notwendig werden, gelingen kann. Die Erfahrungen waren ein wesentlicher Zündfunke für eine Reihe organisatorischer Änderungen, um auch innerhalb der DB effektiver und schneller zusammenzuarbeiten.

Mit den nun erarbeiteten Lastenheftergänzungen kann der Kern des Knotens Stuttgart 2025 mit L2oS in Betrieb gehen. Über diesen Meilenstein hinaus gilt es weiter zu optimieren, beispielsweise die automatisierte Einstellung der bislang nur manuell bedienbaren Wendezugstraßen.

Darüber hinaus verbleiben einige Potenziale: So zeigte sich beispielsweise im Rahmen der Arbeit zur Haltfallbewertung, wie durch die Auswertung von Zählständen und Zählrichtung des Achszählers – über eine reine Auswertung der Frei-Belegt-Information hinaus – zukünftig Verletzungen des Flanken-, Folge- oder Gegenfahrtschutzes praktisch immer durch das Stellwerk erkannt und der ETCS-Zentrale als solche gemeldet werden können (Bild 6). Bei reinem Betrieb in ETCS Level 2 können sowohl die gefährdete Zugfahrt als auch die gefährdende Zugfahrt jederzeit und unmittelbar mittels eines ETCS-Nothalts gestoppt werden – auch noch nach Vorbeifahrt am Signal. Damit könnte sich nicht nur die aufwendige Haltfallbewertung in der ETCS-Zentrale vollständig erübrigen, sondern auch auf heute vielfach notwendige zusätzliche Achszählpunkte (Bild 7) und Balisen verzichtet werden.

Die Innovationskooperation zur Infrastruktur im DKS hat sich damit grundsätzlich bewährt. Ein gewisses Risiko liegt dabei in zu spezifischen Lösungen, die für Folgeprojekte doch noch ange-

practical feasibility early on. On many occasions, the early, open and results-oriented discussions with the various specialist departments at DB ultimately led to solutions that are not only easier to implement, but are also more cost-effective, more efficient, more robust and / or safer. Looking beyond the end of one's nose was therefore good for the project.

DB also gained a lot of experience on how to successfully implement countless other changes to various specifications that have become necessary due to the implementation of hundreds of requirements by the BTZ and the accompanying Technology Development Plan (TEP). The experience provided a major spark for a number of organisational changes to working together more effectively and quickly within DB as well.

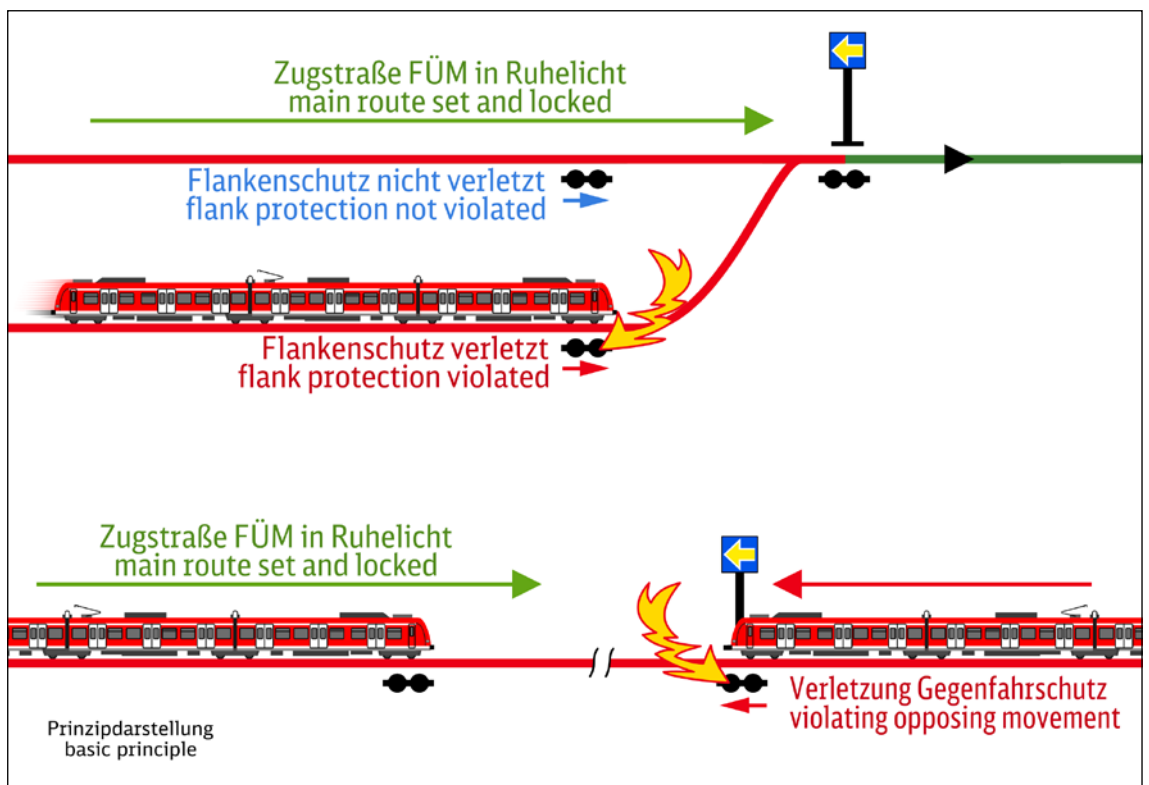
The specification supplements that have now been developed mean that the core of the Stuttgart node can commence ETCS Level 2 operations (without Class B) in 2025. Beyond this milestone, there is a need for further optimisation, such as automated route setting for reversing trains, which to date has only been able to be set manually in the control system.

In addition, there is still some remaining potential: for example, while working on the evaluation of signal closure, it became apparent how dangerous train movements can practically always be detected by the interlocking and reported as such to the RBC (fig. 6), if the counting statuses and direction information from the axle counter system are evaluated – by means of the pure evaluation of the free-occupancy information. In purely ETCS Level 2 operations, both the endangered and the endangering train can be stopped immediately at any time by means of an ETCS emergency stop – even after passing a signal. This would not only eliminate the need for the time-consuming evaluation of a signal closure in the RBC, but would also eliminate the need for any additional axle counting points (fig. 7) and balises that are often required in Germany today.

**Bild 6: Erkennung einer Flanken- oder Gegenfahrtschutzverletzung durch Auswertung von Zählständen und Zählrichtung**

Fig. 6: Detecting flanking or opposing movements by evaluating the counting statuses and direction information

Quelle / Source: DB /Thales

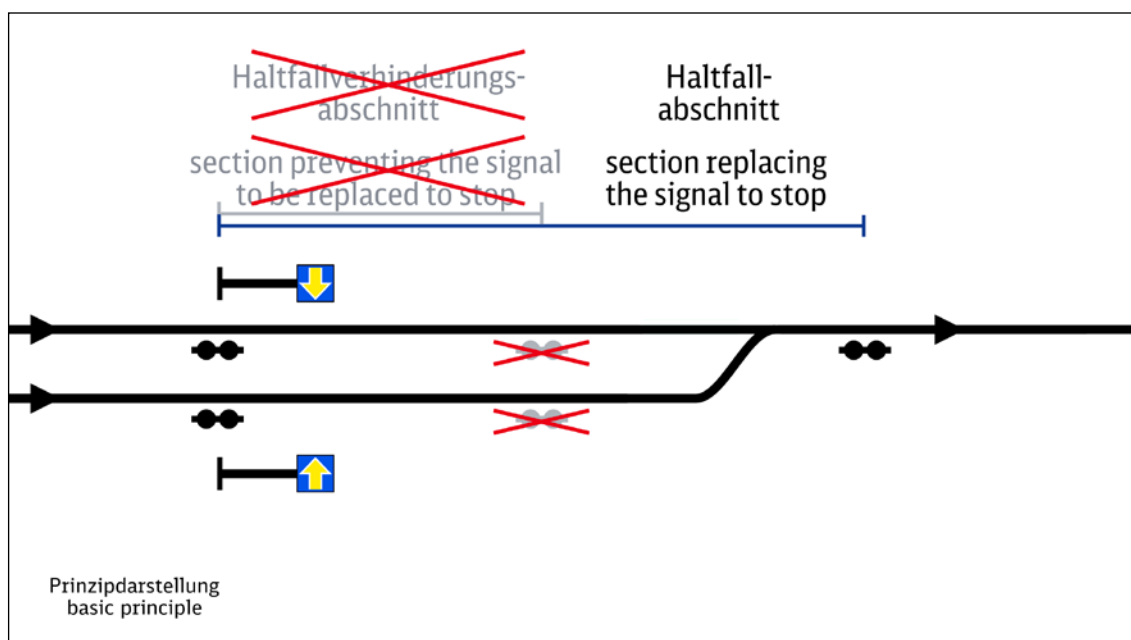




**Bild 7: Gelänge es, auf die Haltfallbewertung zu verzichten, könnten heute u. a. zur Erkennung von Flankenschutzverletzungen notwendige Abschnitte und Achszählpunkte entfallen.**

Fig. 7: If it were possible to dispense with the signal closure evaluation, the sections and axle counting points required today for the detection of flank protection violations, among other things, could be omitted.

Quelle / Source: DB / Thales



passt werden müssen. Das wurde jedoch dadurch vermieden, indem stets eine Gesamtlösung für das System Bahn in Betracht gezogen wurde. Daneben werden Sachverhalte, die für den Kern des DKS kein Thema waren, noch zu klären sein, darunter regelmäßiges Rangieren ohne Licht-Sperrsignale oder Bahnübergänge. Bei der Umsetzung der IK hat sich im Übrigen die CENELEC als guter Leitfaden erwiesen, sodass in dem gemeinsamen Team die Aufgaben der ersten Phasen durchgeführt wurden und dann bei der Finalisierung der Anforderungen der Prozess „in die Linie“ überging. Aufgrund der guten Erfahrungen wurde inzwischen im DKS auch eine weitere IK vereinbart, in deren Rahmen virtuelle Bauweichenstecker entwickelt werden, die anstelle physischer Bauweichenstecker treten sollen.

Zusammengefasst darf festgestellt werden, dass die IK tatsächlich ihrem Anspruch gerecht geworden ist, Innovationen zu entwickeln und durchzusetzen. Das Regelwerk der DB Netz ist über Jahrzehnte durch die seinerzeitigen technischen Möglichkeiten geprägt und die eisenbahnbetriebliche Handhabung daran ausgerichtet worden. Die Denkweise der IK war dadurch geprägt, von dem Primat des Eisenbahnbetriebsprozesses auszugehen und daran die angestrebten Systemlösungen auszurichten. Damit wurde ein Beitrag geleistet, die anerkannten Regeln der Technik weiterzuentwickeln sowie die technischen Neuerungen, die im Rahmen der DSD eingeführt werden sollen, auch für hochkomplexe und sicherheitsrelevante Anwendungen effektiv zu gestalten. ■

The innovative cooperation on the infrastructure in the DKS has thus proven itself. A certain risk lies in solutions that are too specific and have to be adapted to subsequent projects. However, this was avoided by always considering an overall solution for the railway system. In addition, matters that were not an issue for the DKS core will still have to be clarified, including regular / frequent shunting without the need for lineside signals or level crossings. Incidentally, CENELEC proved to be a good guide in the implementation of the IC, so that the tasks of the initial phases were carried out in the joint team and then, once the requirements had been finalised, the process moved on to the well-established processes.

Due to the good experiences, a further IC has also now been agreed in the DKS, within the context of which virtual construction switch plugs are being developed to take the place of physical construction switch plugs.

In summary, it can be stated that the IC has indeed lived up to its claim to develop and implement innovations. For decades, the rules and regulations at DB Netz have been shaped by the technical possibilities of the time and railway operations have been geared to them. The IC's way of thinking was characterised by starting from the primacy of the railway operation process and aligning the required system solutions to it. In this way, a contribution has been made to the further development of the recognised rules of technology, as well as to the effective design of the technical innovations to be introduced within the framework of the DSD, even for highly complex and safety-related applications. ■

## LITERATUR | LITERATURE

- [1] Bitzer, F.; Blateau, V.; Lammerskitten, C.; Lück, B.; Neuhäuser, N.; Vogel, T.; Wurmthaler, J.: Quo vadis Digitale Leit- und Sicherungstechnik?, DER EISENBAHNINGENIEUR 11/2021, S. 6–11 (<https://bit.ly/3Hv72X6>)
- [2] Dietrich, F.; Meyer, M.; Neuhäuser, R.; Rohr, F.; Vogel, T.; Wenkel, N.: Fahrzeugnachrüstung für den Digitalen Knoten Stuttgart, DER EISENBAHNINGENIEUR 9/2021, S. 39–45 (<https://bit.ly/3tFQWUB>)
- [3] Dietrich, F.; Erdmann, J.; Jost, M.; Raichle, F.; Sane, N.; Vogel, T.; Wagner, P.: Nachrüstung von 333 Triebzügen für den Digitalen Knoten Stuttgart, ZEV-rail, 5/2022, S. 170-181
- [4] Fries, N.: Betrieblich-Technisches Zielbild für die „Digitale Schiene“, Deine Bahn 3/2021, S. 6–10 (<https://bit.ly/3HCOfls>)
- [5] Drescher, O.: ETCS Level 2 ohne „Signale“ in einem großen Knoten, Deine Bahn 3/2022, S. 28–32 (<https://bit.ly/3O4n5i1>)
- [6] 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>)
- [7] Hierzu folgt noch ein gesonderter Artikel in SIGNAL+DRAHT 9/2022; *a dedicated article will follow in SIGNAL+DRAHT 9/2022*
- [8] Hauswald, C.; Spiegel, D.; Kreyenberg, D.; Fiack, A.: Digitale Schiene. Deutschland testet erstmals sensorbasierte Wahrnehmungssysteme im Bahnbetrieb, Deine Bahn, 4/2022 (<https://bit.ly/3O2KGj6>)
- [9] Schröder, J.; Gonçalves Alpoim, C.; Rudolph, C.; Dickgießer, B.; Talg, M.: Digitale S-Bahn Hamburg. Eisenbahn Ingenieur Kompendium 2022, S. 239–255 (<https://sie.ag/3OiDxus>)
- [10] Mehnert, S.: L2oS im Digitalen Knoten Stuttgart. Vortrag auf der 26. Sicherungstechnischen Fachtagung, Dresden, 30. September 2021
- [11] Denißen, J.; Flieger, M.; Kümmling, M.; Küpper, M.; Wanstrath, S.: Optimierung der Blockteilung mit ETCS Level 2 im Digitalen Knoten Stuttgart, SIGNAL+DRAHT, 7+8/2021, S. 60–67 (<https://bit.ly/3Ai0gQR>)
- [12] Ingenieurgemeinschaft Machbarkeitsstudie ETCS S-Bahn Stuttgart: Untersuchung zur Einführung von ETCS im Kernnetz der S-Bahn Stuttgart. Abschlussbericht, 30. Januar 2019 (<https://bit.ly/2Yyav6h>)
- [13] Beyer, M.; Jurtz, S.; Langhof, M.; Reinhart, P.; Vogel, T.: ETCS as a carrier system for improved performance at S-Bahn Stuttgart, SIGNAL+DRAHT, 6/2019, p.–16 (<https://bit.ly/3N2HADx>)
- [14] Behrens, M.; Caspar, M.; Distler, A.; Fries, N.; Hardel, S.; Kreßner, J.; Lau, K.; Pensold, R.: Schnelle Leit- und Sicherungstechnik für mehr Fahrwegkapazität, DER EISENBAHNINGENIEUR, 6/2021, S. 50–55 (<https://bit.ly/2SIQvjY>)
- [15] DB Netz: Betrieblich-technische Systemfunktionen für ETCS SRS Baseline 3, Version 3.0, Kapitel 4.6
- [16] DB Netz: Betrieblich-technische Systemfunktionen für ETCS SRS Baseline 3, Version 3.0, Anforderungen BTSF3.000.1562 und .1565

## AUTOREN | AUTHORS

**Peter Barth**

Senior Expert CCS-innovation and authorization  
DB Netz AG  
Anschrift / Address: Adam-Riese-Straße 11-13, D-60327 Frankfurt am Main  
E-Mail: peter.pe.barth@deutschebahn.com

**Marc Behrens**

Team leader CCS / interlocking / ETCS / ATO  
DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH  
Anschrift / Address: Rappellenstraße 17, D-70191 Stuttgart  
E-Mail: marc.behrens@deutschebahn.com

**Michael Kümmling**

Overall program management, project launch Stuttgart-Ulm and Stuttgart Digital Node  
DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH  
Anschrift / Address: Rappellenstr. 17, D-70191 Stuttgart  
E-Mail: michael.kuemmling@deutschebahn.com

**Steffen Mehnert**

Project Design Authority  
Thales Deutschland  
Anschrift / Address: Thalesplatz 1, D-71254 Ditzingen  
E-Mail: steffen.mehnert@thalesgroup.com

**Thomas Nenke**

Expert for digital processes in railway operations  
DB Netz AG  
Anschrift / Address: Adam-Riese-Straße 11-13, D-60327 Frankfurt am Main  
E-Mail: thomas.nenke@deutschebahn.com

**Wolfgang Pieper**

Senior Project Design Authority  
Thales Deutschland  
Anschrift / Address: Thalesplatz 1, D-71254 Ditzingen  
E-Mail: wolfgang.pieper@thalesgroup.com

**Marin Retzmann**

Lead engineer CCS / interlocking / ETCS / ATO  
DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH  
Anschrift / Address: Rappellenstraße 17, D-70191 Stuttgart  
E-Mail: martin.retzmann@deutschebahn.com

**Prof. Dr.-Ing. Jochen Trinckauf**

Managing Director  
CERSS Kompetenzzentrum Bahnsicherungstechnik GmbH  
Anschrift / Address: Bernhardstraße 77, D-01187 Dresden  
E-Mail: jochen.trinckauf@cerss.com