

# Ansatz zur teilautomatisierten kapazitätsoptimierten Blockteilung von ETCS L2oS-Bereichen

Das European Train Control System Level 2 ohne Signale (ETCS L2oS) bietet das Potenzial zur Steigerung der Kapazität im Schienennetz. Dieser Artikel beleuchtet einen möglichen Beitrag zur kapazitätsoptimalen ETCS L2oS-Planung und stellt einen Teil der Forschungs Kooperation zwischen der Digitalen Schiene Deutschland (DSD) und der TU Darmstadt vor.



## 1. Einleitung

Das DSD-Programm sieht vor, das Eisenbahnnetz in Deutschland mit Digitalen Stellwerken (DSTW) und ETCS auszurüsten. Dabei ist neben der Ausrüstungskonfiguration ETCS L2oS plus DSTW auch die Kapazitätssteigerung durch Blockverdichtung Teil des technischen Zielbilds [1].

Das Projekt „Durchgängig Digitale Datenhaltung im Planungsprozess“ (D3iP) im Rahmen der DSD wirkt als Beschleunigungsmaßnahme für den Rollout, indem es den Planungsprozess durch digitale Bestandsdatenerhebung, teilautomatisierte Planung und Planprüfung sowie durch ein standardisiertes Übergabeformat für Planungsdaten beschleunigt [1].

Nach aktuellem Stand des Regelwerks gibt es zahlreiche planerische Restriktionen, die die Kapazität auf der Schiene einschränken können [2, 3]. Diese Restriktionen sowie die daraus resultierenden Verlegeverbotszonen für ETCS-Halt-Tafeln, ETCS-Blockkennzeichen (ETCS-BKZ) und Datenpunkte können den kapazitätsbezogenen Nutzen von ETCS L2oS beschränken. Eine Betrachtung der Auswirkungen von Verlegeverbotszonen bei der Optimierung der Blockteilung ist daher von besonderer Bedeutung [3, 4]. Hier gilt es, Anpassungsmöglichkeiten an den Planungsvorgaben zu identifizieren, mit denen einige der Restriktionen perspektivisch aufgehoben werden können.

Angesichts des Umfangs der Ausrüstungskonfiguration von ETCS L2oS plus DSTW zur Kapazitätssteigerung durch

Blockverdichtung muss zusätzlich eine Entlastung des Fachpersonals sowie eine Beschleunigung des Planungsprozesses erfolgen [4, 5, 6]. Hier kann der Ansatz der teilautomatisierten Planung einen wertvollen Beitrag leisten. Weiteres Beschleunigungspotenzial liegt in der frühzeitigen Berücksichtigung von ETCS-Anforderungen in frühen Planungsphasen, wie z. B. die Beachtung von Ausschlüssen bei der Datenpunktplanung bereits bei der Blockoptimierung.

Im Rahmen des Forschungsprojekts „Grüne Wiese“ entwickeln das Projekt D3iP und die TU Darmstadt gemeinsam eine Logik zur kapazitätsoptimalen ETCS L2oS-Planung auf der „grünen Wiese“, also ohne Class-B-Systeme. Gegenstand der Untersuchung sind zunächst ausschließlich zweigleisige Strecken. Andere Aspekte der Planung, wie z. B. die Trassierung, weitere Inhalte der LST-Planung oder die Betrachtung von Knoten sind derzeit nicht Teil des Forschungsprojektes.

Der vorliegende Artikel stellt einen allgemeinen Ansatz zur kapazitätsoptimalen ETCS L2oS-Planung vor, wobei der Schwerpunkt auf der Generierung der optimalen Blockteilung auf ETCS L2oS-Strecken unter Berücksichtigung planerischer Restriktionen liegt.

## 2. Stand des Wissens

Es ist bekannt, dass die Blockteilung einen wesentlichen Einfluss auf die Kapazität einer Strecke hat [siehe 7, 8, 9]. Um die Logik für eine kapazitätsoptimale ETCS L2oS-Planung gemäß dem DSD-Zielbild aus



**Nenad Grubor**

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Bahnsysteme und Bahntechnik der TU Darmstadt, Team Eisenbahnbetriebswissenschaft  
grubor@verkehr.tu-darmstadt.de



**Arturo Crespo**

Postdoc am Institut für Bahnsysteme und Bahntechnik der TU Darmstadt, Team Eisenbahnbetriebswissenschaft  
crespo@verkehr.tu-darmstadt.de



**Andreas Oetting**

Leiter des Instituts für Bahnsysteme und Bahntechnik der TU Darmstadt  
oetting@verkehr.tu-darmstadt.de



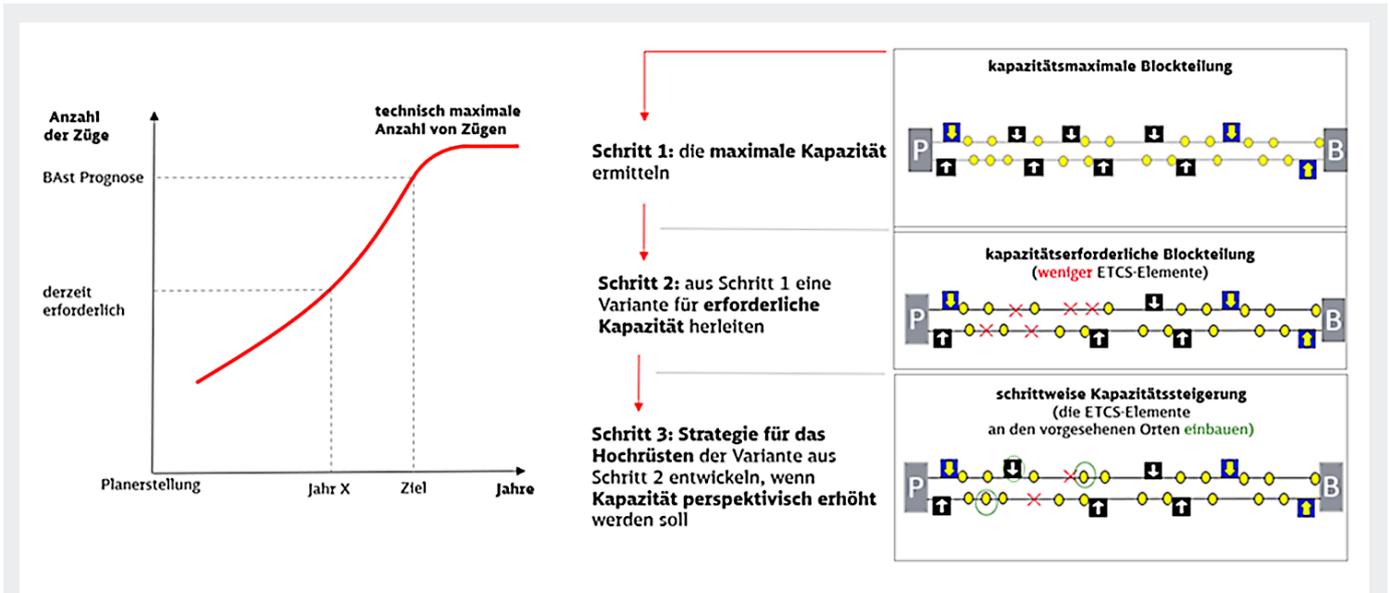
**Elisabeth Kretschmer**

Fachplanerin ETCS/DSTW für DSD Projekte bei der DB InfraGO AG  
elisabeth.kretschmer@deutschebahn.com



**Volkmar Bachmann**

Leiter Planungen DSD Projekte bei der DB InfraGO AG  
volkmar.bachmann@deutschebahn.com



1: High-Level-Algorithmus für eine teilautomatisierte kapazitätsoptimierte Blockteilung für ETCS L2oS

Kapitel 1 herzuleiten, konzentriert sich die folgende Literaturrecherche auf vorhandene Ansätze zur effizienten Optimierung der Blockteilung sowie auf Restriktionen bei der Platzierung von ETCS-Halt-Tafeln, ETCS-BKZ und Balisen.

### 2.1. Bestehende Ansätze zur Optimierung der Blockteilung unter ETCS L2oS

In der Literatur werden verschiedene Ansätze für eine optimale Blockteilung vorgeschlagen [bspw. 3, 14, 15]:

Der Ansatz in [3] optimiert die Blockteilung unabhängig vom Fahrplan für alle Zugkombinationen im Betriebsprogramm. Dabei wird ausgehend von einer minimalen LST-Planung („nur zwingend nötige Signale zur Deckung von Weichenbereichen und anderen Gefahrstellen“) die Blockteilung für jeden Auswertebchnitt optimiert. Auf Strecken mit verschiedenen maßgebenden Modellzügen ergeben sich verschiedene maßgebende Blockabschnitte für unterschiedliche Zugfolgefälle. Darauf aufbauend wird die Blockteilung durch die Verschiebung oder Ergänzung von ETCS-BKZ so modifiziert, dass eine Reduzierung der Belegungszeit der maßgebenden Blockabschnitte zu erwarten ist. Für die modifizierte Blockteilung werden anschließend die Mindestzugfolgezeiten neu berechnet, um den Erfolg der Änderung zu überprüfen und die nun maßgebenden Blockabschnitte zu ermitteln. Dieser Ablauf wird so lange wiederholt, bis keine weitere Verkürzung

der Mindestzugfolgezeiten mehr erreicht wird.

Der in [14] beschriebene Algorithmus optimiert die Blockteilung für einen konkreten Zugfolgefall. Die Inputdaten des Algorithmus sind die vordefinierte Mindestzugfolgezeit des betrachteten Zugfolgefalls und der Standort des Ausfahrtsignals. Das Ergebnis des Algorithmus ist eine Blockteilung, auf der eine Zugfolgezeit erreicht wird, die so groß ist wie die vordefinierte Mindestzugfolgezeit. Der Algorithmus berücksichtigt keine anderen möglichen Kombinationen der Zugfolgefälle.

Der Ansatz, der in [15] beschrieben wird, konzentriert sich auf die analytische Modellierung von Blocklängen. Zu diesem Zweck werden mehrere Szenarien der Zugfolgefälle (schneller-langsamere, langsamer-schneller) betrachtet. In diesem Artikel werden Ungleichungen beschrieben, deren Lösung optimale Blocklängen für die gegebenen Szenarien der Zugfolgefälle erreicht. Ähnlich wie in [14] sind die Inputdaten vordefinierte Mindestzugfolgezeiten.

### 2.2. Anforderungen an die Blockteilung

Die Blockteilung entlang einer ETCS L2oS-Strecke erfolgt durch die Platzierung von ETCS-Halt-Tafeln und ETCS-BKZ. Zur Absicherung von Gefahrenpunkten muss eine Ganzblockstelle mit ETCS-Halt-Tafeln eingerichtet werden. Teilblockstellen mit ETCS-BKZ können zur Verbesserung der Zugfolgefälle eingebaut werden – sogar zwischen Weichen in einem Weichenbereich [10].

Gemäß [11] erfolgt die Planung von ETCS-Halt-Tafeln in der Stellwerksplanung. Damit erfolgt die Blockoptimierung separat von der ETCS-Datenpunktplanung (Balisenplanung). Auf Basis der in [3] geschilderten Projekterfahrungen lässt sich jedoch die Notwendigkeit herleiten, diesen Planungsschritt bereits bei der Blockoptimierung mitzudenken (siehe auch [12]). Die Funktionen und Typen der Datenpunkte sind detailliert in der DB-Richtlinie 819.1344 beschrieben.

Die Regelwerke geben Restriktionen für die Platzierung von ETCS-Halt-Tafeln, ETCS-BKZ und Balisen vor. Die Restriktionen beziehen sich auf den Bereich der Infrastruktur, in dem ein bestimmtes Element nicht platziert werden kann. Die Ansätze zur Blockoptimierung auf ETCS L2oS-Strecken berücksichtigen einige dieser Restriktionen. In [2] werden die Restriktionen in Form von Schaltabschnittsgrenzen und Bahnübergängen (BÜ) bei der Blockoptimierung untersucht. In [3] und [4] werden neben den Schaltabschnittsgrenzen zusätzliche Restriktionen aufgeführt, z. B. Bereiche zwischen Weichenspitze und Grenzzeichen, Bahnsteige und D-Wege.

Auf der Basis von Gesprächen mit Expertinnen und Experten aus der LST-Planung und dem Fahrwegkapazitätsmanagement sowie auf der Basis der Literaturrecherche [2, 3, 4, 11] wurden folgende Verlegeverbotszonen bei der Platzierung von ETCS-Halt-Tafeln, ETCS-BKZ und Balisen ermittelt:

<b>Input</b>	Austausch von Datenformat und Infrastrukturmodellierung	Modelzuge und Betriebsprogramm
	Platzierung der Einfahr- und Ausfahrtsignale auf der „grünen Wiese“	
	Parametrisierung des Algorithmus	
	Möglichkeit der manuellen Platzierung von ETCS-Halt-Tafel an bestimmten Positionen in der Infrastruktur (OPTIONAL)	
<b>Prozesse</b>	<b>Modul 1:</b> Algorithmus zur Erstellung einer Liste der maßgebende Zugfolgefälle	
	<b>Modul 2:</b> Fahrdynamik (Fahrzeiten und Modellierung der ETCS-Bremskurven)	
	<b>Modul 3:</b> Algorithmus zur Berechnung der Belegungs- und Mindestzugfolgezeit im ETCS L2oS System (nach Ansatz der TU Darmstadt)	
	<b>Modul 4:</b> Algorithmus zur optimalen Blockteilung je Zugfolgefall	
	<b>Modul 5:</b> Algorithmus zur kapazitätsmaximalen Blockteilung (ohne No-Zones)	
	<b>Modul 6:</b> Kapazitätsmanagement: Algorithmus zur Untersuchung des Einflusses von No-Zones	
	<b>Modul 7:</b> Algorithmus zur kapazitätsmaximalen Blockteilung (mit No-Zones)	
	<b>Modul 8:</b> Algorithmus zur Platzierung der Balisen	
	<b>Modul 9:</b> Algorithmus zur erforderlichen Blockteilung	
<b>Output</b>	kapazitätsmaximale Blockteilung	kapazitätserforderliche Blockteilung
	Ggf. Strategie für das Hochrüsten der Blockteilung, wenn Kapazität perspektivisch erhöht werden soll	

2: Module des High-Level-Algorithmus für eine teilautomatisierte kapazitätsoptimierte Blockteilung für ETCS L2oS

- Bahnübergänge (BÜ),
- Tunnel,
- Metallobjekte (primäre Verlegeverbotszonen für Balisen und sekundäre für ETCS-BKZ),
- Brücken,
- Lichtraumprofile (projektspezifisch),
- Heißläufer-Ortungsanlagen,
- Schaltabschnittsgrenzen,
- Weichenbereiche (zwischen Weichenspitze und Grenzzeichen einer Weiche oder Kreuzung),
- D-Wege und
- Bahnsteige (mit Ausnahme von S-Bahn-Gleisen).

Einige dieser Restriktionen könnten jedoch in Zukunft aufgehoben werden oder sind nicht vollständig geregelt (z. B. BÜ). Darüber hinaus können die Eisenbahnnetze je nach Land unterschiedlichen Restriktionen unterliegen. Daher ist es notwendig sicherzustellen, dass neue Ansätze sich verändernde Restriktionen flexibel unterstützen können. Die planerischen Restriktionen und die daraus resultierenden Verlegeverbotszonen an Blockgrenzen werden in diesem Artikel als „No-Zones“ bezeichnet.

**Zusammenfassung**

Die in Abschnitt 2.2 genannten Anforderungen sehen ein regelkonformes Planen mit einem generischen Ansatz vor, der die vorhandenen planerischen Restriktionen berücksichtigt. Die bestehenden Ansätze [3, 14, 15] erfüllen nicht alle Anforderun-

gen, die in Kapitel 2 aufgeführt sind. Daher besteht die Notwendigkeit, geeignete Ansätze zu entwickeln.

**3. Vorgehensweise**

Die im Folgenden vorgestellte Entwicklung eines solchen Ansatzes konzentriert sich auf die Erfüllung der Anforderungen aus Kapitel 2.2. In diesem Kontext ist ein dreistufiger Prozess vorgesehen (Bild 1).

Die Logik, die im Bild 1 dargestellt ist, ergibt sich aus der Tatsache, dass die optimale Kapazität ausgehend von einer Planung auf der „grünen Wiese“ nicht eindeutig festgelegt werden kann.

In Schritt 1 ist es erforderlich, eine Blockteilung zu ermitteln, die eine maximale projektierte Kapazität gewährleistet. Eine solche kapazitätsmaximale Blockteilung wird durch die optimale Platzierung von ETCS-BKZ und Balisen erreicht und stellt eine Alternative zur Planerstellung dar. Wenn zum Zeitpunkt der Planerstellung eine geringere Anzahl von Zügen geplant ist, können weniger Elemente (ETCS-BKZ und/oder Balisen) als in der kapazitätsmaximalen Blockteilung geplant werden.

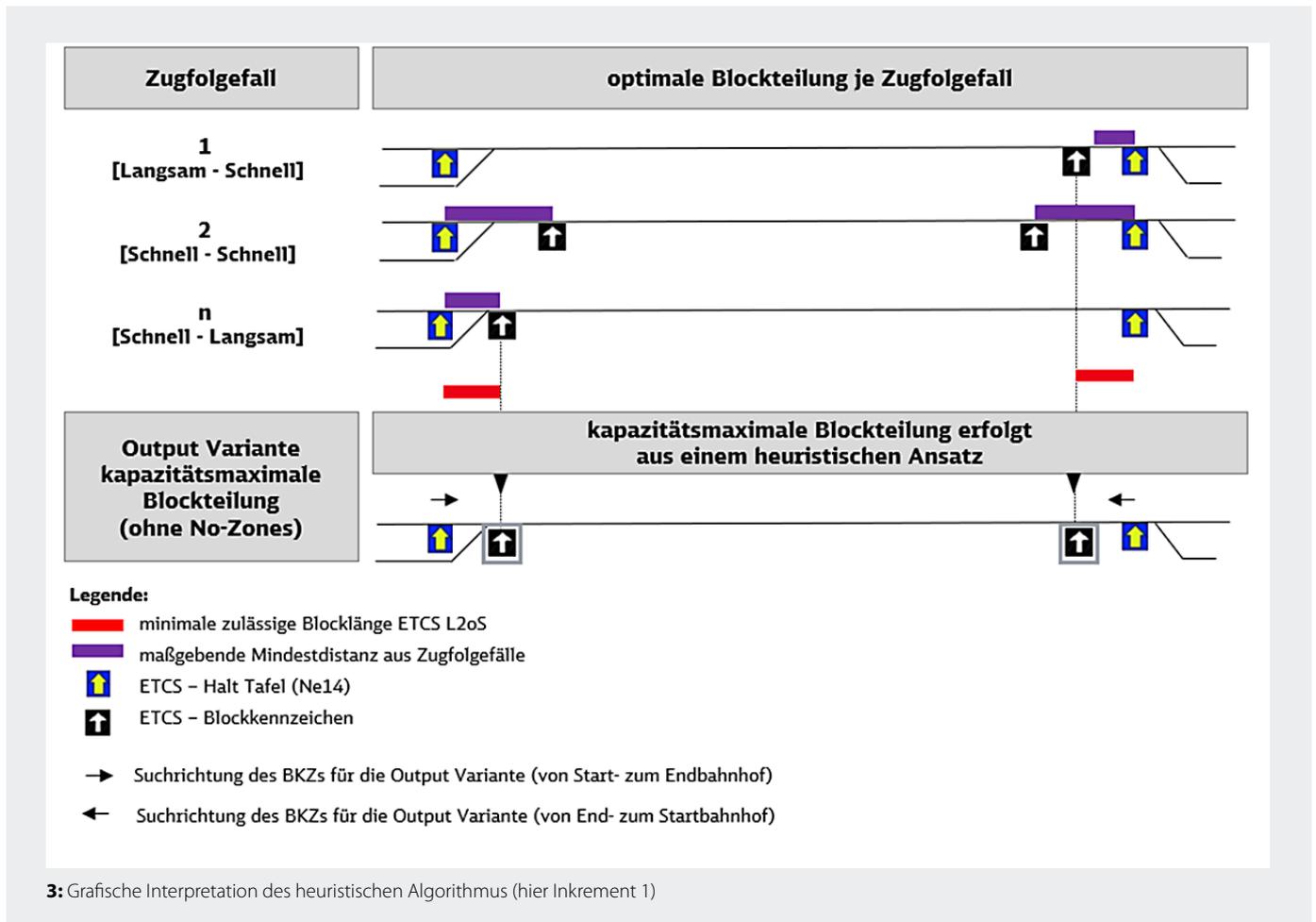
Schritt 2 beinhaltet daher das Entfernen einzelner Elemente aus der kapazitätsmaximalen Blockteilung, um eine Variante der Blockteilung (kapazitätserforderliche Blockteilung) zu erhalten, die dem jeweils aktuellen Kapazitätsbedarf entspricht. Die entfernten ETCS-BKZ und/oder Balisen dienen gleichzeitig als reservierte Orte für

das Hochrüsten der Strecke (Schritt 3), falls perspektivisch ein höherer Kapazitätsbedarf entsteht. Dadurch wird eine langfristige Kapazitätsreserve sichergestellt und gleichzeitig eine Strategie für zukünftige Kapazitätserhöhungen entwickelt.

Um die maximale Kapazität der Strecke zum Zeitpunkt der Planerstellung zu ermitteln, muss der Einfluss der No-Zones berücksichtigt werden. Im Folgenden ist das Ziel dieses Beitrags daher, einen generischen Ansatz für eine kapazitätsoptimale ETCS L2oS-Planung auf der „grünen Wiese“ gemäß den Anforderungen in Kapitel 2.2 vorzuschlagen, und dann einen Algorithmus zu präsentieren, der die kapazitätsmaximale Blockteilung unter Berücksichtigung der No-Zones erreicht. Auf diese Weise ist es möglich, basierend auf der Darstellung im Bild 1, die Voraussetzungen für die kapazitätserforderliche Blockteilung zu erstellen, wobei mögliche technische und planerische Änderungen berücksichtigt werden. Im Folgenden liegt der Fokus nur auf Schritt 1.

**3.1. Methode**

Basierend auf Schritt 1 ist das Ziel, die ETCS-BKZ und Balisen so auf der Strecke zu platzieren, dass eine kapazitätsmaximale Blockteilung ermöglicht wird. Das Problem der optimalen Platzierung von BKZ und Balisen in der Infrastruktur kann mit einer der Methoden der mathematischen Optimierung oder mit heuristischen Algorithmen gelöst werden. Für den vorgestellten An-



satz wurde ein heuristischer Algorithmus gewählt.

**3.2. Vorgehensweise**

Um die beschriebene Logik (Abschnitt 3 – Bild 1) umzusetzen, wurden die Schritte des High-Level-Algorithmus entwickelt. Das Vorgehen dazu ist in Bild 2 dargestellt. Der modulare Ansatz ermöglicht es, verschiedene strategische Anforderungen an die optimale ETCS L2oS-Planung zu berücksichtigen. Beispielsweise können No-Zones per Schalterlogik optional betrachtet oder ETCS-Halt-Tafeln bei Bedarf 1:1 aus der Bestandsinfrastruktur übernommen werden. Für jedes Modul entstand ein separater Algorithmus.

Einige der in Bild 2 dargestellten Module (1, 2, 4) bedürfen keiner besonderen Erklärung, da darin standardisierte Ansätze implementiert sind. Zum Beispiel basiert Modul 1 auf einem ähnlichen Ansatz wie in [3], in dem alle Kombinationen der Zugfolgefälle festgelegt werden. Der Ansatz im Modul 2 basiert auf bekannten Methoden zur Berechnung der Fahrzeit

(numerische Integration), während das Verfahren zur Berechnung der Bremskurven auf SUBSET-026 [17] beruht. Die entsprechenden Ansätze, auf denen Modul 4 basiert, sind ausführlich in [14, 15] zu finden.

Die Module 3, 5, 7, 8 und 9 erfordern einen neuen Ansatz. Der Algorithmus, auf dem Modul 3 basiert, ist detailliert in [12] beschrieben. Der Ansatz aus [12] zeigt, dass der sogenannte MA-Update-Frequenz-Parameter einen wesentlichen Einfluss auf die Belegungs- und Mindestzugfolgezeit hat und deshalb bei der Optimierung der Blockteilung berücksichtigt werden sollte.

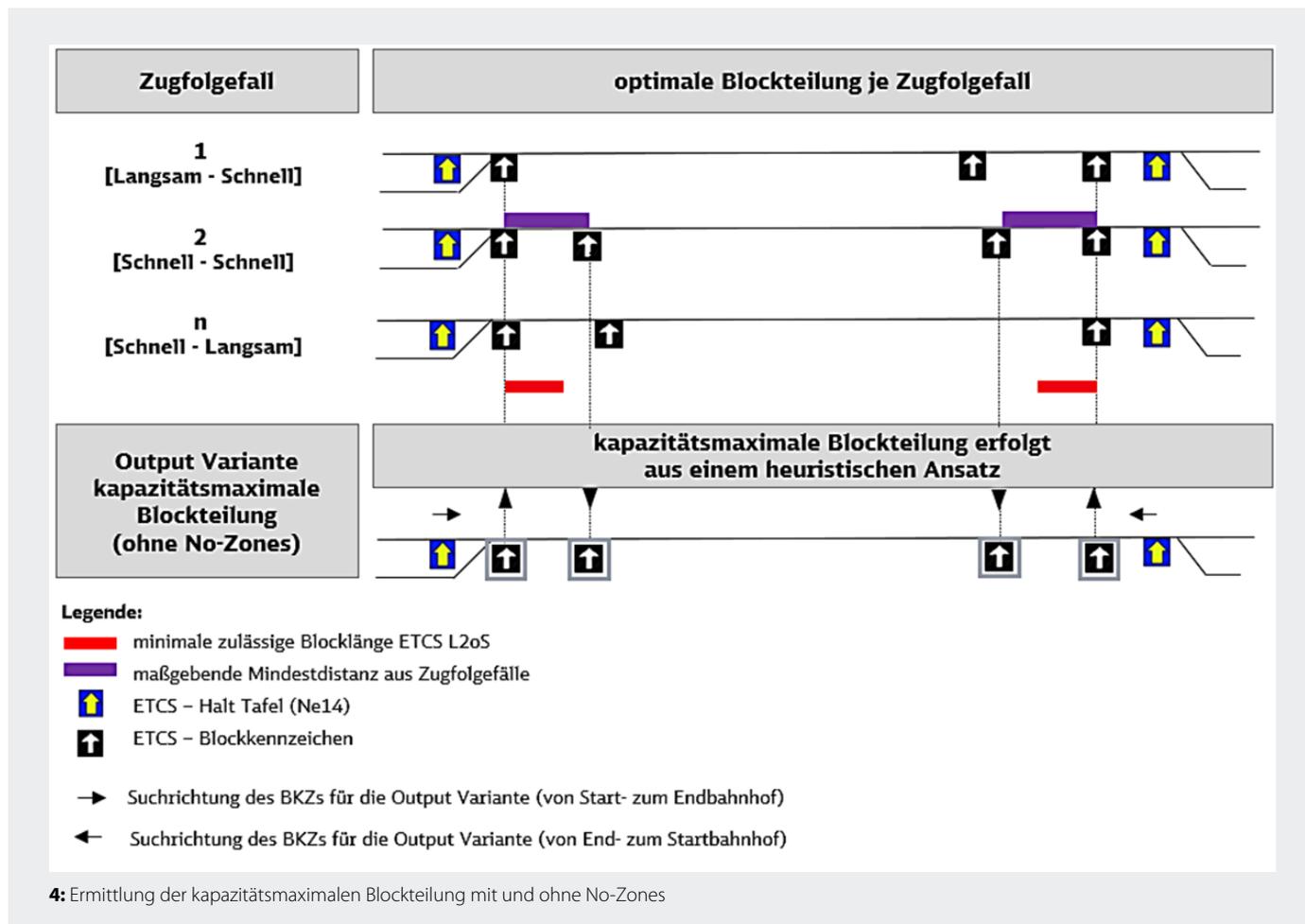
Da der Schwerpunkt dieses Beitrags auf der Beschreibung der Algorithmen liegt, die die kapazitätsmaximale Blockteilung unter Berücksichtigung der No-Zones liefern, wird im Folgenden auf die Module 5, 6 und 7 näher eingegangen. Die Platzierung der Balisen (Modul 8) erfolgt im Algorithmus direkt als Ergebnis der Blockteilung, da sich die Planungsvorgaben zum einen Element auf das andere auswirken können (bspw. die Lage der ETCS-BKZ auf

die Lage der Balisen). Das Modul 8 wird im Artikel nicht beschrieben. Die Herleitung einer kapazitätserforderlichen Blockteilung (Modul 9) ist ebenfalls nicht Teil der Behandlung in diesem Artikel.

**4. Algorithmus zur kapazitätsmaximalen Blockteilung im ETCS L2oS-System**

In Abschnitt 3 wird erklärt, warum das Ermitteln der maximalen Kapazität eine notwendige Voraussetzung für die Planung entsprechend dem erforderlichen Kapazitätsbedarf darstellt. Um die kapazitätsmaximale Blockteilung zu erhalten, sollten restriktive Nebenbedingungen in Form von No-Zones berücksichtigt werden.

Zuerst wird die theoretische kapazitätsmaximale Blockteilung ohne Betrachtung der No-Zones errechnet (Bild 2 – Modul 5). Anschließend werden die No-Zones betrachtet und überprüft, ob sich Elemente der gefundenen Lösung innerhalb dieser Bereiche befinden (Bild 2 – Modul 6). Abhängig vom Ergebnis des Modules 6 wird die Blockteilung inklusive No-Zones kapazitätsoptimiert.



**4.1. Algorithmus zur kapazitätsmaximalen Blockteilung ohne No-Zones**

Mit dem nachfolgenden Algorithmus ist es möglich, eine kapazitätsmaximale Blockteilung mit einer minimalen Anzahl von Balisen und ETCS-BKZ zu erreichen.

Der Algorithmus funktioniert so, dass die kapazitätsmaximale Blockteilung inkrementell aufgebaut wird. In jedem Inkrement des Algorithmus wird die maßgebende Mindestdistanz aus einzelnen Zugfolgefällen aus Modul 4 abgebildet (Bild 3). Diese Distanz muss größer oder gleich der minimalen zulässigen Blocklänge sein. Der Algorithmus bildet die nächste maßgebende Mindestdistanz ausgehend vom letzten ETCS-BKZ (für Inkrement 1 von ETCS-Halt-Tafeln), und zwar parallel vom Start- zum Endbahnhof und vom End- zum Startbahnhof (siehe Bild 3). Auf diese Weise wird die Blockverdichtung an den Stellen erfolgen, die maßgebend sind, entweder

- 1. aufgrund von Geschwindigkeitsverhältnissen der Züge oder

- 2. aufgrund der infrastrukturellen Merkmale (z.B. Sprünge im Geschwindigkeitsprofil der Strecke).

Nach jedem Inkrement erfolgt die Aktualisierung der optimalen Blockteilung je Zugfolgefall (Startpunkt für die Durchführung des Algorithmus im Modul 4 für das nächste Inkrement). Danach werden die Vorgänge wiederholt (Bild 4).

Der Prozess wird so oft/ lange wiederholt, bis eine der zwei definierten Abbruchbedingungen des Algorithmus erfüllt ist: Entweder gibt es keinen Platz mehr für die Platzierung eines neuen ETCS-BKZ unter Berücksichtigung des minimal zulässigen Abstands zum vorherigen/ folgenden, oder die Platzierung eines neuen ETCS-BKZ führt bei keiner Zugfolge zu einer weiteren Reduktion der minimalen Zugfolgezeit.

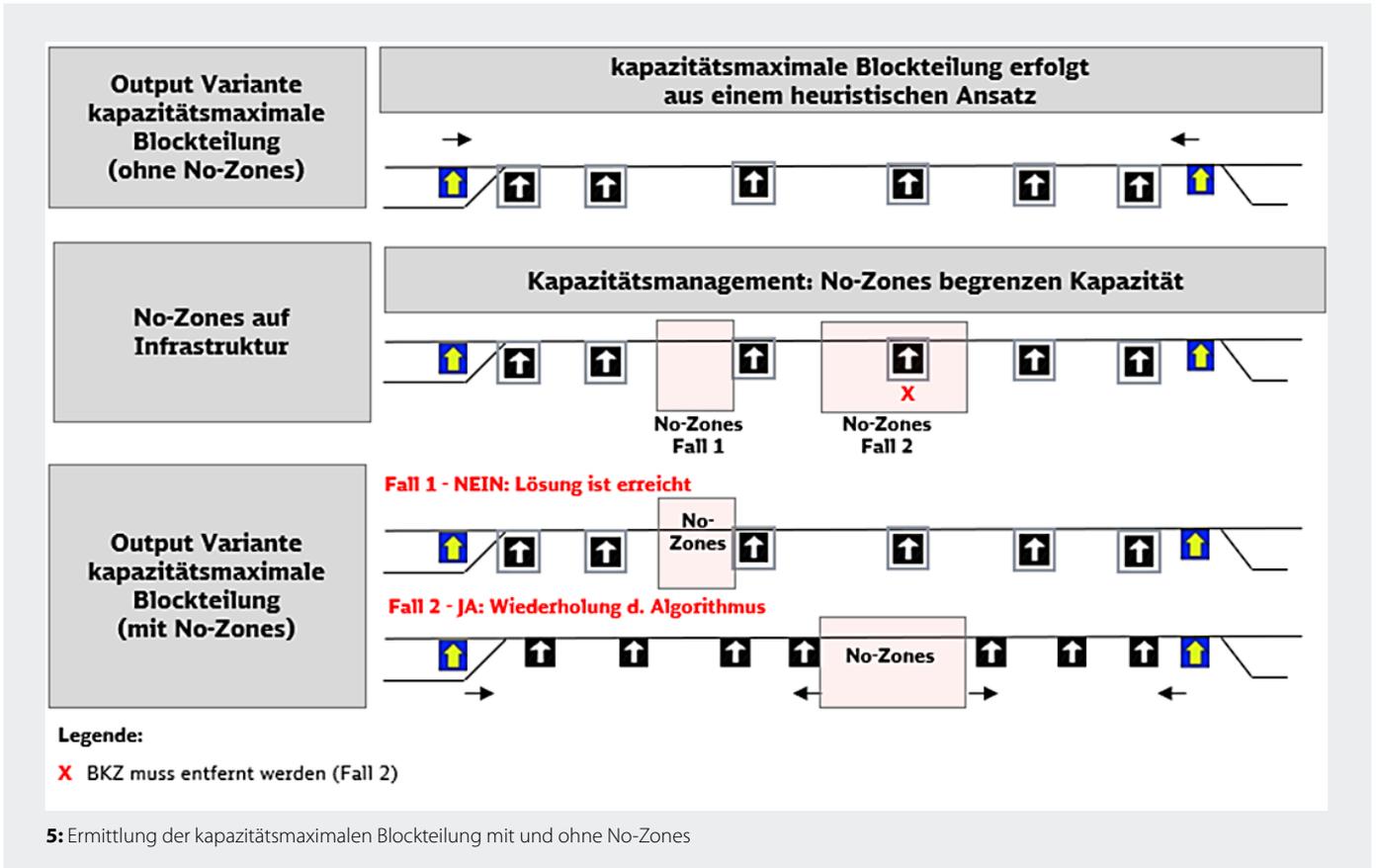
**4.2. Algorithmus zur kapazitätsmaximalen Blockteilung mit No-Zones**

Nachdem die kapazitätsmaximale Blockteilung ohne Betrachtung der No-Zones

erreicht wurde, ist zu prüfen, inwieweit die No-Zones die Kapazität begrenzen (Modul 6 – Bild 2). Der Vorteil dieses Schrittes besteht darin, dass ein eindeutiger Einfluss der aktuell gültigen No-Zones auf die Kapazität gezeigt werden kann. Andererseits bietet er Flexibilität bei der Planung für den Fall, dass einige Planungsausschlüsse in Zukunft entfallen (Anforderungen aus Kapitel 2.2).

Die grafische Interpretation dieses Prozesses ist in Bild 5 dargestellt. Wenn sich die Elemente nicht innerhalb der No-Zones befinden, wurde bereits die kapazitätsmaximale Blockteilung erreicht (Fall 1 – Bild 5).

Wenn sich die Elemente innerhalb der No-Zones befinden (Fall 2 – Bild 5), werden sie zunächst entfernt und eine Änderung der Kapazität wird überprüft. Wenn sich keine Änderung in der Kapazität ergibt, wurde ebenfalls bereits die kapazitätsmaximale Blockteilung erreicht. Andernfalls wird der Algorithmus erneut ausgeführt, diesmal mit No-Zones. Auf diese Weise kann der Einfluss der No-Zones auf die Kapazität gemessen und die maximal mögliche



che Leistung der Strecke mit bestehenden Restriktionen ermittelt werden.

**5. Anwendungsbeispiel**

Für die Prüfung des Algorithmus wurden Beispieldaten aus dem Ausrüstungsbereich des Digitalen Knotens Stuttgart (DKS) verwendet. Dabei erfolgte eine erste Erprobung des Algorithmus für die Strecke zwischen Leonberg und Korntal mit Korntal als Start- und Leonberg als Zielbahnhof (siehe Bild 6).

**Input**

Die Inputdaten beziehen sich auf die Daten zur Modellierung der Infrastruktur und der Modellzüge. Für die Modellierung der Infrastruktur wurde eine ganze Reihe von Daten verwendet:

1. die Positionen der Weichen,
2. die Positionen der Ein- und Ausfahrtsignale in den Bahnhöfen des ausgewählten Abschnitts,
3. die Positionen der Bahnsteiganfänge und -enden,
4. das Profil der zulässigen Geschwindigkeit und
5. das Längsneigungsprofil.

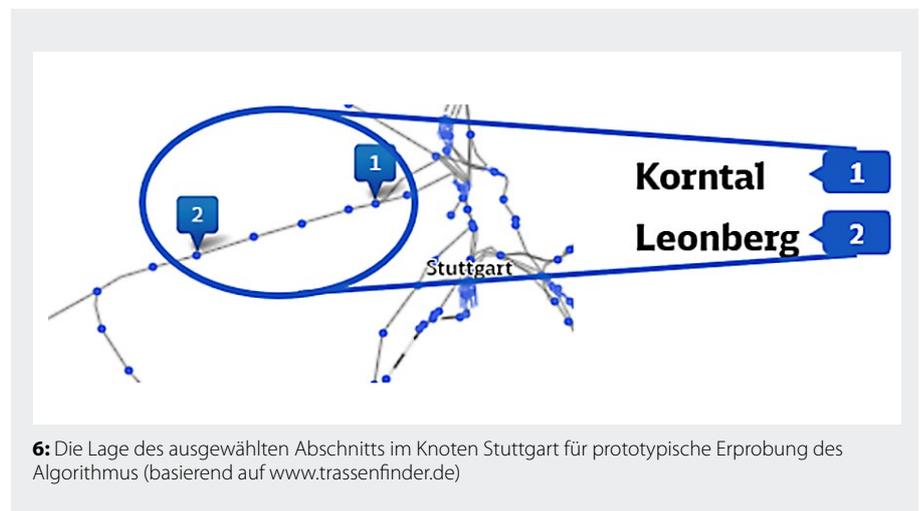
Basierend auf drei Zugmodellen (siehe Tabelle 1) wurden insgesamt 16 Kombinationen der Zugfolgefälle angenommen.

**Test**

Nach der Modellierung der Infrastruktur auf Basis von Testdaten wurden verschiedene Eingangsszenarien zur Überprüfung des Algorithmus generiert. Der Referenztestfall umfasste die Platzierung der ETCS-Halt-Tafeln an den Positionen bestehender Ein- und Ausfahrtsignale (Lichtsignale) in

Korntal, Ditzingen und Leonberg, wobei Blocksignale ignoriert wurden. Der Bereich zwischen dem Ausfahrtsignal in Korntal und dem Einfahrtsignal in Leonberg stellte den Optimierungsbereich des Algorithmus dar. Der Test wurde mit und ohne No-Zones durchgeführt, wobei angenommen wurde, dass als No-Zones Folgende gelten:

1. Weichen,
2. Bahnsteige und
3. Brücken.



6: Die Lage des ausgewählten Abschnitts im Knoten Stuttgart für prototypische Erprobung des Algorithmus (basierend auf www.trassenfinder.de)



7: Ergebnis der Validierung des Algorithmus zur kapazitätsmaximalen Blockteilung

Auf die daraufhin ermittelte kapazitätsmaximale Blockteilung wurde zur Validierung ein Betriebsprogramm angewendet. Der Vergleich der Auswirkungen der No-Zones erfolgte ebenfalls auf Basis dieses Betriebsprogramms.

**Ergebnis**

Die Ergebnisse sind im Bild 7 dargestellt. Die durch den Algorithmus generierte kapazitätsmaximale Blockteilung (ohne No-Zones) zeigt erwartungsgemäß eine Blockverdichtung an Stellen, an denen Züge bremsen oder beschleunigen. Erste Tests bestätigen zudem, dass der Algorithmus den Einfluss vieler kurzer No-Zone-Bereiche auf die Kapazität effektiv neutralisieren kann, wie es bei diesem Testbeispiel zu sehen ist (siehe mittlere Mindestzugfolgezeit im Bild 7).

**6. Zusammenfassung und Ausblick**

In diesem Artikel wurde ein generischer Ansatz vorgestellt, der sich hauptsächlich auf

die Erforschung der maximalen Kapazität bei der ETCS L2oS Blockteilung auf der „grünen Wiese“ konzentriert. Der vorgeschlagene Ansatz unterscheidet sich von den derzeit verfügbaren Ansätzen, indem er

1. bestehende Restriktionen in Form von No-Zones auf generische Weise berücksichtigt und
2. einen strategischen Ansatz zur Kapazitätsplanung für den Fall zukünftiger Änderungen der Planungsvorgaben sowie für den Fall zukünftiger möglicher Bedarfe an größeren Kapazitäten bietet.

Dazu wurde die Belegungszeitberechnung aus [12] weiterentwickelt und es wurden

die Zugfolgefälle sowie technische und planerische Restriktionen generisch berücksichtigt.

Knoten stellen hingegen die Grenzen des entwickelten Ansatzes dar, da der Algorithmus die Blockteilung zwischen dem Ausfahrtsignal eines Knotens und dem Einfahrtsignal des nächsten Knotens optimiert. Das bedeutet, dass die Position dieser Signale innerhalb der Knoten einen erheblichen Einfluss auf die Blockteilungslösung haben kann, was besonders in großen Knoten problematisch sein könnte. Daher sollten weitere Untersuchungen den wechselseitigen Einfluss der Kapazität in den Knoten und die Gestaltung der Blockteilung zwischen ihnen genauer betrachten.

**Tabelle 1:** Modellzüge und einige ihrer Eigenschaften

Modellzug	Zuglänge (m)	Gesamtmasse (t)	Bremsstellung	ETCS-Bremsmodell
BR 423 Langzug	202,2	370,7	Bremsstellung R, 142 Brh	Gamma
BR 185 Güterzug	670	1400	Bremsstellung P, 80 Brh	Lambda
BR 195 Güterzug	420	1800	Bremsstellung P, 56 Brh	Lambda

## Literatur

- [1] <https://digitale-schiene-deutschland.de/de/digitale-schiene-deutschland/Rollout-Plan>.
- [2] Hernandez, Lyly; Hardel, Sascha (2023): Schaltabschnittsgrenzen und Bahnübergänge schränken Kapazitätseffekt von ETCS Level 2 ein, SIGNAL+DRAHT (115) 1+2 / 2023 (<https://bit.ly/40AY6br>).
- [3] Denißen, Jones; Flieger Markus; Kümmling, Michael; Küpper, Michael; Wanstrath, Sven (2021): Optimierung der Blockteilung mit ETCS Level 2 im Digitalen Knoten Stuttgart, SIGNAL+DRAHT (113) 7+8/2021 (<https://bit.ly/3Ai0gQR>).
- [4] Kümmling, Michael; Wanstrath, Sven (2024): „Digitale“ Kapazitätssteigerungen: ein Sachstand, Eisenbahn Ingenieur Kompendium (EIK) 2024 (<https://bit.ly/4CHBOfi>).
- [5] Berger, Falk; Behrens, Marc; Falk, Martin; Klaus, Christoph; Nehmsch, Holger; Ketszem, Raul; Mayerle, Tobias; Rupp, Frank (2023): Beschleunigung der LST-Planung im Digitalen Knoten Stuttgart, EI, November 2023 (<https://bit.ly/3GbKV95>).
- [6] Bitzer, Florian; Blateau, Vincent; Dietreich, Frank; Lammerskitten, Christian; Lück, Bernd; Schmale, Frederik; Schläfke, Sandra; Vogel, Thomas; Leonhard von Schaper, Max; Wanstrath, Sven (2024): Der Digitale Knoten Stuttgart zwischen Licht und Schatten, EI, März 2024 (<https://bit.ly/3PBmrV6>).
- [7] Mikulcic, Matea; Mlinaric Tomislav (2021): Railway Capacity Enhancement with Modern Signalling Systems – A Literature Review. Promet – Traffic& Transportation, Vol.33, 2021.
- [8] April, M; Barber, F; Ingolotti, L; Salido, MA; Tormos, P; Lova, A (2008): An assessment of railway capacity, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. 2008; 44(5): 774-806. DOI 10.1016/j.tre.2007.04.001.
- [9] Büker, Thorsten; Heller, Simon; Hennig, Eike; Reinhart, Peter; Weymann, Frederik (2024): Zum verkehrlichen Nutzen der Digitalen Schiene Deutschland, DER EISENBAHNINGENIEUR, Februar 2024 (<https://bit.ly/3SMoME9>).
- [10] Lastenheft BTSF3 Betrieblich – technische Systemfunktionen für ETCS SRS Baseline 3 (Stand 07.03.2016), DB Netz AG.
- [11] DB-Richtlinie 819.1344: Grundsätze zur Erstellung der Ausführungsplanung PT1 für ETCS Level 2 (Version 2.1 – gültig ab 12.05.2021), DB Netz AG.
- [12] Grubor, Nenad; Crespo, Arturo; Oetting, Andreas (2023): Vorschlag zur Belegungs- und Mindestzugfolgezeitberechnung im ETCS L2oS System, ETR 7+8/2023.
- [13] Trinckauf, Jochen; Maschek, Ulrich; Kahl, Richard; Krahl, Claudia (Hrsg.) (2020): ETCS in Deutschland, PMC Media House GmbH, Leverkusen.
- [14] Spori, Bruno; Eichenberger, Peter (2013): Optimierte Signalisierungskonzepte zur Kapazitätssteigerung mit ETCS L2. SIGNAL+DRAHT, Ausgabe 09/2013.
- [15] Vignali, Valeria; Cuppi, Federico; Lantieri, Claudio; Dimola, Nicola; Galasso, Tomaso; Rapagne, Luca (2020): A methodology for the design of sections block length on ETCS L2 railway networks, Journal of Rail Transport Planning & Management 13 (2020) 100160.

- [16] Glenford J., Myers; Badgett, Tom; Sandler, Corey (2012): The Art of Software Testing, 3rd ed. Hoboken, NJ, USA, Wiley 2012.
- [17] European Railway Agency, SUBSET-026\_v340 System Requirement Specification, 15.06.2026 (<https://www.era.europa.eu/era-folder/archived-set-specifications-3-etcs-b3-r2-gsm-r-b1>).

## Summary

### Approach to semi-automated capacity-optimised block division of ETCS L2oS areas

The European Train Control System Level 2 without signals (ETCS L2oS) offers the potential to increase capacity on the rail network. This article highlights a possible contribution to capacity-optimised ETCS L2oS planning and presents part of the research cooperation between Digital Rail Germany (DSD) and TU Darmstadt.

**5** Fachtagung  
**Eisenbahnrecht & Technik**

23. und 24. Juni 2025  
Universität Aachen

Weitere Informationen finden Sie unter  
[www.eurailpress.de/fet2025](http://www.eurailpress.de/fet2025)

Veranstalter: Eurailpress

In Zusammenarbeit mit:

Eisenbahn-Bundesamt

GOETHE UNIVERSITÄT FRANKFURT AM MAIN

RWTH AACHEN UNIVERSITY

UNIVERSITÄT PASSAU

save the date

27. Jahresfachtagung der

**Eisenbahn-Sachverständigen**

13. – 14. Februar 2025

in **Berlin****HYBRID****JETZT  
ANMELDEN**

Veranstalter:



In Zusammenarbeit mit:

**Rückenwind für die Schiene**

Auch wenn der Bedarf noch größer ist und längst nicht alle Vorhaben finanziert sind, so stehen für die kommenden Jahre doch umfangreiche Finanzmittel für den Schienenverkehr in Deutschland zur Verfügung. Damit verbunden ist die klare Erwartungshaltung der Politik, dass in absehbarer Zeit auch tatsächlich eine Verbesserung von Zuverlässigkeit und Kapazität erreicht wird.

Die 27. Jahrestagung der Eisenbahn-Sachverständigen am 13. und 14. Februar 2025 – erstmals in Berlin – greift vor diesem Hintergrund aktuelle Fachthemen auf. Am Plenumstag wird es nach einer Einordnung durch das Bundesverkehrsministerium um die Korridorsanierung, um die Rahmenbedingungen aus Sicht der Industrie und um Nachhaltigkeit beim Verkehrsträger

Schiene gehen. Auf der Fahrzeugseite werden nicht nur Neuigkeiten der ERA zum vierten Eisenbahnpaket, sondern auch konkrete Fragestellungen der Fahrzeug-Schiene-Interaktion beleuchtet.

Die Schaffung und Sicherstellung der erforderlichen Ressourcen wird in der abschließenden Podiumsdiskussion mit Vertreterinnen und Vertretern aus der Branche, der Wissenschaft und der Sachverständigen besprochen. Am zweiten Tag der Veranstaltung geht es dann in den drei fachbezogenen Workshops in bewährter Form vertiefend um aktuelle Projekte und Verfahren aus den Bereichen Ingenieur- und Hochbau, Leit- und Sicherungstechnik sowie Fahrzeuge.

**Info****Termin:**

Donnerstag, den 13. Februar 2025 bis  
Freitag, den 14. Februar 2025

in Berlin im **ECC Berlin**  
(Estrel Congress Center)

**Webseite:**

[www.eurailpress.de/eba2025](http://www.eurailpress.de/eba2025)

**Veranstalter:**

DVV Media Group GmbH | Eurailpress

Postfach 10 16 09

D-20010 Hamburg

Tel.: +49 (0)40/237 14-470

Fax: +49 (0)40/237 14-471

**Teilnahmebeitrag:**

€ 765,-\*<sup>1</sup>

€ 665,-\*<sup>1</sup> für persönliche Mitglieder des VDEI/VPI\*<sup>2</sup>

€ 165,-\*<sup>1</sup> staatliche und kommunale Behörden und Studenten

€ 565,-\*<sup>1</sup> virtuelle Teilnahme (Livestream)

\*<sup>1</sup> zuzüglich MwSt.

\*<sup>2</sup> VDEI: Verband Deutscher Eisenbahn-Ingenieure e.V. /

VPI: Bundesvereinigung der Prüferingenieure für Bautechnik e.V.

**Ansprechpartnerin Organisation:**

**Daniela Hennig**

[daniela.hennig@dvvmedia.com](mailto:daniela.hennig@dvvmedia.com)

**Ansprechpartner Sponsoren:**

**Tim Feindt**

[tim.feindt@dvvmedia.com](mailto:tim.feindt@dvvmedia.com)

Tel.: 040/237 14 - 220

**Medienpartner:**

DER **EI**  
EISENBahn  
INGENIEUR

**ETR**  
EISENBahnTECHNISCHE RUNDschau

**SIGNAL + DRAHT**  
SIGNALUNG & DATENKOMMUNIKATION

**DER NAHVERKEHR**  
Öffentlicher Personennahverkehr in Ost und West

## Programm Donnerstag, 13. Februar 2025

### Plenumsveranstaltung

Moderation: Markus Köppel, Eisenbahn-Bundesamt

13:30	<b>Begrüßung</b> Manuel Bosch, Verlagsleiter, DVV Media	15:40	<b>Fahrzeugzulassung:</b> aktueller Stand der ERA-Arbeitsgruppe zum 4. EP und künftige Herausforderungen Frank Leißner, ERA	17:20	<b>Podiumsdiskussion:</b> <b>Wie schaffen wir Ressourcen?</b> Jens Müller, DB InfraGO Axel Schuppe, VDB Markus Hennecke, vpi-EBA Birgit Milius, TU Berlin / VDEI
13:35	<b>Eröffnung &amp; Einleitung</b> Stefan Dernbach, Eisenbahn-Bundesamt	16:05	<b>Fahrzeug-Schiene-Interaktion:</b> Ein Überblick aktueller Themen im Lenkungsreis Fahrzeuge und das konkrete Beispiel Brückendynamik Hans-Peter Lang, DB AG Lars-Christian Reinhold, DB AG	18:30	Ende des ersten Veranstaltungstages
13:45	<b>Finanzierung und Perspektive des Schienenverkehrs in Deutschland</b> n.n., BMDV ( <i>angefragt</i> )	16:50	<b>Nachhaltigkeit bei der Deutschen Bahn</b> Katrin Habenschaden, DB AG		
14:15	<b>Korridorsanierung: Erfahrungen mit der Riedbahn und Ausblick auf kommende Korridore</b> Gerd-Dietrich Bolte, DB InfraGO	17:15	<b>Kaffeepause</b>		
14:45	<b>Mittagspause</b>				
15:15	<b>Rahmenbedingungen aus Sicht der Industrie</b> Sarah Stark, VDB				

## Programm Freitag, 14. Februar 2025

### Workshop 1

Fachbereich Ingenieurbau, Oberbau, Hochbau

Moderation: Dr. Hartmut Freystein, Eisenbahn-Bundesamt

09:00	<b>Einführung / Aktuelles</b> Dr. Hartmut Freystein, Eisenbahn-Bundesamt
09:10	<b>Bahnstromrückführung, Erdung von Bauwerken</b> Prof. Dr. Steffen Röhlig, Rail Power Systems
09:50	<b>Kathodischer Korrosionsschutz</b> Dr. Hans-Bernd Pillkahn, MUT Dr. Frank Prenger, Corraprotect
10:30	<b>Neues aus Regelwerk und aktuelle Fragen des KIB</b> Jens Müller, DB
11:00	<b>Kaffeepause</b>
11:30	<b>Begutachtung der historischen Stahlgusslager des Chemnitzer Viadukts</b> Univ.-Prof. Dr. Martin Mensinger, TU München
12:00	<b>Arbeitstitel: S21 Stuttgart – Großer Bahnhof, einige Tunnel und viele Herausforderungen</b> Michael Pradel, DB
12:40	<b>Weiterentwicklung des rechtlichen Rahmens – EIGV, VV PSV und BauproduktenVO</b> Jürgen Blossfeld / Philipp Berghäuser, Eisenbahn-Bundesamt
13:20	<b>Fragen &amp; Antworten / Abschlussdiskussion</b> Dr. Hartmut Freystein, Eisenbahn-Bundesamt
13:30	Ende des Workshops

### Workshop 2

Fachbereich Leit- und Sicherungstechnik, Elektrische Anlagen, Telekommunikationsanlagen

Moderation: Dr. Ralph Fischer, Eisenbahn-Bundesamt

09:00	<b>Einführung / Aktuelles</b> Dr. Ralph Fischer, Eisenbahn-Bundesamt
09:45	<b>Neues aus dem Digitalen Knoten Stuttgart</b> Peter Reinhart, DB InfraGO
10:45	<b>Optimierung von Plan- und Abnahmeleistungen</b> Dr. Volkmar Bachmann, DB InfraGO
11:15	<b>Kaffeepause</b>
11:45	<b>Digital Track Services – Nutzung georeferenzierter Datenmodelle zur digital-gestützten Abnahme</b> Carolin Baier, Siemens
12:15	<b>FRMCS – Einführung bei der DB InfraGO AG</b> Rainer Fachinger/Achim Vrieling, DB InfraGO
13:15	<b>Abschlussmoderation</b> Dr. Ralph Fischer, Eisenbahn-Bundesamt
13:30	Ende des Workshops

### Workshop 3

Fachbereich Fahrzeuge

Moderation: Volker Rupprecht, Eisenbahn-Bundesamt

09:30	<b>Einführung / Aktuelles</b> Volker Rupprecht, Eisenbahn-Bundesamt
09:35	<b>Vorstellung der DSD-Koordinierungsstelle</b> Hans-Peter Lang, DB AG
10:05	<b>Richtlinie ‚First-of-Class Sofortprogramm zur Förderung der ERTMS-Ausrüstung von Bestandsfahrzeugen‘</b> Matthias Potrafke, BMDV
10:35	<b>ETCS-Nachrüstung an Fahrzeugen – Internationale Genehmigung; ein Erfahrungsbericht</b> Daniel Salomon Moran / Lukas Echelmeyer, Alstom Transport Deutschland
11:05	<b>Kaffeepause</b>
11:35	<b>Die Erfassung der Anforderungen bei der Genehmigung für das Inverkehrbringen von Fahrzeugen – Erfahrungsberichte aus Sicht Antragsteller und Unabhängiger Bewertungsstelle</b> Dr. Klaus Hempelmann, Stadler Deutschland Ralf Fleischmann, Alstom Transport Deutschland Eggert Jung, TÜV Nord Systems Dr. Jörg May, ERC.RAIL
12:35	<b>Erfahrungen bei der Genehmigung zum Inverkehrbringen TSI-konformer Nebenfahrzeuge</b> Matthias Schienstock / Tim Bothorn, Windhoff Bahn- und Anlagentechnik
13:05	<b>Fragen &amp; Antworten Abschlussdiskussion</b> Volker Rupprecht, Eisenbahn-Bundesamt
13:15	Ende des Workshops

Das Programm finden Sie auch online unter:  
[www.eurailpress.de/veranstaltungen](http://www.eurailpress.de/veranstaltungen)