

# Schaltabschnittsgrenzen und Bahnübergänge schränken Kapazitätseffekt von ETCS Level 2 ein

## Section breaks and level crossings limit capacity increases under ETCS Level 2

Lylly Hernández | Sascha Hardel

Im Rahmen ihrer Sektorinitiative Digitale Schiene Deutschland (DSD) strebt die Deutsche Bahn AG (DB) bis 2035 Kapazitätssteigerungen um bis zu 35 % ohne den Neubau von Infrastruktur an. Dieses Ziel soll durch die Digitalisierung und Automatisierung bestehender Systeme sowie die Integration Künstlicher Intelligenz erreicht werden [1]. Es ist erwiesen, dass Systeme wie ETCS Level 2 (L2) mit Blockoptimierung eine Erhöhung der Kapazität ermöglichen. Allerdings sind weitere Gewerke zu berücksichtigen, da diese die Kapazitätserhöhung einschränken können.

### 1 Hintergrund und Methodik

Die erste DSD-Stufe beinhaltet die Einführung der sogenannten Digitalen Stellwerke (DSTW) und des European Train Control System ohne konventionelle Außensignalisierung (ETCS L2oS). Die Kapazitätseffekte von DSTW und ETCS L2oS wurden durch die DB Netz AG in Zusammenarbeit mit der VIA Consulting & Development GmbH untersucht. Ziel ist es, dank ETCS L2 eine optimale Verteilung der Blockstrecken zu erreichen, was eine höhere Ausnutzung der Infrastruktur erlaubt und/oder die Pünktlichkeit der Züge verbessert [2]. Allerdings sind angemessene Planung und Umsetzung dieser neuen Techniken noch zu untersuchen, v. a. wenn bestehende Einschränkungen zu beachten sind. Bedeutende Einschränkungen bei der Blockoptimierung sind Bereiche, in denen Züge nicht halten oder nicht langsam fahren dürfen. Ein Beispiel dafür sind Streckentrennungen der Oberleitung, die als Schaltabschnittsgrenze fungieren. Trotz elektrischer Isolation voneinander können die beiden parallelen Fahrdrähte an diesen Stellen durch einen Stromabnehmer leitend verbunden werden. Üblicherweise befinden sich Schaltabschnittsgrenzen in den Ein-/Ausfahrbereichen von Bahnhöfen und Abzweigstellen. Genau dort ist eine Blockverdichtung gewünscht, weil diese Bereiche häufig maßgebend für Mindestzugfolgezeiten sind. Einen weiteren typischen Fall stellen Einschränkungen durch Bahnübergänge dar. Entsprechend wichtig ist es, den Einfluss dieser Restriktionen zu untersuchen und zu quantifizieren, um mögliche Lösungen zu finden.

Die hier gegenständliche Untersuchung bewertet den Kapazitätseffekt der ETCS-L2-Einführung mit Blockoptimierung und berücksichtigt zusätzlich die Einschränkungen im Bereich von Schaltabschnittsgrenzen der Oberleitung sowie von Bahnübergängen. Zu diesem Zweck wird eine elektrifizierte zweigleisige Hauptbahn untersucht, die sich durch dichten Mischbetrieb und 160 km/h Höchstgeschwindigkeit unter konventioneller Signalisierung auszeichnet. Als längster verkehrender Zug wird ein 740 m langer Güterzug zugrunde gelegt. Es wird angenommen, dass die gesam-

Deutsche Bahn's Digitale Schiene Deutschland (DSD) strategy aims to achieve a capacity increase of up to 35 % by 2035 without the construction of any additional infrastructure. This goal is to be achieved through the digitalisation and automation of existing systems and the integration of artificial intelligence [1]. Systems such as ETCS Level 2 (L2) with block optimisation have been demonstrated to allow increased capacity. However, the constraints caused by other system components must also be considered as they may limit the benefits.

### 1 Research and methodology

The first stage of DSD will see the introduction of so-called digital interlockings (DSTW) and the European Train Control System without any lineside signals (ETCS L2oS). The capacity effects of the DSTW and ETCS L2oS have been studied by DB Netz AG in cooperation with VIA Consulting & Development GmbH. The objective is to achieve an optimal sequence for the block sections due to ETCS L2, as this will allow a higher level of infrastructure utilisation and improve train punctuality [2]. However, the appropriate planning and implementation of these new technologies is still a matter of study, especially when existing constraints must be considered. One important constraint on block-section optimisation is the zones where trains must not come to a stop or may not travel slowly. An example of this involves the insulated overlaps in the overhead line that create the section breaks. Even though they are electrically insulated from each other, the two parallel overhead wires at these locations can be bridged by the pantographs. This may result in high currents that can cause damage to the overhead line and the pantographs themselves. Section breaks are usually located at the entrances to stations and junctions, where further block optimisation is also desired, as these zones are often decisive for the minimum headway times. Another typical case involves the restrictions on block optimisation due to level crossings. It is therefore important, to examine and quantify the impact of these restrictions in order to find possible solutions.

This study assesses the capacity increases achieved by the deployment of ETCS L2 technology with block optimisation and additionally considers the restrictions in the section break areas in the overhead line and level crossing zones. An electrified double track railway line has been investigated for this purpose. The line is characterised by a high density of mixed traffic and equipped with lineside signalling that allows a maximum speed of 160 km/h. The longest operating train corresponds to a 740 m

te Strecke gemäß DSD-Architektur der ersten Stufe (DSTW und ETCS L2oS) ausgerüstet ist. Dabei werden die Lichtsignale (außer Rangiersignale) durch ETCS-Halt-Tafeln (Ne 14) ersetzt. Zwischen diesen werden zusätzliche ETCS-Blockkennzeichen (ETCS-BK) und Achszählpunkte eingefügt, wodurch sich die Blockstrecken verkürzen und in der Folge die Streckenkapazität steigt. Die gewünschten Standorte dieser ETCS-BK werden anhand zweier kürzlich aufgestellter interner Anwenderhinweise der DB Netz AG ermittelt.

Der erste Anwenderhinweis legt übergreifende Standards zu erforderlichen Blocklängen für ETCS L2 unter Beachtung der Streckeneigenschaften und ihrer verkehrlichen Auslastung fest. Im Unterschied zur Außensignalisierung werden durch die Führersignalisierung die erheblichen Einschränkungen durch den festen Bremsweg aufgehoben. Die Optimierung findet derart statt, dass eine homogene Blockteilung (im Sinne der Zugfolgezeit) entlang der ganzen Strecke erreicht wird. Abschnitte, in denen Züge mit ähnlichen Geschwindigkeiten verkehren, erhalten ungefähr gleiche Blocklängen. Für Abschnitte, in denen Züge mit deutlich verschiedenen Geschwindigkeiten verkehren, ist die Ergänzung zusätzlicher kurzer Blockstrecken bei Bahnhöfen und Abzweigstellen wichtig. Grundsätzlich wurden folgende Standards in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen gesetzt:

- Strecken mit niedrigem und mittlerem Verkehrsaufkommen: Blocklänge ca. 1000 m
- Strecken mit hohem Verkehrsaufkommen: Blocklänge ca. 500 m
- Knotenbereiche (mit hohem Verkehrsaufkommen) und überlastete Schienenwege: Blocklänge ca. 500 m, örtlich bis hinab auf 70 m (in Einzelfällen noch weniger).

Es muss hervorgehoben werden, dass eine reine 1:1-Ausrüstung mit ETCS L2 (d. h. ohne zusätzliche Blöcke) zu einer Reduzierung der Streckenleistungsfähigkeit führen kann. Das wird hauptsächlich durch zusätzliche Systemzeiten (im Vergleich mit Außensignalisierung, z. B. neue Komponenten wie Radio Block Centre (RBC), Datenfunkübertragung und Schnittstellen) sowie die individuelle Bremswegberechnung (z. B. bei schnell fahrenden Zügen) ausgelöst. Um die Vorteile von ETCS L2 nutzen zu können, ist es demzufolge zwingend, die oben genannten Standards zu Blocklängen umzusetzen.

Der zweite Anwenderhinweis zielt auf jene Bereiche ab, die besonders entscheidend für Mindestzugfolgezeiten sind. Ein Beispiel ist die Optimierung bei Überholbahnhöfen (Bild 1). Zusätzliche ETCS-BK (orange im Bild) ergänzen die ursprünglichen Signale. Die Ein- und Ausfahrbereiche von Bahnhöfen sind häufig maßgebend für die Mindestzugfolgezeiten zwischen zwei Zügen. Deswegen führen kürzere Blockstrecken in diesen Bereichen häufig zu kürzeren Zugfolgezeiten.

Gemäß des Anwenderhinweises sollen die neuen ETCS-BK aus Bild 1 wie folgt angeordnet werden:

- BK 1: Ein neues BK (oder das bestehende Hauptsignal) soll so dicht wie möglich vor der Verzweigungsweiche angeordnet werden.
- BK 2: Eine zusätzliche Blockstrecke ist direkt hinter der Ausfahrweiche zu ergänzen.
- BK 3: Die Blocklänge im Einfahrbereich wird halbiert.

Das obige Beispiel zeigt die Blockoptimierung für Überholbahnhöfe. Allgemein werden weitere Verbesserungen bei Geschwindigkeitsabsenkungen, Überholbahnhöfen, Abzweigstellen und Ein-/Ausfahrbereichen von Bahnhöfen empfohlen. Dabei ist zu betonen, dass diese Optimierungen auf die konkreten Bedingungen im Netz, die örtlichen Gegebenheiten und mögliche Beschränkungen anzupassen sind.

freight train. The first implementation step of the DSD architecture (DSTW + ETCS L2oS) is assumed to have been deployed along the whole line. Within this context, the colour light signals (with the exception of the shunting signals) have been replaced with ETCS stop markers. Additional ETCS marker boards (ETCS MB) and axle counters have been inserted between them in order to reduce the block length and consequently increase the railway line's capacity. The desired locations for these marker boards have been determined with the aid of two internal guidelines recently established by DB Netz AG.

The first internal guideline sets out comprehensive standards for the required length of the block sections at ETCS L2, while taking into account the line's properties and traffic volumes. In contrast to lineside signalling, cab signalling eliminates the severe constraints of fixed braking distances. The block optimisation is carried out in such a way that allows a homogeneous sequence (in terms of headway) to be achieved along the whole line. The block lengths should be roughly constant in the sections where trains operate at similar speeds. In addition, it is also important to deploy further short block sections at stations and junctions in areas where the speeds of different trains vary significantly. In general, the following standards have been set for lines fitted with ETCS L2, depending on their traffic volumes:

- lines with low and medium traffic volumes: block lengths of about 1000 m
- lines with high traffic volumes: block lengths of about 500 m
- nodes with links to lines with high traffic volumes and congested lines: block lengths of about 500 m, local block lengths down to 70 m (in individual cases even shorter).

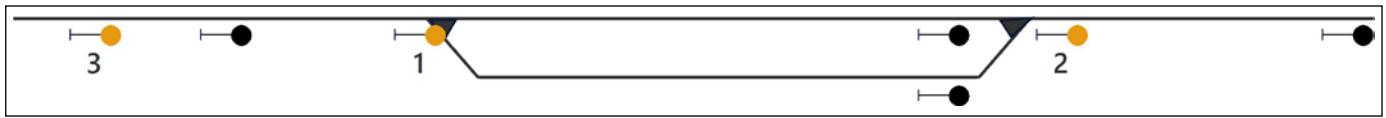
It is important to highlight that merely overlaying the infrastructure with ETCS L2 (without any additional block sections) may lead to a decrease in the line's capacity. This is mainly caused by the additional processing times (in comparison with lineside signalling, e.g. new components such as the Radio Block Centre (RBC), radio data transmissions and interfaces) and the individual calculation of the braking distances (e.g. when trains are running fast). It is therefore essential to deliver block lengths according to the aforementioned standards in order to benefit from the advantages of ETCS L2.

The second internal guideline targets those zones that are especially decisive for the minimum headway times. One such example is the optimisation at passing stations (fig. 1). The extra ETCS MB, which supplement the original signals, are represented in orange. Station entrance and exit zones are often decisive for determining the minimum headway time between pairs of trains. Therefore, shorter block sections in these areas, often result in lower headway times.

According to the guideline, the new marker boards from figure 1 should be positioned as follows:

- MB 1: A new marker board (or the existing main signal) should be placed as close as possible to the switch/set of points.
- MB 2: Insert an additional block section directly behind the switch/set of points at the exit.
- MB 3: Halve the block length in the approach area.

The above example shows how to optimise the block sections in passing station areas. In general, further optimisation is also recommended in areas of speed reductions, passing stations, junctions and station entrances/exits. Furthermore, it must be stressed that these optimisations must be adapted to the specific network conditions, the particularities on site and any possible existing constraints.



**Bild 1: Infrastruktur eines Überholbahnhofs nach der Blockoptimierung**  
 Fig. 1: The infrastructure of a passing station after block optimisation

Quelle / Source: DB Netz AG

**1.1 Grenzen der Blockoptimierung in Bereichen mit Schaltabschnittsgrenzen der Oberleitung und mit Bahnübergängen**

Im Rahmen der Studie werden zwei Hauptbeschränkungen thematisiert: Erstens weist die Oberleitung an bestimmten Stellen Streckentrennungen auf, die Grenzen zugunsten separater Schaltabschnitte schaffen. Diese Schaltabschnittsgrenzen erfüllen verschiedene Funktionen wie Umschalten (für zuverlässigen und flexiblen Betrieb der Bahnenergieversorgung), selektiven Schutz (z.B. bei Kurzschlüssen) und Abschalten (für Instandhaltung und Instandsetzung) [3]. Schaltabschnittsgrenzen der Oberleitung sind normalerweise in den Ein- bzw. Ausfahrbereichen von Bahnhöfen, Abzweig- und Überleitstellen angeordnet. Gleichwohl dort die zwei parallelen Fahrdrähte durch eine Luftstrecke voneinander elektrisch isoliert sind, werden diese von einem durchfahrenden Stromabnehmer temporär leitend verbunden. Wenn ein Zug in diesem „Gefahrenbereich“ hält oder langsam fährt, können große Ströme fließen, welche Oberleitung und Stromabnehmer erhitzen und schlussendlich zu deren Zerstörung führen können. Ein paralleler Strompfad zur Streckentrennung enthält einen (Mast-)Schalter, der normalerweise geschlossen („geschlossene Streckentrennung“) oder offen („offene Streckentrennung“) sein kann. Jedoch können auch im geschlossenen Schaltzustand hohe Stromstärken über den Stromabnehmer fließen, weil dieser Pfad meist den geringsten Widerstand bietet. Deswegen ist es notwendig, Bereiche um Schaltabschnittsgrenzen festzulegen, in denen keine Signale – das schließt ETCS-BK ein – stehen dürfen. Diese Begrenzung ist in der DB-Netz-Richtlinie 997 hinterlegt [4] und variiert zwischen ca. 300 m und 1000 m Länge. Die konkrete Länge hängt von drei Parametern der gegenständlichen Strecke ab: Art der Strecke, Zugbeeinflussungssystem und längste vorwiegend zum Einsatz kommende Zugarnitur (mit rückwärtigem Stromabnehmer). Zweitens müssen Bereiche hinter Bahnübergängen berücksichtigt werden, wo, wie in Anlehnung an Schaltabschnittsgrenzen, keine Signale angeordnet werden dürfen. Das stellt sicher, dass Bahnübergänge nicht durch einen haltenden Zug besetzt, sondern so schnell wie möglich geräumt werden (v.a. zugunsten von Einsatzfahrzeugen auf der Straße). Leider führen diese Restriktionen bei zusätzlicher Blockverdichtung zu einer Reduzierung der optimierten Blöcke und in der Folge zu einer Begrenzung der möglichen Kapazitätssteigerungen.

**1.2 Untersuchungsvarianten**

Um den Einfluss der ETCS-L2-Ausrüstung auf die Streckenkapazität und die Berücksichtigung der Restriktionen bei Schaltab-

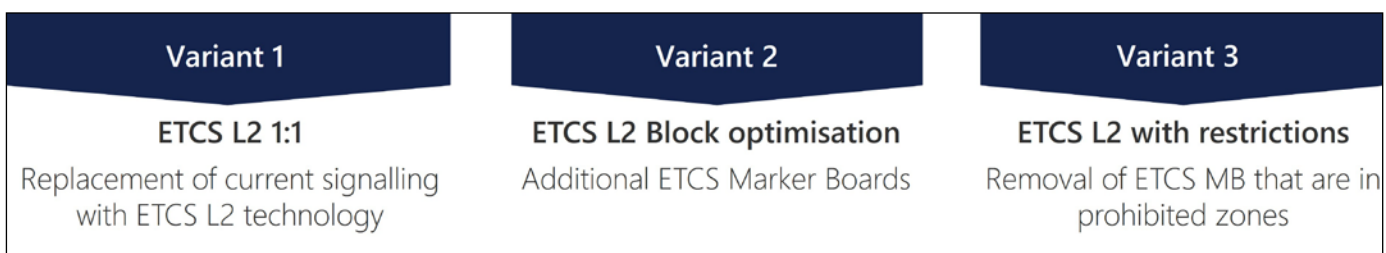
**1.1 Limitations of block optimisation in areas of section breaks in the overhead line and level crossings**

Two main limitations have been considered within the framework of this study. Firstly, the overhead line includes insulated overlaps at certain locations that create section breaks bordering separately switchable sections. These section breaks fulfil different functions such as switching (for the reliable and flexible operation of the entire traction power network), selective protection (e.g. in the case of a short circuit) and disconnection (for maintenance and repair work) [3]. Section breaks on the overhead line are usually located at the entrances and exits to/from stations, junctions and crossovers. Despite the two parallel contact wires of an overlap being normally electrically isolated from each other by an air gap, a train’s passing pantograph temporarily bridges them. A train stoppage or slow passage in this “danger zone” can lead to the occurrence of high currents that can heat up the overhead line and the pantograph and eventually cause them to fail. A parallel circuit along the overlap contains a switch that can be normally closed (a closed section break) or opened (an open section break). However, even the closed switching status may see high currents pass through the pantograph, because it usually provides the lowest resistance. For this reason, it is necessary to define areas around the section breaks where no signals - this also includes ETCS MB - are located. These boundaries are established based on Guideline 997 of DB Netz AG [4] and vary between about 300 m and 1000 m. The specific length depends on three main factors of the line under study: the type of line, the train control system and the longest train in use (with a rear pantograph). Secondly, the zones behind level crossings, where (similar to section breaks) no signals may be located, have to be considered. This ensures that the level crossings will not be blocked by stopping trains, but will be cleared as quickly as possible (especially for emergency road vehicles).

Unfortunately, these restrictions on the placement of additional blocks within the boundaries lead to a reduction in the optimised number of blocks and consequently to a reduction in the possible capacity gains.

**1.2 The investigation variants**

This study has been divided into three variants (fig. 2), which have been analysed separately and subsequently compared with



**Bild 2: Übersicht der Untersuchungsvarianten**

Fig. 2: A summary of the investigated variants

Quelle / Source: eigene Darstellung / own image

schnittsgrenzen und Bahnübergängen bei der Blockoptimierung genau zu ergründen, erfolgt die Untersuchung in drei Varianten (Bild 2). Sie werden separat analysiert und schließlich miteinander verglichen:

- Variante 1, ETCS L2 1:1: Diese Variante basiert auf der heutigen Infrastruktur mit Außensignalen, die um ETCS L2 ergänzt wird. Hier werden keine weiteren Veränderungen vorgenommen. Wie zuvor erwähnt, kann eine ETCS-L2-Ausrüstung der Infrastruktur ohne Maßnahmen der Blockoptimierung zu Kapazitätsreduzierungen führen. Deswegen wird eine Variante nur mit Außensignalisierung nicht berücksichtigt.
- Variante 2, ETCS L2 mit Blockoptimierung: Aufbauend auf Variante 1 wird eine homogene Blockteilung alle 500 m zwischen den ursprünglichen Hauptsignalen entlang der gesamten Strecke vorgesehen. Dies berücksichtigt die Empfehlungen der DB für Strecken mit hohem Verkehrsaufkommen. Zudem werden Bereiche um Geschwindigkeitswechsel, Überholbahnhöfe, Abzweigstellen und Bahnhofsköpfe optimiert.
- Variante 3, ETCS L2 mit eingeschränkter Blockoptimierung: Basierend auf Variante 2 werden in der letzten Variante jene ETCS-BK wieder ausgeschlossen, die in gesperrten Bereichen bei Schaltabschnittsgrenzen und Bahnübergängen liegen.

### 1.3 Leistungsfähigkeitsberechnung

Die Ermittlung der Leistungsfähigkeit auf Basis der Warteschlangentheorie erfolgt mit der Software LUKS, welche die Vorgaben der DB-Netz-Richtlinie 405 befolgt [5]. Die Strecke wird immer dann in Berechnungsabschnitte unterteilt, wenn erhebliche Änderungen am Betriebsprogramm auftreten. Für jeden Abschnitt wird die Zugzahl ermittelt, die mit optimaler Betriebsqualität fahren kann.

## 2 Ergebnisse

Leistungsfähigkeitsuntersuchungen finden für alle Abschnitte (A bis G) der gesamten Strecke statt (Bild 3). Die Kapazität wird für jeden Abschnitt und jede Fahrtrichtung über einen Tageszeitraum von 16 Stunden berechnet, dabei werden 700 Züge berücksichtigt.

Tab. 1 zeigt die Streckenkapazitäten der Abschnitte in Richtung 1 für alle untersuchten Varianten. Wie aus Variante 2 hervorgeht, steigt bei der Blockoptimierung durch eingefügte ETCS-BK die Anzahl der Blockstrecken von 80 auf 280. Hieraus resultiert eine höhere akzeptable Zuganzahl in jedem Streckenabschnitt. Jedoch sinkt in Variante 3 unter Berücksichtigung der Einschränkungen aus Oberleitung und Bahnübergängen sowohl die Anzahl der Blockstrecken als auch die Streckenkapazität. Im Durchschnitt über alle Abschnitte in Richtung 1 steigt die Kapazität in Richtung 1 um 10,5 % von Variante 1 zu 2 und gehen 5,2 % der gewonnenen Kapazität von Variante 2 nach 3 verloren. Mit Berücksichtigung der Restriktionen beträgt die Kapazitätssteigerung 5,3 % (von Varian-

each other in order to observe closely the impact on line capacity when commissioning ETCS L2 technology and consider the limitations pertaining to section breaks and level crossings when performing block optimisation:

- Variant 1, ETCS L2 1:1: this variant is based on the current infrastructure with lineside signals fitted with ETCS L2 technology. No other modifications have been carried out. As previously mentioned, equipping an infrastructure with ETCS L2 without carrying out any block optimisation may lead to a decrease in the infrastructure capacity. For this reason, the infrastructure variant with lineside signalling has not been considered.
- Variant 2, ETCS L2 block optimisation: building on variant 1, homogeneous blocks have been implemented every 500 m between original main signals along the entire line. This dimensioning considers the recommendations established by DB for highly loaded lines. Similarly, optimisation has also been carried out specifically in areas involving any speed changes, passing stations, junctions and station entrances/exits.
- Variant 3, ETCS L2 restricted block optimisation: building on variant 2, this last variant excludes the ETCS MB located in prohibited zones around the section breaks and level crossings.

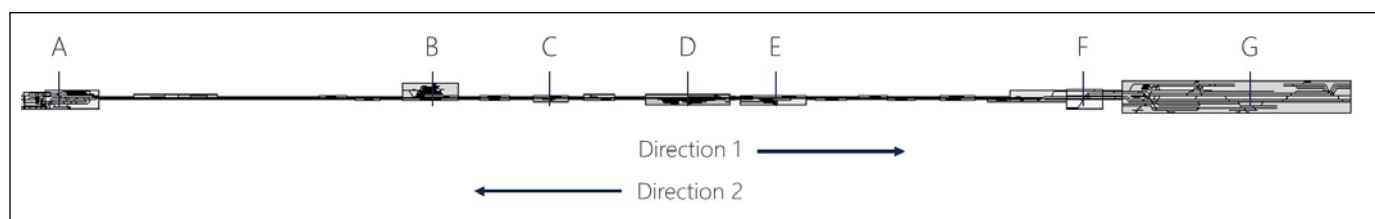
### 1.3 The capacity calculation

A capacity assessment has been performed using queueing theory and the software LUKS in compliance with the frameworks of DB Netz AG Guideline 405 [5]. The railway line has been divided into line sections whenever there are any major changes in the operating program. The optimum number of trains that can run with good operating quality has been calculated for each of these line sections.

## 2 Results

A capacity assessment has been carried out for all the sections (A to G) of the complete line (fig. 3). The capacity of each line section has been evaluated separately for each direction of travel during a daytime period of 16 hours, considering about 700 trains.

Tab. 1 shows the line capacity of the line sections in direction 1 for each of the studied variants. As can be seen in variant 2, optimising the infrastructure by inserting ETCS MB increases the number of block sections from 80 to 280, which results in an increase in the acceptable number of trains for each line section. However, when considering the restrictions on the overhead lines and level crossings in variant 3, the number of block sections decreases, as does the line capacity. Considering the average capacity over all the sections in direction 1, the capacity increases by 10.5 % from variant 1 to variant 2 and loses 5.2 % of the gained capacity from



**Bild 3: Skizze der untersuchten Strecke**

Fig. 3: A representation of the studied railway line

Quelle / Source: eigene Darstellung / own image

	A – B	B – C	C – D	D – E	E – F	F – G	Block-Anzahl Number of blocks
Variante/Variant 1	87	82	83	87	88	86	80
Variante/Variant 2	97	89	89	96	98	98	280
Variante/Variant 3	95	87	88	94	95	91	240

Tab. 1: Ergebnisse der Streckenkapazität in Zügen, für Richtung 1

Tab. 1: The line capacity results in the number of trains, for direction 1

Quelle / Source: eigene Darstellung / own image

te 1 zu 3). Gleichermaßen liegt in Richtung 2 die Kapazitätssteigerung von Variante 1 zu 2 bei 9,1 % und von Variante 1 zu 3 bei 2,7 % (Bild 4).

Wie aus Bild 4 hervorgeht, können durch die Blockoptimierung ca. 10 % Leistungsfähigkeit gewonnen werden. Allerdings wird diese Verbesserung halbiert, wenn berücksichtigt wird, dass keine Signale in den gesperrten Bereichen bei Schaltabschnittsgrenzen und Bahnübergängen angeordnet werden können. Diese Ergebnisse beweisen, dass der Ausschluss bestimmter ETCS-BK einen signifikanten Einfluss auf die Kapazitätseffekte von ETCS-L2-Technik hat.

variant 2 to 3. When the restrictions are considered, the capacity increase amounts to 5.3 % (from variant 1 to variant 3). Similarly, the capacity increases in direction 2 from variant 1 to variant 2 by 9.1 % and from variant 1 to variant 3 by 2.7 % (fig. 4).

As fig. 4 shows, block optimisation provides a capacity gain of approximately 10 %. However, this benefit is halved upon consideration that no signals can be located within the prohibited zones around the section breaks and level crossings. These results prove that the exclusion of these marker boards has a significant impact on the capacity potential for ETCS L2 technology.

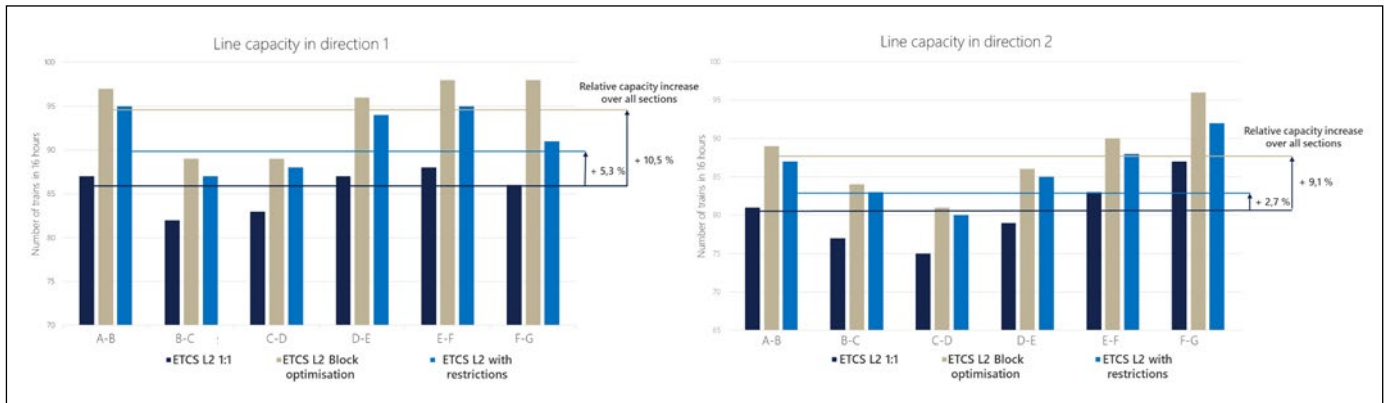


Bild 4: Ergebnisse der Streckenkapazität in Zügen, für Richtungen 1 und 2

Fig. 4: The line capacity results in the number of trains, for directions 1 and 2

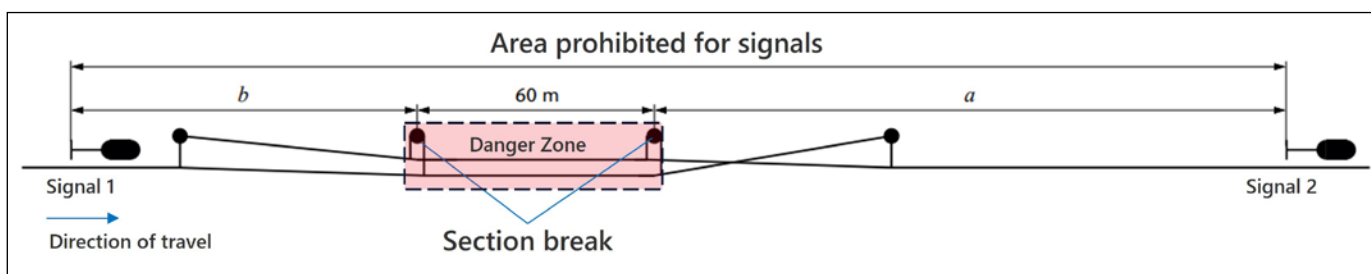
Quelle / Source: eigene Darstellung / own image

### 3 Mögliche Lösungen

Auf der Suche nach Lösungen für die zuvor benannten Probleme schlagen Bucht und Ehret [6] mehrere Optionen für Bereiche mit Schaltabschnittsgrenzen vor. Gemäß den Festlegungen der DB Netz AG zeigt Bild 5 die konkrete Signalanordnung in Bereichen um Schaltabschnittsgrenzen auf einer Strecke mit konventioneller Außensignalisierung. Der Abstand a wird meist mit 410 m angenommen und hängt von Streckenart, längsten vorwiegend eingesetzten Zügen (bzw. der Position von deren rückwärtigen Stromabnehmern) und dem Zugbeeinflussungssystem ab. Dieser Abstand stellt sicher, dass sich der (rückwärtige) Stromabnehmer außerhalb des Gefahrenbereichs befindet, wenn Züge vor Signal 2 halten. Der Abstand b beträgt üblicherweise 50 m (geschlossene Streckentrennung) oder 100 m (offene Streckentrennung). Dieser Abstand gewährt vor Signal 1 haltenden Zügen ausreichend Zeit, um auf die benötigte Mindestgeschwindigkeit zu beschleunigen und den Gefahrenbereich ohne Risiko zu passieren. Indessen ist im Fall von geschlossenen Schaltabschnittsgrenzen die Gefahr auf den Bereich begrenzt, wo der Stromabnehmer die Fahrdrähte leitend verbinden kann. Züge, die diesen Bereich mit Geschwindigkeiten über 10 km/h durchfahren, stellen kein Risiko dar. Abhängig von Art des Zuges und vorliegender Längsneigung ist es denkbar, den Abstand b zu verkürzen – oder auf ihn komplett zu verzichten.

### 3 Possible solutions

Bucht und Ehret [6] have proposed possible solutions for the section break zones as part of the search for solutions to the aforementioned problem. Fig. 5 shows the specific signal arrangement in the zones around the section breaks on a conventional line with lineside signalling in compliance with the determinations of DB Netz AG. The distance a is usually assumed as 410 m and is dependent on the type of line, the predominantly longest trains operating along the route (respectively the position of their rear pantographs) and the train control system. This distance ensures that the (rear) pantograph is located outside the danger zone when the trains stop at signal 2. Distance b is assumed as 50 m (for closed section breaks) or 100 m (for open section breaks). This distance provides trains stopping at signal 1 with enough time to accelerate to the minimum required speed in order to pass through the danger zone without any risk. However, in the case of closed section breaks, the danger is limited to the area where the pantograph electrically connects the contact wires. Trains passing through this zone at speeds in excess of 10 km/h do not represent any risk. Distance b can be conceivably reduced or eliminated completely depending on the type of train and the gradient involved.



**Bild 5: Anordnung von Hauptsignalen und Schaltabschnittsgrenzen auf Strecken mit konventioneller Außensignalisierung, entnommen aus [6]**  
 Fig. 5: The arrangement of the main signals and section breaks on a conventional line with lineside signalling. Obtained from [6]

Quelle / Source: eigene Darstellung / own image

Ein anderer Lösungsvorschlag ist die Verlegung der Schaltabschnittsgrenze weg vom Ein-/Ausfahrbereich auf die freie Strecke, z. B. in die Mitte zwischen Bahnhöfen, wo kurze Blockstrecken weniger wichtig sind. Ein anderer Ansatz kann es sein, die Höhe der Stromstärke über den Stromabnehmer durch Querschnittsvergrößerung des parallelen Pfades über den Mastschalter zu reduzieren. In Deutschland wird davon nur ein kleiner Effekt erwartet, weil der parallele Pfad bereits dicht neben der Streckentrennung verläuft. Jedoch verlangen beide Ansätze wahrscheinlich erhebliche Investitionen, z. B. für längere Speiseleitungen und neue Schaltabschnittsgrenzen, sowie lösen sie zusätzliche Einschränkungen für Instandhaltung und elektrischen Netzbetrieb aus. Als letzter Lösungsvorschlag wird unterbreitet, dass die (verfügbaren) Halteplätze von den Zugeigenschaften abhängen. Entsprechend ist für kurze Züge der Abstand  $a$  kürzer als für lange Züge. Der Halteplatz könnte zudem mit der Position der gehobenen Stromabnehmer verknüpft werden, weil Stromabnehmer im Gefahrenbereich zu vermeiden sind – unabhängig von der Zuglänge. Diese Lösung setzt die Verfügbarkeit aller Informationen zum Zug sowie ständigen Datenaustausch zwischen Zug und Steuerzentrale, z. B. RBC bei ETCS oder Traffic Management System, voraus. Zwecks Interoperabilität erfordern die ETCS-/ERTMS-Spezifikationen passende Erweiterungen und Anpassungen, was tendenziell nicht kurzfristig erfolgen kann.

Another proposed solution involves moving the section break away from the station entrance and placing it on the open track, e.g. between the stations where short block sections are less important. Reducing the current via the pantograph by enhancing the cross-section of the parallel circuit via a switch may also offer another approach, but is expected to be less effective in Germany, because the parallel circuit already runs close to the insulated overlap. However, both of these solutions will probably require significant investments (e.g. for longer feeder cables and new section breaks) and trigger more restrictions on the maintenance and operation of the traction power network. And the last solution proposes that the (available) stopping location depends on the characteristics of the train. Thus, the distance  $a$  is shorter for short trains than for long trains. This stopping position may also be linked to the position of the lifted pantograph(s), since the relevant issue is to avoid the pantograph(s) being in the danger zone regardless of the train length. This solution requires the availability of all information concerning the trains, as well as constant communication between the train and the control centre, e.g. the ETCS RBC or a Traffic Management System. The ETCS/ERTMS specifications need appropriate extensions and modifications to ensure interoperability, but this is unlikely to happen at short notice.

# RAILWAY DIAGNOSTIC AND MONITORING CONFERENCE 2023

**20. + 21. APRIL 2023**  
HOTEL CONTINENTAL PARK, CH-LUZERN

## KONTAKTE VOM FEINSTEN!

Nutzen Sie die **Railway Diagnostic and Monitoring Conference** wieder als Plattform und werden Sie Sponsor! Treten Sie mit den Experten direkt in Kontakt!

Sichern Sie sich das attraktive Präsentationspaket –  
Deadline ist am **6. April 2023**.  
**Sprechen Sie mich an!**

**Kontakt: Silvia Sander**  
 E-Mail: [silvia.sander@dvvmedia.com](mailto:silvia.sander@dvvmedia.com)  
 Telefon: +49/40/237 17 – 171



Bei Bahnübergängen ist abweichend das Zugende relevant, jedoch lassen sich viele Lösungsansätze sinngemäß übertragen. Zusätzlich bietet sich die Option einer Beseitigung schienengleicher Übergänge an, die aufgrund steigender Zugzahlen ohnehin nötig werden kann.

Wahrscheinlich eignet sich nicht eine Lösung immer, sondern es ist eine Kombination oder Einpassung mehrerer Lösungen erforderlich. Mögliche nächste Schritte bestehen im Nachweis, dass die Lösungen anwendbar sind und tatsächlich deutliche Vorteile entfalten. Wegen der Komplexität des Systems Eisenbahn kommt eine Reihe weiterer Aspekte hinzu, z. B. Restriktionen aus der Sicherungstechnik selbst, die Dimensionierung der Bahnenergieversorgung und die Stromtragfähigkeit der Oberleitungen.

#### 4 Zusammenfassung

DSD strebt Kapazitätssteigerungen von bis zu 35 % ohne den weiteren Neubau von Eisenbahnstrecken an. Ein Teil dieses Kapazitätsgewinns basiert auf einer Optimierung der Blockteilung, wodurch Mindestzugfolgezeiten reduziert und damit mehr Züge pro Zeiteinheit auf der gleichen Infrastruktur fahrbar werden. Allerdings ist diese Optimierung in Bereichen bei Schaltabschnittsgrenzen der Oberleitung nicht möglich, weil langsam fahrende oder haltende Stromabnehmer thermische Schäden an der Oberleitung und an sich selbst auslösen können. Deswegen muss die Anordnung von Signalen in diesen Bereichen beschränkt werden, was ähnlich auch hinter Bahnübergängen gilt, weil diese so schnell wie möglich geräumt werden sollen. Diese Beschränkungen halbieren mehr oder weniger die Kapazitätssteigerungen, die durch Blockoptimierung erreichbar wären. Hieraus entsteht Untersuchungsbedarf, wie die Blockoptimierung erfolgen muss, um eine optimale Blockteilung zu erhalten und den Verlust zu vermeiden oder zumindest zu begrenzen.

Zu Lösungsvorschlägen zählen verkürzte Abstände zwischen Signalen und Schaltabschnittsgrenzen, Verschiebungen der Schaltabschnittsgrenzen weg von Bahnhöfen, Begrenzung der kritischen Stromstärke und variable Halteplätze in Abhängigkeit von Zuglänge oder Stromabnehmerpositionen. Jedoch können diese Lösungen auch Beschränkungen, Nebenbedingungen und sogar Nachteile aufweisen, die gründlich zu untersuchen sind. Die gesamte Thematik verdeutlicht, wie wichtig interdisziplinäre Ansätze im Bahnsektor sind. ■

#### LITERATUR | LITERATURE

- [1] DB Netz AG, „Digitale Schiene Deutschland,“ 2020. [Online]. Verfügbar: <https://digitale-schiene-deutschland.de/de/digitale-schiene>. [Zugriff am 23.08.2022]
- [2] Bührs, P.; Büker, T.; Schotten, S.; Hardel, S.: „Vorteile und Nutzen von ETCS L2oS und DSTW im Schienenverkehr,“ EIK, 2022
- [3] Ebhart, S.; Ruch, M.; Wolfgang, H.: „Schaltungsaufbau im 16,7-Hz-Oberleitungsnetz bei DB Netz,“ Elektrische Bahnen 102, pp. 152-162, 2004
- [4] DB Netz AG, „Richtlinie 997.0301 Oberleitungsanlagen; Speisung und Schaltung der Oberleitung planen,“ 2020
- [5] DB Netz AG, „Richtlinie 405 Fahrwegkapazität,“ 2022
- [6] Bucht, N.; Ehret, B.: „Streckentrennungen und die Digitale Schiene,“ Elektrische Bahnen 119, pp. 344-357, 2021

The rear end of the train is relevant in the case of level crossings, but many solutions can likewise be adapted. Additionally, the crossings can be removed, which higher train numbers may trigger anyway.

There is probably no single solution here, but instead a combination of solutions or the adaptation of different solutions may be required. The possible next steps involve proving the applicability of the solutions and verifying that they will indeed bring significant advantages. In addition, the rail system's complexity also accounts for a multitude of other issues, e.g. restrictions on signalling itself, the rating of the traction power network and the ampacity of the overhead lines.

#### 4 Summary

DSD aims to achieve a capacity increase of up to 35 % without any further construction of railway lines. Part of this capacity gain is based on the optimisation of the block sections between main signals to reduce the minimum headway times and allow more trains to operate on the same infrastructure. However, this optimisation is not possible in areas around section breaks on the overhead line, as slowly passing or stopping pantographs can cause thermal damage to the overhead line and to the pantographs themselves. For this reason, it is necessary to restrict the positioning of signals in these areas and similarly in the areas behind level crossings, as they should be cleared as quickly as possible. These restrictions more or less halve the capacity increase that block section optimisation might otherwise achieve. This opens a gap in the research on how block optimisation can be carried out to achieve an optimal sequence of block sections and thus avoid or at least diminish this loss.

Proposed solutions include reducing the distances between the signals and section breaks, relocating section breaks away from stations, limiting the critical current and variable train stopping positions depending on the length of the train or the position of its pantograph(s). These solutions, however, may involve restrictions, constraints and even disadvantages which should be thoroughly investigated. The whole situation demonstrates how important multidisciplinary approaches are in the field of the railway. ■

#### AUTOREN | AUTHORS

##### Lylly Hernández, M.Sc.

Ingenieurin / Engineer

quatron management consulting GmbH /  
VIA Consulting & Development GmbH

Anschrift / Address: Römerstraße 50, D-52064 Aachen  
E-Mail: l.hernandez@via-con.de

##### Dipl.-Ing. Sascha Hardel

Fahrwegkapazität und EBWU

DB Netz AG – Zentrale

Anschrift / Address: Wiener Straße 4, D-01069 Dresden  
E-Mail: sascha.hardel@deutschebahn.com