

Algorithmische Standards zur teilautomatisierten Herleitung idealer Blocklayouts

Um Kapazitäten auf dem Schienennetz steigern zu können, sind Standorte für Blockkennzeichen ideal zu wählen. Diese werden heutzutage per iterativem Verfahren bestimmt, was hohe Erfahrungswerte von Bearbeiter:innen erfordert. Durch eine Teilautomatisierung der Prozesse kann dabei unterstützt werden, Kapazitäten der Strecke unter einem zuvor definierten Ressourceneinsatz möglichst zu maximieren.



Einleitung

Die Einführung des European Train Control Systems (ETCS) stellt ein wesentliches Teilelement der Digitalisierung des deutschen Schienennetzes dar. Neben der Herstellung der Interoperabilität und der Einführung eines gemeinsamen europäischen Zugsicherungsstandards kann durch die flächendeckende Einführung von ETCS Level 2 eine Kapazitätssteigerung von netzweit etwa sieben Prozentpunkten erreicht werden. Hierzu ist jedoch eine zielgerichtete Umsetzung mit optimierter Blockteilung erforderlich [1].

Zur Herleitung dieser Kennzahl wurde ein netzweiter Ansatz gewählt; entsprechend liegt für einzelne Strecken keine optimierte Blockteilung vor. Diese müssen im konkreten Umsetzungsfall mittels eisenbahnbetriebswissenschaftlicher Untersuchung (EBWU) hergeleitet werden. Aktuell erfolgt dies händisch, es gibt jedoch verschiedene Bestrebungen, dieses Verfahren in Teilen zu automatisieren. Während [2] eine Methodik zur Herleitung einer optimierten Blockteilung auf der „grünen Wiese“ darstellt, die besonders gut für Neubaustrecken genutzt werden kann, bietet die in [3] dargestellte Methodik die Möglichkeit, ein optimiertes Blocklayout für Bestandsstrecken herzuleiten. Diese kann sowohl für die Umsetzungsvarianten ETCS Level 2 „ohne Signale“ als auch „mit Signalen“ genutzt werden.

Folgender Artikel baut im Wesentlichen auf [3] auf. Dabei werden die Inhalte zunächst noch einmal kurz wiedergegeben. Anschließend wird der Fokus darauf gelegt, welche Logik zur Herleitung einer Initiallösung für die weiteren Optimierungsschritte angewendet wird. Ebenfalls wird auf einzelne Aspekte eingegangen, die bei der Optimierung zu beachten sind.

Übergeordnete Methodik

Um den EBWU-Prozess mittels Teilautomatisierung zu unterstützen, sind mehrere Prozessschritte vorgesehen, zwischen denen bewusst manuelle Prüfschritte durchzuführen sind. Als Toollösung wird derzeit eine prototypische Kombination aus LUKS, Python sowie Microsoft Excel/VBA mitsamt nicht-linearem Optimierungsbaukasten genutzt. Die einzelnen Schritte sind dabei folgende:

1. Pflege der grundlegenden Infrastruktur, wie bspw. Topologie, Neigungen, Halteplätze (LUKS)
2. Automatisiertes Einspielen einer (zu) dichten Blockteilung mitsamt Gleisfreimeldung gemäß Regelset als Initiallösung (Python, LUKS)
3. Aufbereitung eines Betriebsprogramms, welches den Zugmix und die Zugeigenschaften beinhaltet (LUKS)
4. Hinterlegung relevanter Informationen für Optimierung, wie bspw. Verbotszonen, als fix unterstellte Signalstandorte, spezifi-



Philipp Scherer, M.Sc.

Senior Consultant bei quattron GmbH
philipp.scherer@quattron.com



Dipl.-Ing. Guilherme Guimarães

Consultant bei quattron GmbH
guilherme.guimaraes@quattron.com



1: Zuschnitt einer Beispielinfrastruktur für darauf aufbauende Prozessschritte

5. Bestimmung der idealen Blockteilung durch nicht-lineare Optimierung (Excel/VBA)
6. Manuelle Nachbearbeitung der Startlösung (LUKS)
7. Iterative Fortschreibung der betrieblichen Bewertung im Zusammenspiel mit der tatsächlichen LST-Planung

Perspektivisch wird eine Integration aller Prozessschritte in LUKS angestrebt, um die Anzahl der Schnittstellen gering zu halten und Fehler aus der Datenübertragung zwischen den einzelnen Prozessschritten zu vermeiden. Vorteilhaft ist, dass LUKS ein Standardtool zur Durchführung von EBWU darstellt und die Integration der einzelnen Komponenten in eine EBWU-Bearbeiter:innen bekannte Umgebung erfolgen kann.

In den nachfolgenden Kapiteln werden insbesondere die Prozessschritte zwei und fünf beleuchtet.

Herleitung einer Initiallösung

Um den übergeordneten Optimierungsprozess zur Herleitung eines idealen Blocklayouts starten zu können, bedarf es einer feingliedrigen, aber diskreten Blockteilung als Initiallösung. In den weiteren Prozessschritten wird auf Basis dieser Blockteilung (nebst Randbedingungen) und dem hinterlegten Betriebsprogramm geprüft, welche Standorte von Blockkennzeichen (Bk) zwingend sind, um eine dichte Zugfolge zu ermöglichen und welche keinen wesentlichen Einfluss auf die angestrebte Zugfolgezeit haben. Diese können dann für die weiteren Schritte aus der Initiallösung eliminiert werden.

Für die Entwicklung einer fundierten und nach Regelwerk korrekten Initiallösung ist es erforderlich, dass die grundlegende Infrastruktur gepflegt und verfü-

bar ist. Mindestens sollten Topologie und Neigung sowie Halteplätze in den Infrastrukturdaten vorhanden sein. Darüber hinaus können optional noch Signale oder Freimeldeelemente, die beim Neuaufsatz des Blocklayouts nicht zurückgebaut werden sollen, definiert werden. Dies ist immer dann notwendig, wenn diese als Randbedingung in den weiteren Prozessschritten mitberücksichtigt werden sollen.

Zum Aufsatz des Initiallayouts sind derzeit mehrere Voreinstellungen durchzuführen. Dies beinhaltet einerseits die Abgrenzung von Knoten von der „freien Strecke“ sowie das Festlegen verschiedener Parameter, die für das richtlinienkonforme und zugleich sinnvolle automatisierte Setzen von Blockkennzeichen erforderlich sind. Die Grenzen zwischen Knoten und der freien Strecke sind in der Regel die ersten Weichen, die hinter den (alten) Einfahrsignalen des Bahnhofs liegen. Sie werden im Folgenden als Trennweichen bezeichnet. In Abbildung 1 ist eine Visualisierung für eine beispielhafte Strecke dargestellt.

Neben der Unterteilung Knoten und freie Strecke sind hier ebenfalls Haltepunkte eingezeichnet. Diese sind bei der Initiallösung gesondert zu behandeln, um die Infrastruktur für den geplanten Haltefall möglichst optimal zu nutzen und notwendige Schutzstrecken sicherzustellen. Aufbauend auf dieser Untergliederung werden im Wesentlichen vier Grundregeln unterschieden, für die Parameter zu definieren sind, sodass eine vollumfängliche Initiallösung verfügbar ist. Diese sind in den Abbildungen 2a bis 2d skizzenhaft mit zugehörigen und zu pflegenden Parametern dargestellt:

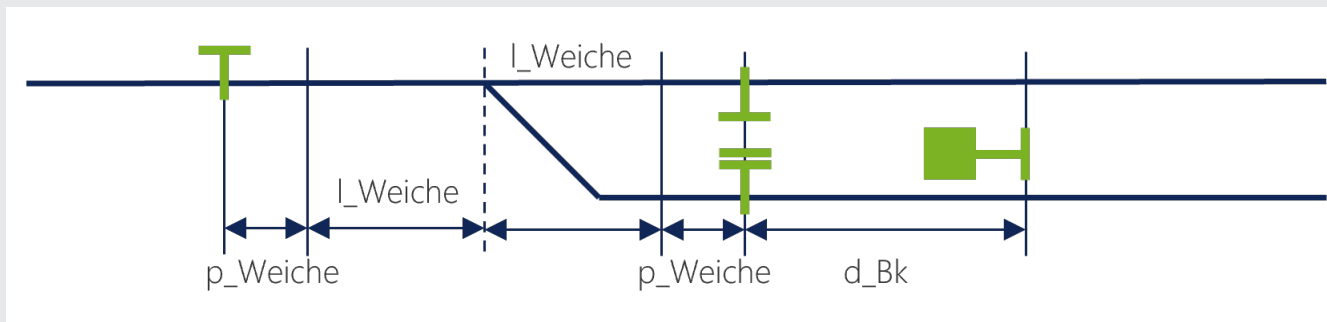
1. Parameter zur Blockteilung um Trennweichen und Überleitstellen (Üst), vgl. Abbildung 2a
2. Blockteilung für die freie Strecke, vgl. Abbildung 2b

3. Blockteilung um Haltepunkte, vgl. Abbildung 2c
4. Blockteilung und Parameter im Knoten, vgl. Abbildung 2d

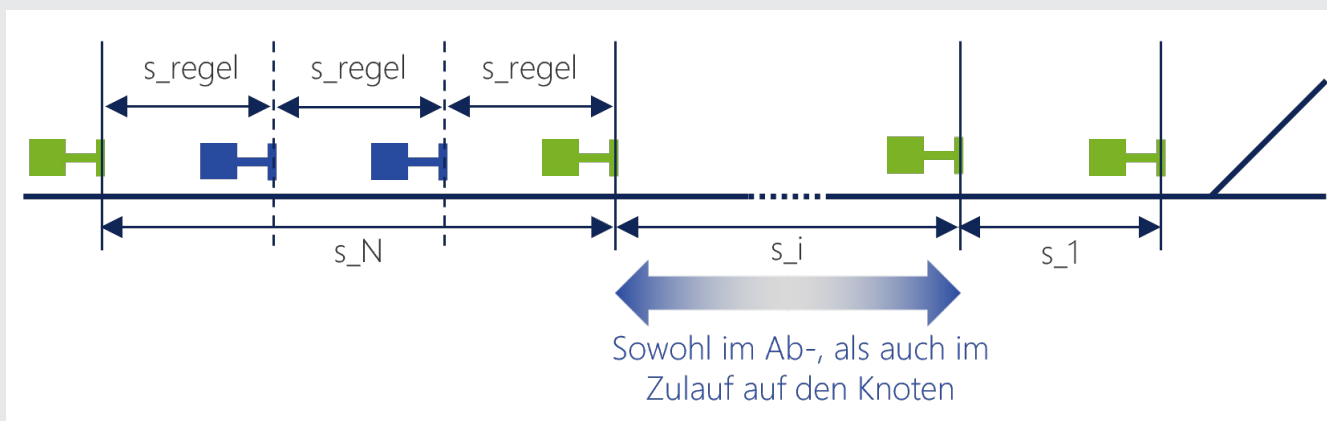
Eine Erklärung, was die einzelnen Parameter darstellen, ist in der darauffolgenden Tabelle 1 gegeben. Ebenfalls sind hier Default-Werte dargestellt, die sich bei ersten Testungen als sinnvoll erwiesen haben.

Eine Begründung für die Kondensation der Fragestellung auf die gewählten Parameter lautet wie folgt:

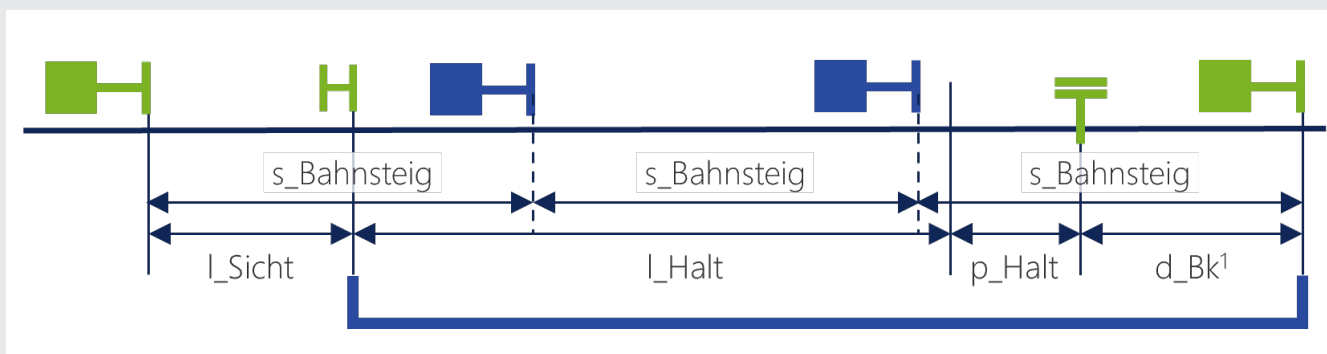
1. Um die Infrastruktur ideal zu nutzen, sollen Züge auf der freien Strecke möglichst dicht bis zum Bahnhof vorrücken, ohne dass hier Fahrmöglichkeiten nur eingeschränkt verfügbar sind. Entsprechend sind die Standorte für die Weichen deckenden Bk so zu wählen, dass der zugehörige Durchrutschweg (D-Weg) nicht bis in diese hineinragt. Gleiches gilt für Üst. Bei der unterstellten Weichenlänge wird in Knoten von „langsameren“ Weichen ausgegangen als bei Üst, da im Knoten zumeist ohnehin abgebremst werden muss.
2. Für die Blockteilung auf der freien Strecke ist die Möglichkeit eines „sich ausdünnenden“ Blocklayouts gegeben. Hintergrund ist, dass nahe der Knoten meist mit niedrigeren Geschwindigkeiten gefahren wird als auf der freien Strecke. Um ein schnelles Nachrücken der Züge zu ermöglichen, ist daher in diesen Bereichen eine dichtere Blockteilung anzunehmen. Nicht äquidistante, generische Blockteilungen aus verschiedenen Forschungsarbeiten [4] können daher als Startlösung per Parameter definiert werden. Da konkrete Streckeneigenschaften nicht berücksichtigt sind, kann eine feingliedrigere, äquidistante Blockteilung zum Nachverdichten ergänzend durchgeführt werden.



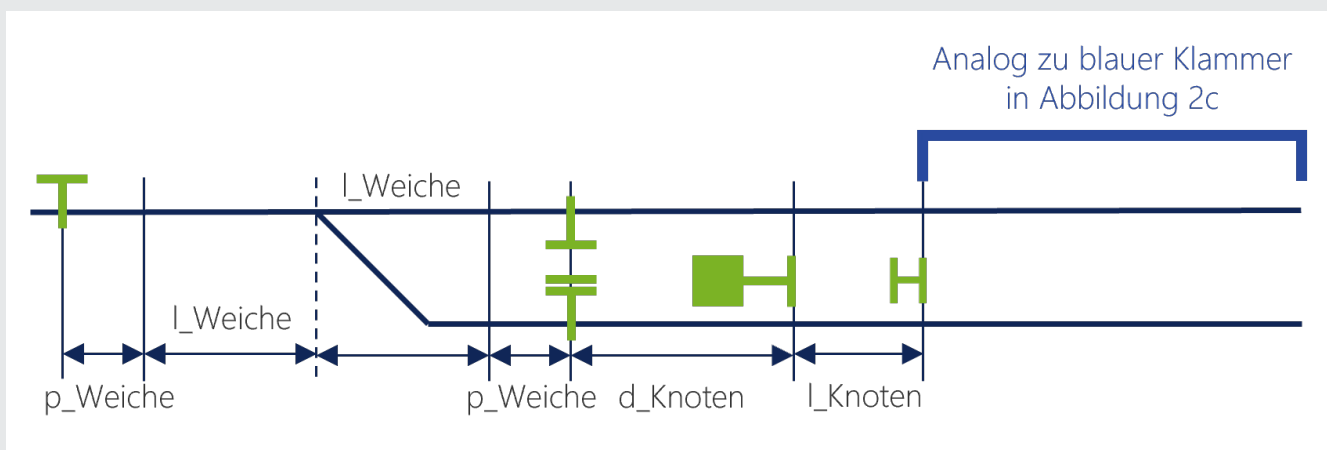
2a: Parameter für Infrastrukturelemente um die Trennweiche



2b: Parameter der Blockteilung auf der freien Strecke



2c: Parameter der Blockteilung um und entlang Haltepunkten



2d: Parameter für Infrastrukturelemente in Knoten

3. Für Haltepunkte gilt es, neben der Sicherstellung von Schutzstrecken für einen gewöhnlichen Halteort einerseits den Brems- und Beschleunigungsvorgang der haltenden Züge mit möglichst wenig Kapazitätsverbrauch abzufangen. Andererseits muss darauf geachtet werden, dass die Blockteilung im Bereich entlang des Haltepunkts (meist entlang des Bahnsteigs) so gewählt ist, dass haltende Züge möglichst wenige Blöcke parallel belegen. Damit einher geht:

- a. Das Ermöglichen einer „freien“ Bremsung in den Halt, ohne Restriktionen durch ETCS-Überwachungskurven. Hierzu ist die Distanz I_{Sicht} ausreichend groß zu wählen.
- b. Die Wahl einer Blockteilung so, dass der längste Zug in die gewählten Blöcke passt. Dabei ist darauf zu achten, dass Züge nicht immer exakt am definierten Halteplatz zum Stehen kommen, weshalb ein kleiner Puffer p_{Halt} berücksichtigt werden muss.
- c. Die Wahl der Blockteilung vor und hinter dem Haltepunkt analog zur Blockteilung vor und hinter Trennweichen auf der freien Strecke. Somit ist es möglich, auch in diesen Bereichen eine „sich ausdünnende“ Blockteilung zu ermöglichen, die für

Brems- und Beschleunigungsvorgänge sinnvoll sein kann.

Darüber hinaus sollen Bk entlang des Bahnsteigs realisiert werden können.

4. Im Knoten selbst ist die Herleitung einer Initiallösung schwierig, da jeder Knoten sehr spezifische Eigenschaften aufweist. Daher wird die hier dargestellte Methodik zunächst nur für die Zwischenweichenabschnitte in Knoten angewendet, in denen Halteplätze vorhanden sind. Während die Verdichtung entlang des Halteplatzes (meist des Bahnsteigs) analog zum Schritt 3b. erfolgt, ist insbesondere die Position des Ausfahrt-zeigenden Bk optimiert zu wählen. Hier wird darauf geachtet, dass dieses möglichst nah an der Weiche steht, ohne dass der D-Weg des zugehörigen Bk über die Weiche ragt. Es wird ein Regeldurchrutschweg d_{knoten} gewählt, der niedriger angesetzt ist als auf der freien Strecke. Dies resultiert daraus, dass Nutzlängen in Knoten meist knapp bemessen sind und somit eine optimale Nutzung des verfügbaren Platzes angestrebt wird. Dieser Wert kann bis auf d_{min} reduziert werden. Nur wenn auch dieser Wert nicht erreicht werden kann, wird akzeptiert, dass der D-Weg des Ausfahrt-zeigenden Bk über

die Weiche ragt. Generell ist zu erwähnen, dass das Initiallayout des Knotens durch Bearbeiter:innen zu prüfen und insbesondere in den Bahnhofsköpfen zu erweitern ist. Ebenfalls ist zu prüfen, ob Standorte für gewählte Bk überhaupt zulässig sind.

Auf Grundlage der dargestellten Regeln und geringfügiger Nachbearbeitung lässt sich nun die Initiallösung in den Spurplan integrieren. Dieser wird in LUKS geladen und stellt die Grundlage für die daran anschließenden Optimierungsschritte dar. Detailliert sind diese in [3] beschrieben. Ebenfalls möglich ist das Nachnutzen bereits vorhandener Lichtsignale im Spurplan, die in eine mögliche Initiallösung integriert werden sollen.

Weitere Optimierungsschritte

Um ein auch in der Realität umsetzbares und korrekt optimiertes Blocklayout zu erhalten, sind in den nächsten Prozessschritten weitere Randbedingungen zu formulieren. Dies umfasst zunächst die Definition von fixen Standorten für Bk, die aus Regelwerks- bzw. betrieblichen Gründen aufgestellt werden müssen. Diese können in der Startlösung als „fix“ definiert bzw. bei Bedarf auch leicht verschoben werden. Ebenfalls können Verbotszonen für Bk defi-

VDI meets ITK:

Bahn. Branche. Zukunft.

Software im Fokus: KI und Automatisierung als Innovationstreiber für das System Bahn

24. und 25. September, MotionLab Berlin



www.itk-engineering.de/vdi-meets-itk



Tabelle 1: Zu pflegende Variablen

Parameter	Erklärung	Default-Wert
L_Weiche	Halbe Weichenlänge für Weichen im Knoten (Distanz Weichenmitte bis Weichenende)	25 m
p_Weiche	Distanz zwischen Weichenende und Freimeldung	5 m
d_Bk	Durchrutschweg Blockkennzeichen	70 m
L_Ueberleit	Halbe Weichenlänge für Weichen an Überleitstellen (Distanz Weichenmitte bis Weichenende)	60 m
[s_1, s_i, s_N]	Nicht äquidistant verteilte, „sich ausdünnende“ Initialblockteilung auf der freien Strecke	[70 m, ...]
s_regel	Finale Regelblockteilung zum (Nach-)Verdichten des Initiallayouts, die von s_soll abweichen kann (Streckenlänge ist kein ganzzahliges Vielfaches von s_soll)	100 m ± Δ
s_soll	Anzustrebende, äquidistante Sollblocklänge für die Initiallösung	100 m
s_min	Minimale Blocklänge der Initiallösung, die nicht unterschritten werden darf	70 m
L_Sicht	Distanz zwischen Halteplatz und Blockkennzeichen ist so zu wählen, dass möglichst ohne Bremskurvenrestriktionen in den Halt gebremst werden kann	50 m
L_Halt	Maximale Halteplatzlänge	verschieden
p_Halt	Puffer, um Freimeldung des vorherigen Blocks bei leichtem „Verbremsen“ in den Halt zu gewährleisten	10 m
s_Bahnsteig	Blocklänge, die entlang des Bahnsteigs gilt (Parameter analog zu s_Regel zu wählen), insofern zulässig	100 m
d_knoten	Durchrutschweg für Ausfahrt währendes Blockkennzeichen, meist niedriger als d_Bk	30 m
d_min	Minimaler Durchrutschweg für Ausfahrt währendes Blockkennzeichen	16 m
L_Knoten	Distanz zwischen Halteplatz und nächstem Blockkennzeichen	variabel
L_min	Minstdistanz zwischen Halteplatz und darauf folgendem Blockkennzeichen	5 m

niert werden, sodass bei der Herleitung der Optimallösung dieser Bereich nicht als Teil des Lösungsraums angesehen wird. (Dies können beispielsweise Bereiche der elektrischen Streckentrennung sein.) Darüber hinaus muss der im Untersuchungsraum verkehrende Zugmix festgelegt werden. Auf Basis der Sperr- und Belegungszeitrechnung wird durch den Algorithmus schließlich geprüft, welche Bk notwendig sind, um kurze Zugfolgezeiten einhalten zu können.

Besonders von Relevanz ist es, dass Überholabschnitte für die Optimierung korrekt definiert sind. Dies resultiert aus der Warteschlangentheorie, die die Grundlage der Leistungsfähigkeitsrechnung darstellt, in LUKS-A vollumfänglich hinterlegt ist und somit hier als Optimierungsgrundlage genutzt wird. Je Zugfolgefall wird zunächst für jeden Überholabschnitt die Zugfolgezeit berechnet. Hier determiniert schließlich je Zugpaar die Zugfolgezeit die Kapazitätsbestimmung, die den höchsten Wert aufweist. Entsprechend muss zunächst jeder Überholabschnitt einzeln optimiert werden, bevor anschließend eine gesamthafte Optimierung des kompletten Untersuchungsraums erfolgen kann. Testrechnungen haben bereits gezeigt, dass dieses Vorgehen notwendig und sinnvoll ist.

Zusammenfassung und Ausblick

Mit Hilfe des in diesem Artikel vorgestellten Algorithmus lässt sich eine auf betrieblich / verkehrlichen Annahmen sowie Regelwerken beruhende Initiallösung für die weiteren Prozessschritte der teilautomatisierten Blockverdichtung herleiten. Die entsprechenden Regeln müssen dabei durch EBWU-Bearbeiter:innen vorgegeben und das Ergebnis auf Korrektheit kontrolliert werden. In Knoten sind teilweise noch geringfügige Ergänzungen bzw. Änderungen notwendig. Die weiterführende Testung hat gezeigt, dass ein optimales Blocklayout zunächst für jeden Überholabschnitt einzeln berechnet werden muss, bevor schließlich eines für den gesamten Untersuchungsraum hergeleitet werden kann.

Alle dargestellten Methoden beruhen auf der Fahrzeit- und Belegungsrechnung sowie der Warteschlangentheorie, die Bestandteile von LUKS darstellen. Darüber hinaus erfolgt das Setzen und Entfernen von Blockkennzeichen auf Grundlage klar definierter und eindeutiger Algorithmen. Eine Integration einzelner Methodenbausteine oder gar der gesamten Optimierungsmethodik in LUKS soll daher perspektivisch angestrebt werden. •

Literatur

- [1] Büker, T.; Hadel, S.; Schedel, M.; Scherer, P.: „Zu netzweiten Kapazitätseffekten der DSD – Impulse zur Steigerung des Nutzens“ – In: ETR - Eisenbahntechnische Rundschau 74 (2025) 3.
- [2] Bachmann, V.; Crespo, A.; Grubor, N.; Kretschmer, E.; Oetting, A.: „Ansatz zur teilautomatisierten kapazitätsoptimierten Blockteilung von ETCS L2oS-Bereichen“ – In: ETR - Eisenbahntechnische Rundschau 73 (2024) 12.
- [3] Büker, T.; Scherer, P.: „Teilautomatisierung der Ermittlung idealer Blocklayouts als Teil der Prozesskette“ – In: SIGNAL+DRAHT (117) 7-8/2025.
- [4] Müller, T.; Pfeifer, A.; Emunds, T.; Nießen, N.; Kliem, M.; Hilbrich, E.: „Streckenstandards – Mindestelemente für eine leistungsfähige und resiliente Infrastruktur“ – In: ETR - Eisenbahntechnische Rundschau 72 (2023) 11.

Summary

Algorithmic standards for the semi-automated derivation of ideal block layouts

In order to increase capacity on the rail network, positions of markerboards must be ideally selected. Nowadays, these locations are determined by using an iterative process, which requires a high level of experience on the part of operators. Partial automation of the process helps to maximise the network capacity based on a previously defined use of resources. The algorithm presented in this article can be used to derive an initial solution based on operational/traffic assumptions and a predefined set of rules. This solution is the main input for the further process of semi-automated block optimisation.