

Teilautomatisierung der Ermittlung idealer Blocklayouts als Teil der Prozesskette

Semi-automation of the determination of ideal block layouts as part of the CCS planning chain

Thorsten Bükler | Philipp Scherer

Die Erarbeitung und Optimierung von Blocklayouts ist ein entscheidender Schritt, um die notwendige Fahrwegkapazität mit einer möglichst zielgerichteten Anlage bereitzustellen. Die Festlegung einer bahnbetrieblich wünschenswerten „Startlösung“ wie auch die spätere Iteration zwischen bahnbetrieblicher Bewertung und den frühen Leistungsphasen birgt aktuell noch Raum für Effizienzsteigerungen. Der hier dargestellte Ansatz zur teilautomatisierten Ermittlung idealer Blocklayouts setzt am Beginn dieser Prozesskette an und ist sowohl für die „grüne Wiese“ wie auch für Bestandsinfrastrukturen anwendbar.

1 Einleitung

Das European Train Control System (ETCS) bietet Potenzial zur Steigerung der Kapazität im Schienennetz. Die Aktualisierung der netzweiten Studie zur Wirkung von digitaler Leit- und Sicherungstechnik (LST) [1] zeigt, dass rund 7 % Kapazitätssteigerung oder 2,5 % Pünktlichkeitssteigerung des Schienenpersonenfernverkehrs (SPFV, 5:59 Schwelle) im netzweiten Durchschnitt bereits durch eine optimierte, restriktionsfreie Blockteilung realisiert werden können.

Zweck einer Eisenbahninfrastruktur ist, eine anforderungskonforme Fahrwegkapazität bereitzustellen. Diese Fahrwegkapazität wird in Deutschland als Leistungsfähigkeit, d.h. mögliche Zugzahl bei angestrebter Betriebsqualität, quantifiziert. Sie hängt neben der Topologie, der Blockteilung und dem Verspätungsniveau insbesondere vom Betriebsprogramm / Zugmix sowie den fahrdynamischen Eigenschaften der Fahrzeuge ab. Die letztgenannten Größen können dabei über die Lebensdauer der Anlage variabel sein.

Zu Beginn des Planungsprozesses einer neuen oder erneuerten Infrastruktur wird in der Regel eine aus betrieblicher Sicht wünschenswerte „Startlösung“ der LST aufgestellt, welche die Anforderungen an die geforderte Fahrwegkapazität erfüllt. Diese wird über den Prozess iterativ mit der Ausplanung der LST verfeinert. Beide Schritte sind heutzutage manuell durchzuführen, und es mangelt an Schnittstellen zur Automatisierung der Iteration.

2 Motivation und Randbedingungen

Viele Prozessschritte der Infrastrukturmodellierung können aufgrund ihrer Regelbasiertheit automatisiert erfolgen. Dies betrifft insbesondere Strecken. Werden die Planer hier durch Automatisierung entlastet, lassen sich freiwerdende Ressourcen zur Bearbeitung von komplexen Infrastrukturen nutzen. Zur Steigerung der Effizienz wird angestrebt, die betrieblich wünschenswerte Startlösung des LST-Layouts teilautomatisiert zu erzeugen. Die-

The development and optimisation of block layouts is a decisive step for the provision of the necessary infrastructure capacity by a system that has been as streamlined as possible. The definition of a desirable “start-up solution” from the point of view of railway operations, as well as the subsequent iteration between railway operating demands and the planning steps, currently still has room for increased efficiency. The approach presented here for the semi-automated determination of ideal block layouts starts at the beginning of this process chain and can be applied to greenfield sites as well as to existing infrastructures.

1 Introduction

The European Train Control System (ETCS) offers potential to increase capacity in the rail network. The update of the network-wide study on the effect of digital CCS [1] shows that a network-wide average of an around 7 % capacity increase or 2.5 % punctuality increase (long-distance traffic, 5:59 threshold) can already be achieved using optimised, restriction-free block division.

The purpose of a railway infrastructure is to provide a track capacity that meets the requirements. In Germany, this track capacity is quantified by the possible number of trains with the desired operating quality. In addition to the topology, block sectioning and delay level, this particularly depends on the operating program / train mix and the driving dynamic characteristics of the vehicles. The latter variables can vary over the service life of the system.

A command-and-control system (CCS) “starting solution” is usually drawn up at the beginning of the planning process for a new or renewed infrastructure. This solution should be desirable from the point of view of operations and should likewise meet the requirements for the required track capacity. This is refined iteratively throughout the CCS planning process. Both steps are currently realised manually and there are no interfaces to automate the iteration.

2 Motivation and boundary conditions

Many process steps in infrastructure modelling can be automated due to their rule-based nature. This particularly applies to lines. If the planners are relieved of this burden through automation, the resources that are freed up can be used to work on complex infrastructures. The aim is to produce the operationally desirable starter solution for the CCS layout semi-automatically.

se Startlösung ist in gewissem Maße tolerant gegenüber Veränderungen der Randbedingungen (Zugmix und fahrdynamische Eigenschaften) zu bestimmen.

Nebeneffekt einer derart erzeugten Startlösung ist, bereits frühzeitig eine Mengenermittlung ableiten zu können. Eine belastbare Schätzung der Stelleinheiten (STE) nützt beim kaufmännischen Aufsetzen des Projekts.

Da Projekte nur in den seltensten Fällen auf der „grünen Wiese“ realisiert werden, muss die Teilautomatisierung auf Bestandsinfrastrukturen anwendbar sein. Ein gesamthaftes, kapazitiv optimiertes ETCS-Blocklayout ohne Außensignale (L2oS) lässt sich im Bestandsnetz nicht vollumfänglich realisieren, da verschiedene Gewerke die Positionierung von Signalen bzw. Blockkennzeichen an bestimmten Standorten nicht zulassen. Eine detaillierte Beschreibung der Wirkweise der einzelnen Restriktionen gibt [2] wieder. In aller Kürze gilt:

- Die Schaltabschnittsgrenzen der Oberleitungsanlage (OLA) weisen parallel geführte Fahrdrähte auf. Zur Vermeidung thermischer Schäden an der Oberleitung dürfen Fahrzeuge in diesem Bereich nicht zum Stillstand kommen. Daher dürfen im Bereich um die OLA-Schaltabschnittsgrenze keine Signale aufgestellt werden, sodass aus Signalisierungssicht hier ein Halt vermieden werden kann.
- Einen Stillstand von Zügen auf Bahnübergängen (BÜ) gilt es zu vermeiden, damit der Straßenverkehr (insb. Rettungsdienste) möglichst wenig behindert wird. Hierzu muss der Zug den BÜ vollständig räumen, bevor er zum Stillstand kommen darf. Somit können im zuglängigen Bereich hinter BÜ keine Signale realisiert werden.
- Neben der Räumung von BÜ sind behinderungsfreie Fahrten über technisch gesicherte BÜ zu ermöglichen. Insbesondere bei Hp-BÜ ist mit deutlichen kapazitiven Einschränkungen zu rechnen, weil die BÜ-Sicherung in die Fahrstraßenbildezeit vor Erteilung einer Fahrerlaubnis einzurechnen ist.

Abhängig von der verfolgten Migrationsstrategie sind Anlagen mit ETCS Level 2 mit Signalen (L2mS) auszurüsten. Diese Doppelausrüstung führt zu weiteren Einschränkungen, da die Planungsrichtlinien für ETCS und für herkömmliche Außensignalisierung bereits umgesetzt sind und die mit beiden Regelwerken einhergehenden Restriktionen berücksichtigt werden. Abermals in Kürze bedeutet dies:

- Kurze D-Wege, wie unter ETCS L2oS möglich, lassen sich nicht – oder nur mit deutlichen Geschwindigkeitsreduktionen – realisieren.
- Zwischen einem Hauptsignal oder Blockkennzeichen und dem darauffolgenden Vorsignal muss mindestens ein Abstand von 300 m eingehalten werden.
- In langen, konventionell zu bemessenden D-Wegen (teilweise > 200 m) können keine weiteren Blockteilungen vorgesehen werden.

Neben den initial genannten Anforderungen an die Teilautomatisierung ist es also notwendig, die bei L2oS und idealerweise L2mS zu beachtenden Randbedingungen zu beherrschen. Zugleich wird bewusst eine Teilautomatisierung anstelle einer Vollautomatisierung verfolgt. Beim Aufstellen des Optimierungsmodells ist betrieblicher Sachverstand gefragt, um Eigenschaften des Modells (beispielsweise invariable Signalstandorte) zu formulieren. Der hier dargestellte Ansatz geht über das in [3] dargestellte Vorgehen hinaus, da nicht nur „grüne Wiese“ Szenarien sondern auch Situationen mit Class-B-Systemen betrachtet werden. Ferner ist er nicht allein für zweigleisige Strecken, sondern für beliebige Infrastrukturen anwendbar.

so as to increase efficiency. To a certain extent, this starting solution must be tolerant towards any changes in the boundary conditions (the train mix and driving dynamic characteristics). One side effect of a start-up solution generated in this way lies in the fact that it can derive a quantity determination at an early stage. A reliable estimate of the signalling equivalent units (SEU) is useful in the project's commercial set-up.

Since projects are rarely implemented on “greenfield” sites, it must be possible to apply the partial automation to the existing infrastructures. An overall, capacitively optimised ETCS block layout without any external signals (L2oS) cannot be fully implemented in the existing network, as various trades do not allow the positioning of signals or block signs at certain locations. A detailed description of the way the individual restrictions work is given in [2]. In a nutshell:

- the switching section boundaries of the overhead line system have parallel contact wires. Vehicles must not come to a standstill in this area so as to avoid any thermal damage to the overhead line. Therefore, no signals may be established in the area around the catenary switching section boundary, so that a stop can be avoided there from a signalling point of view.
- it is important to avoid trains standing at level crossings (LX) so that road traffic (esp. the emergency services) is hindered as little as possible. In order to do this, the train must clear the LX completely before it is allowed to come to a stop. Thus, no signals can be installed in the train-length area behind the LX.
- in addition to clearing the LX, barrier-free journeys via technically secured LX must also be made possible. Significant capacitive restrictions are particularly to be expected in the case of signalling-integrated LX, because the LX protection must be included in the route formation period before a movement authority is issued.

Infrastructures with ETCS Level 2 must be equipped with lateral signals (L2wS) depending on the pursued migration strategy. This double equipment leads to further restrictions, as the planning guidelines for ETCS and conventional external signalling are implemented and the restrictions associated with both sets of regulations are taken into account. Again in a nutshell, this means:

- short overlaps, as allowed under ETCS L2oS, cannot be achieved ... or only with significant speed restrictions.
- a distance of at least 300 m must be maintained between a main signal or a marker board and the following advance signal.
- no further block divisions can be implemented in long, conventionally dimensioned overlaps (in some cases > 200 m).

In addition to the initial requirements for partial automation, it is therefore also necessary to master the boundary conditions to be observed in L2oS and ideally L2wS. At the same time, partial automation is deliberately pursued instead of full automation. When setting up an optimisation model, operating expertise is required to formulate the properties of the model (e.g. invariable signal locations).

The approach presented here goes beyond the procedure described in [3], as not only “greenfield” but also situations with a Class B system are considered. Furthermore, it can be used not only for double-track lines, but also for any infrastructure.

3 The approach chosen for the semi-automated, capacity-optimised block sectioning

A multi-step procedure with seven steps is followed until the starting solution has been set up:

3 Ansatz zur teilautomatisierten kapazitätsoptimierten Blockteilung

Es wird ein mehrschrittiges Vorgehen in sieben Schritten verfolgt, bis die Startlösung aufgestellt ist:

1. Pflege der grundlegenden Infrastruktur (bspw. Topologie, Neigungen, Halteplätze)
2. Hinterlegung relevanter Informationen für Optimierung (Verbotszonen, fixe Signalstandorte, spezifische Kosten der STE, Parameter für Zielfunktion)
3. Automatisiertes Einspielen einer zu dichten Blockteilung mitsamt Gleisfreimeldung gemäß Regelsatz
4. Aufbereitung eines Betriebsprogramms (Zugmix, Zugeigenschaften)
5. Bestimmung der idealen Blockteilung durch nicht-lineare Optimierung
6. Manuelle Nachbearbeitung der Startlösung
7. Iterative Fortschreibung der betrieblichen Bewertung im Zusammenspiel mit der tatsächlichen LST-Planung

Schwerpunkt dieses Beitrags sind die Schritte 2 bis 5. Als Grundlage aller Schritte dient die Software LUKS, welche als Standardverfahren für Eisenbahnbetriebswissenschaftliche Untersuchungen (EBWU) unter anderem bei der DB InfraGO AG, bei den SBB-Infrastruktur AG sowie bei Infrabel im Einsatz ist. Damit ist sichergestellt, auf einer vollumfänglichen Fahrzeit- und Belegungsrechnung sowohl für Außensignalisierung als auch für ETCS in der Betriebsart Full Supervision (FS) aufsetzen zu können.

Im Rahmen des zweiten Schritts werden Verbotszonen bestimmt, in denen keine Stop Marker Boards (SMB)/Lineside Marker Boards (LMB) – bzw. Ne 14/Bk in DB-deutscher Benennung – bestehen dürfen und eine Gleisfreimeldung nicht installiert werden kann. Diese Bereiche folgen beispielsweise aus Schaltabschnittsgrenzen der OLA sowie aus der notwendigen Räumung von BÜ. Auch Mindestsichtbarkeiten können durch (kurze) Bereiche berücksichtigt werden. Die erforderliche Schutzstrecke auf reguläre Halteorte sowie die Zulässigkeit von Blöcken entlang Bahnsteigen kann berücksichtigt werden. Die Bereiche sind richtungsabhängig. Anschließend werden SMB, welche in der weiteren Optimierung als fix unterstellt werden, definiert. Dies sind mindestens die Einfahrsignale und Ausfahrtsignale sowie die Deckung von Überleitverbindungen und die Gewährung des Flankenschutzes. Es sind ferner, abhängig vom Betriebsprogramm, Zwischensignale bei Mehrfachbelegung von Bahnsteigen. Falls notwendig, werden auch jene LMB festgelegt, die abhängig vom Betriebsprogramm notwendig für kreuzende Fahrten sind. Beide Aspekte des zweiten Schritts sind in Bild 1 dargestellt.

1. preparation of the basic infrastructure (e.g. topology, slopes, stops)
2. the storage of any relevant information for the optimisation (the prohibition zones, fixed signal locations, specific costs of the SEU, parameters for target function)
3. automated import of any overly dense block sectioning, including the track vacancy detection according to the rule set
4. the preparation of an operating program (the train mix, train characteristics)
5. the determination of the ideal block division using non-linear optimisation
6. the manual post-processing of the starting solution
7. iterative improvements in the interactions with the CCS planning

This article focuses on steps 2 to 5. The LUKS software forms the basis for all the steps. It is used as a standard procedure for investigations into railway operations at DB InfraGO AG, SBB-Infrastruktur AG and Infrabel, amongst others. This ensures that it can be based on a comprehensive travel-time and blocking-time calculation for both lateral signalling and ETCS in full supervision (FS) mode.

Prohibition zones (“no-zones”) where no Stop Marker Boards (SMB)/Lineside Marker Boards (LMB) can exist and track vacancy detection cannot be installed will be determined as part of the second step. These areas follow, for example, from switching section boundaries in the overhead line system and from the necessary clearing of LX. Minimum visibilities can also be taken into account using (short) areas. The required protective route to regular stops and the permissibility of blocks along platforms can also be considered. The areas are directional. SMB, which are assumed to be fixed in the further optimisation, are then defined. These entail at least the entry and exit signals as well as the coverage of any cross sections and the provision of flank protection. There are also intermediate signals in the event of the multiple occupancy of platforms depending on the operating program. If necessary, some LMB that are dependent on the operating program necessary for intersecting routes are also determined. Both aspects of the second step are shown in fig. 1.

In the third step, possible LMB locations are discretised between all the constraint points (prohibition zones, fixed locations). Equidistant steps that are oriented, for example, to 50 m are then chosen in between. The prohibited zones are usually longer than the step chosen for the distance step. The ideal coverage around a speed change can also be determined us-

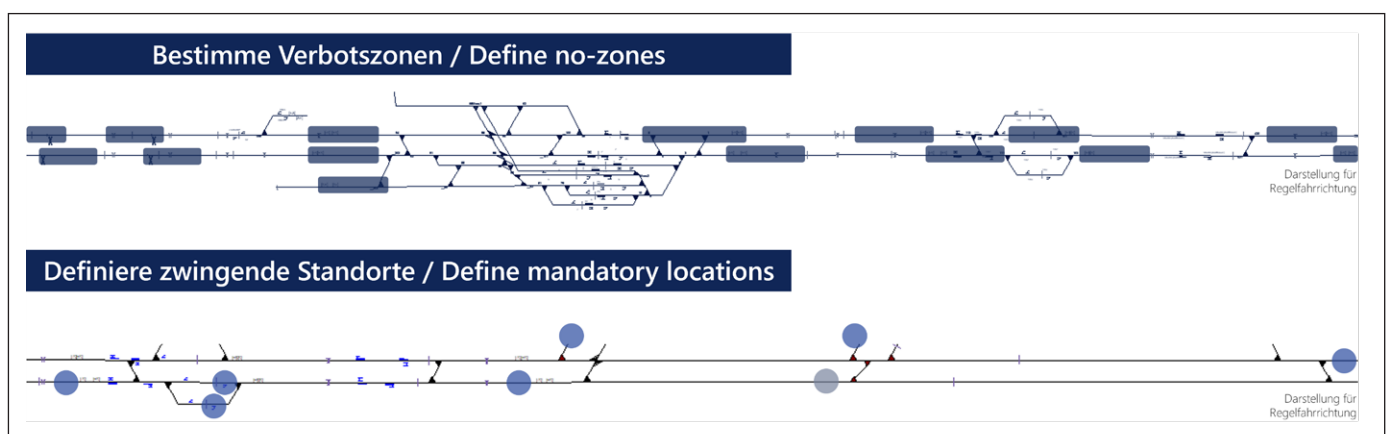


Bild 1: Festlegung der Randbedingungen

Fig. 1: Defining the boundary conditions

Im dritten Schritt werden zwischen allen Zwangspunkten (Verbotszonen, als fix definierte Standorte) mögliche Standorte von LMB diskretisiert. Dazwischen werden äquidistante Wegschritte gewählt, welche sich beispielsweise an 50 m orientieren. Die Verbotszonen sind in der Regel länger als der gewählte Wegschritt. Die ideale Deckung um einen Geschwindigkeitswechsel herum kann durch diesen Ansatz ebenfalls ermittelt werden. Das Vorgehen mittels Diskretisierung ist verlustfrei gegenüber einer zugpaarspezifischen Optimierung, da auch im Fall einer individuellen Optimierung von LMB-Standorten auf Zugfolgefälle im späteren Schritt eine Verschmelzung von eng benachbarten LMB-Standorten erfolgen muss. Mögliche LMB-Standorte werden mit fiktiven Kosten bewertet. So können Standorte mit Nutzung bestehender Gleisfreimeldung (an Weichen, an Blöcken in Gegenrichtung, an BÜ oder zugunsten des Nachrückens) günstiger bewertet werden.

Im vierten Schritt werden maßgebliche Zugfolgefälle aus dem Betriebsprogramm abgeleitet. Diese werden um solche Zugfolgefälle ergänzt, welche nicht planmäßig auftreten, welche aber für dispositive Zustände trotzdem berücksichtigt werden sollen. Ebenso werden Zugfolgefälle bzw. fahrdynamische Eigenschaften hinterlegt, welche über die Lebensdauer der Anlage variieren. Wird eine Anlage mit L2mS bewertet, so wird jeder Zug mit einer Wahrscheinlichkeit der ETCS-Fahrzeugausrüstung attribuiert. Alle Züge und somit alle Zugfolgefälle werden mit ihrer Relevanz über den Lebenszyklus der Anlage bewertet.

Im fünften Schritt wird die Herleitung einer Startlösung des Blocklayouts als nicht-lineares Optimierungsproblem formuliert. Dabei wird die vollumfängliche Fahrzeit- und Belegungsrechnung mitsamt aller ETCS-spezifischen Besonderheiten zur Ermittlung von Mindestzugfolgezeiten (MZF) mit dem Optimierer verknüpft. Je Zugpaar verhält sich die Anzahl der Blockstellen und resultierende MZF monoton. Durch Betrachtung eines Betriebsprogramms öffnet sich der Raum zur Optimierung je Überholungsabschnitt:

- Variablen: Boolean, ob LMB-Standort aktiv ist (getrennt für oS oder mS)
- Zielfunktion: Minimiere Kosten (Anzahl der variablen LMB-Standorte)
- Randbedingungen:
 - Erreiche die angestrebte Gesamtkapazität. Die Summe der gewichteten MZF ist kleiner oder gleich einer beaufschlagten Summe der idealen gewichteten MZF bei Umsetzung der vollen Diskretisierung (alle variablen LMB-Standorte aktiv). Die Relaxation ist notwendig, wenn Zugfolgefälle unterschiedlich gewichtet werden und/oder Geschwindigkeitswechsel ideal abgedeckt werden sollen.
 - Optional: Die MZF gewisser Zugpaare dürfen einen Wert nicht überschreiten.
 - Alle resultierenden Blocklängen für Außensignalisierung sind länger als eine minimal zulässige Blocklänge.
 - Optional: Alle resultierenden Blocklängen für L2oS sind kürzer als eine maximal zulässige Blocklänge für L2oS.

Ergebnis der Optimierung sind die umzusetzenden Standorte von LMB (ergänzend zu den als fix definierten SMB und LMB) sowie die Relevanz jedes Standorts für die Erreichung der MZF, unterschieden nach L2oS und Außensignalisierung.

4 Beispielhafte Ergebnisse

In einem ersten Beispiel wird das Verfahren für den in Bild 2 dargestellten Netzbereich zwischen Düren und Mönchengladbach angewendet. Der Netzbereich weist vielerlei Randbedingungen an der Schnittstelle zwischen Bahnbetrieb und LST auf. So bestehen mehrere niveaufreie Abzweige, Randbedingungen aus zu deckenden

ing this approach. The procedure using discretization is loss-free compared to train pair-specific optimisation, since the fusion of closely adjacent LMB locations must take place in the later step even in the case of the individual optimisation of the LMB locations for train sequence cases. Possible LMB locations are valued using fictitious costs. In this way, locations that use existing track vacancy detection (at points, at blocks in the opposite direction, at LX or in favour of moving up) can be assessed more favourably.

In the fourth step, relevant train sequence cases are derived from the operating program. These are supplemented by those train sequence cases that do not occur according to plan, but which should nevertheless be taken into account for dispositive states. The train sequence cases or driving dynamic properties, which vary over the service life of the system, are also stored. If a system is rated L2wS, each train is attributed with a probability of ETCS on-board retrofitting. All the trains and thus all the train sequence cases are assessed with their relevance over the lifecycle of the system.

In the fifth step, the derivation of a block layout starting solution is formulated as a non-linear optimisation problem. The complete journey time and occupancy calculation, including all the ETCS-specific features for determining the minimum headways, is linked to the optimiser. The number of block sections and the resulting minimum headway time behave monotonically for each train pair. Looking at an operating program opens up the scope for optimisation for each overhaul section:

- variables: Boolean, if the LMB location is active (separate for oS or wS)
- target function: minimise costs (the number of variable LMB locations)
- constraints:
 - ensuring the intended total capacity. The sum of the weighted minimum headways is less than or equal to an applied sum of the ideal weighted minimum headways when full discretization has been implemented (all the variable LMB locations are active). Relaxation is necessary if the train sequence cases are weighted differently and / or any speed changes are to be ideally covered.
 - optional: the minimum headway times of certain train pairs must not exceed one value.
 - all the resulting block lengths for lateral signalling are longer than the minimum allowable block length.
 - optional: all the resulting block lengths for L2oS are shorter than the maximum allowable block length for L2oS.

The optimisation results in those LMB locations that are to be implemented (in addition to the SMB and LMB that have been defined as fixed), as well as the relevance of each location for achieving the minimum headway time, differentiated between L2oS and external signalling.

4 Exemplary outcomes

In the first example, the method has been applied to the network area between Düren and Mönchengladbach, as shown in fig. 2. The network area has many boundary conditions at the interface between the railway operations and CCS. This gives rise to several grade separated branches, boundary conditions consisting of elements to be covered (e.g. LX, regular stop locations) and considerable line gradients.

Fig. 3 shows the block divisions that have resulted for the freight train – freight train sequence case from Aachen-West to

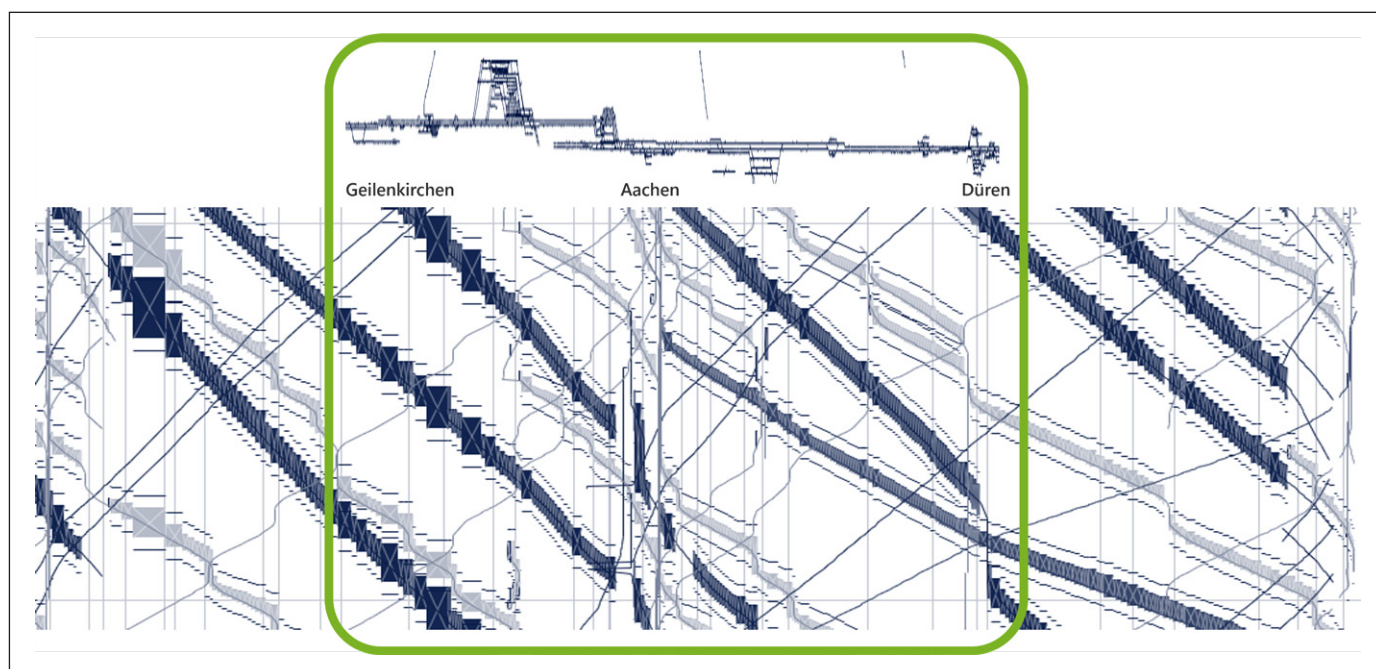


Bild 2: Sperrzeitentrepfen im Netzbereich

Fig. 2: Blocking-time stairways in the network area

Elementen (z. B. BÜ, reguläre Halteorte) sowie teils erhebliche Streckenneigungen.

In Bild 3 dargestellt sind die Blockteilungen, welche sich für den Zugfolgefall Güterzug – Güterzug von Aachen-West nach Mönchengladbach unter Beachtung von Zugfahrten mit/ohne ETCS-Fahrzeugausrüstung ergeben. Zur besseren Erkennbarkeit wird gegenüber Bild 2 eine abstrahierte Darstellung der Sperrzeitentrepfen gewählt. Oben ist der Referenzfall der vollumfänglichen Blockteilung

Mönchengladbach, while taking into account the train journeys with/without ETCS vehicle equipment. This abstracted representation of the blocking-time stairways has been chosen compared to fig. 2 to make this better recognisable. The reference case for the full block division in L2oS with restrictions from the prohibited zones is shown above. A comparison of the left and right-hand graphs – marked by the green arrows – shows how fewer LMB locations result when the operating requirements are relaxed.

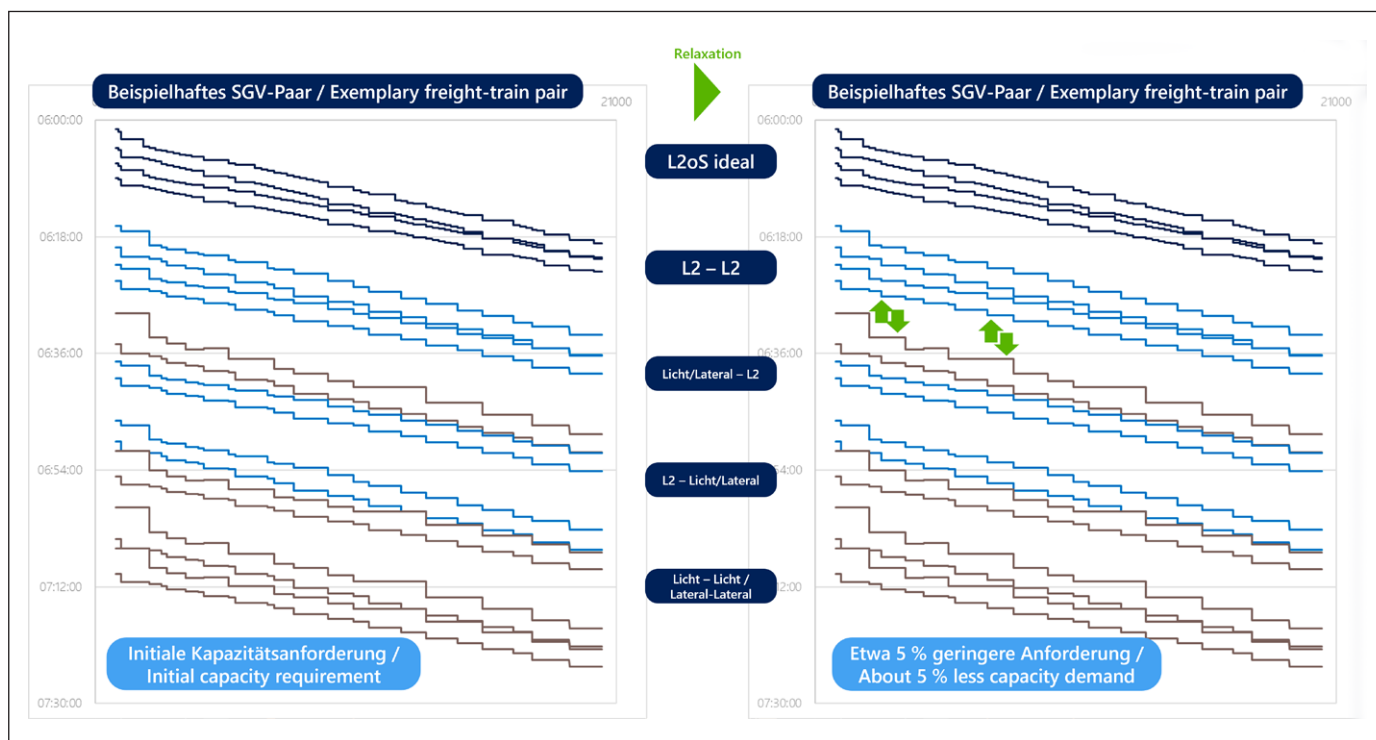


Bild 3: Sperrzeitentrepfen zum Vergleich

Fig. 3: Blocking-time stairways for comparison

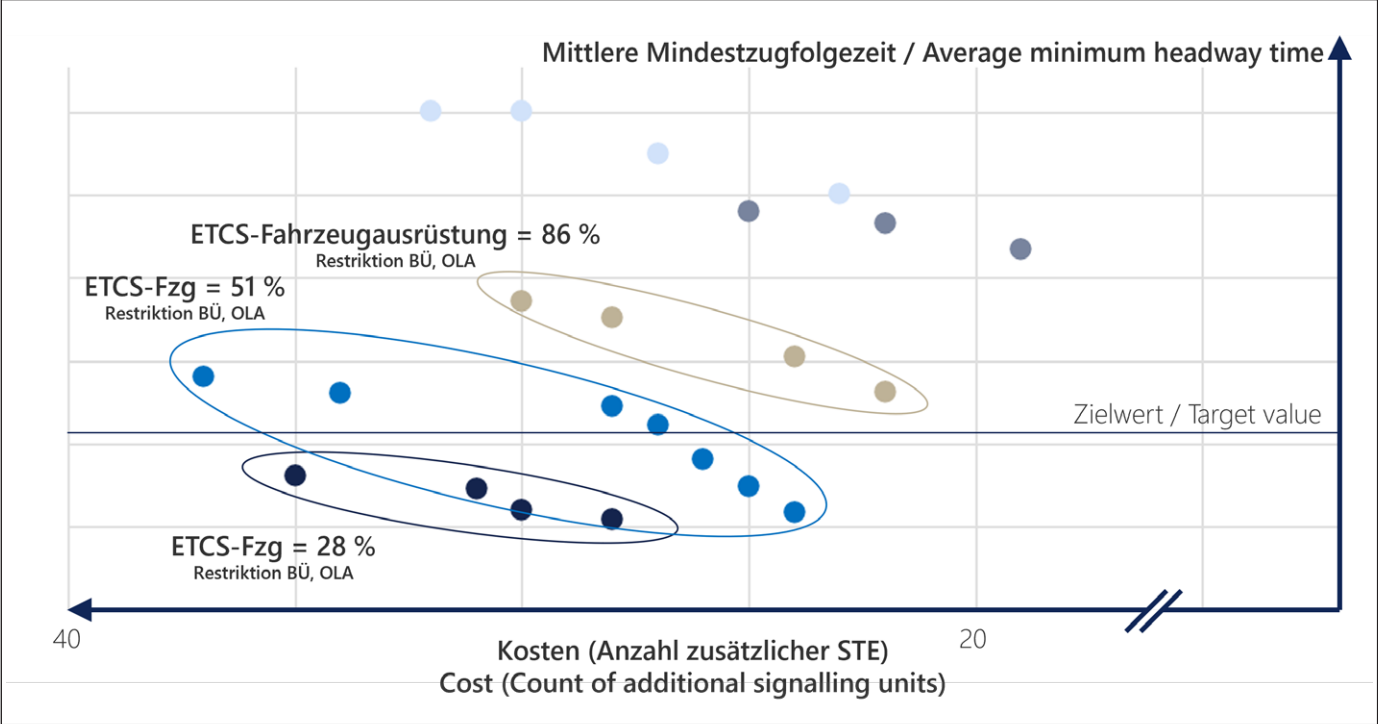


Bild 4: Leistungsfähigkeit versus Anzahl Stelleinheiten
Fig. 4: Performance versus number of signalling elements

bei L2oS mit Einschränkungen aus Verbotszonen zu sehen. Im Vergleich von linker und rechter Grafik wird – markiert durch die grünen Pfeile – ersichtlich, wie bei Relaxation der betrieblichen Anforderungen weniger LMB-Standorte resultieren.

In Bild 4 aufgetragen ist der Zusammenhang zwischen den fiktiven Kosten (als Menge über die fixen Signalstandorte hinausgehender Stelleinheiten) sowie der erreichten Leistungsfähigkeit der Anlage (als mittlere MZF). Aufbereitet ist der Zusammenhang für drei Ausrüstungsumfänge der Fahrzeuge mit ETCS. Neben dem Mechanismus „dichtere Blockteilung verkürzt Mindestzugfolgezeit“ wird of-

Fig. 4 depicts the relationship between the fictitious costs (as the amount of additional SEU beyond the fixed signal locations) and the performance of the system (as the average minimum headway time). The relationship is displayed for three retrofit scopes in vehicles with ETCS. In addition to the “denser block divisions shorten minimum headway times” mechanism, it also becomes obvious that the same performance can be achieved with a smaller number of SEU with increasing ETCS onboard coverage. This confirms the conclusion drawn in [1] that L2oS should be implemented as quickly as possible.

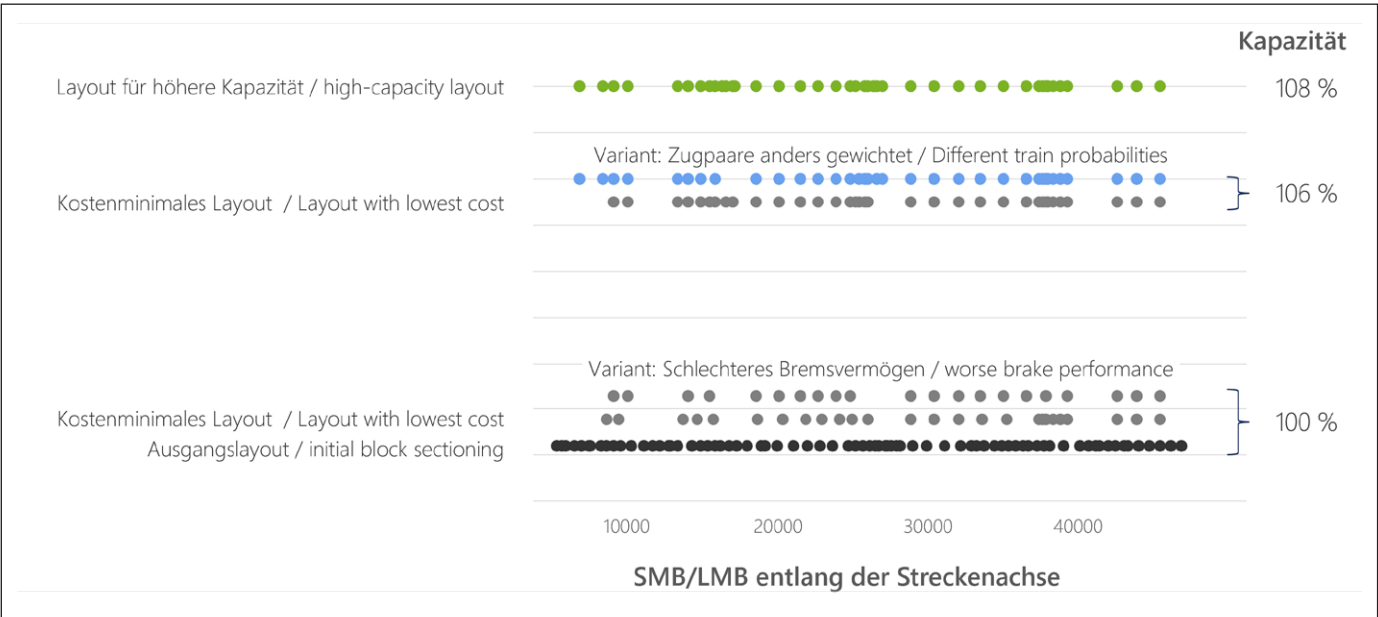


Bild 5: Blockteilungen entlang der Strecke
Fig. 5: Block sectioning along the line

fenkundig, dass mit steigendem Ausrüstungsgrad die gleiche Leistungsfähigkeit bei geringerer Anzahl von Stelleinheiten erzielt werden kann. Dies bestätigt die in [1] erarbeitete Schlussfolgerung, eine möglichst rasche Umsetzung von L2oS zu verfolgen.

Für einen anderen Netzbereich wird ermittelt, wie ideales Blocklayout und Eigenschaften des Rollmaterials zusammenhängen. Für einen mittelkomplexen Streckenabschnitt von ungefähr 40 km Länge besteht zunächst ein manuell optimiertes Blocklayout, welches 74 SMB/LMB in einer Richtung benötigt. Die Formulierung und Lösung des Optimierungsproblems zeigt auf, dass die gleiche betriebliche Performance (hier als mittlere MZF) auch mit 49 SMB/LMB erreicht werden kann. Werden die mit 69 SMB/LMB einhergehenden Kosten akzeptiert, so kann die Kapazität gegenüber dem initialen Layout um 8 % gesteigert werden. Über die Wegstrecke dargestellt ist in Bild 5, wie sich die ideale Blockteilung verändert, wenn das Bremsvermögen der Züge geringer ist oder wenn die Gewichtung der Zugpaare untereinander variiert. Dies stellt anschaulich dar, dass eine ideale LST stets in Abhängigkeit von den betrieblichen Anforderungen zu ermitteln ist.

5 Würdigung und Ausblick

Die beispielhafte Anwendung des hier skizzierten Optimierungsansatzes auf Infrastrukturen in mehreren Ländern hat gezeigt, dass die resultierenden Blocklayouts taugliche „Startlösungen“ bilden. Gegenüber einer manuellen Erarbeitung des Blocklayouts ist durch den Optimierungsansatz garantiert, dass die angestrebte betriebliche Performance mit einer möglichst geringen Anzahl von Stelleinheiten erreicht wird. Ungeachtet dessen können für betriebliche Sonderfälle wünschenswerte Signalstandorte in das Layout integriert werden.

Gegenüber einer manuellen Erarbeitung werden erhebliche Effizienzsteigerungen erreicht. Die Bearbeiter gewinnen somit zeitliche Freiräume, komplexe Infrastruktur und Spezialfälle zu bearbeiten. Der Optimierungsansatz stellt damit eine Komponente dar, um die heute sequenziell durchgeführten Planungsphasen zu verkürzen und zu vereinen.

In einem Folgeartikel in der Eisenbahntechnischen Rundschau (ETR) soll in Kürze unter anderem dargestellt werden, wie regelbasiert die (zu) dichte Blockteilung der Startlösung generiert wird. Ferner wird beschrieben, wie der Optimierungsansatz auf einen Korridor bestehend aus mehreren Überholungsabschnitten übertragen werden kann. Auch wird dargestellt, wie die Randbedingung zur zulässigen Summe von MZF auf eine qualitätsabhängige Betrachtung im Sinne der Leistungsfähigkeitsrechnung fortgeschrieben werden kann. Dadurch soll perspektivisch sichergestellt werden, dass die Methodik in Standardtools zur Bestimmung der Streckenleistungsfähigkeit integriert werden kann. ■

The relationship between the ideal block layout and the characteristics of the rolling stock has been determined for another network area. There is initially a manually optimised block layout for a medium-complex section of track of about 40 km in length, which requires 74 SMB/LMB in one direction. The formulation of and solution to the optimisation problem have shown that the same operating performance (meant here as the mean minimum headway time) can also be achieved with 49 SMB/LMB. If the costs associated with 69 SMB/LMB are accepted, the capacity can be increased by 8 % compared to the initial layout. Fig. 5 shows how the ideal block sectioning changes over the distance when the braking capacity of the trains is lower or when the weighting of the train pairs varies among each other. This clearly illustrates that an ideal CCS must always be determined depending on the operating requirements.

5 Appraisal and outlook

The application of the optimisation approach outlined here to infrastructure in several countries has shown that the resulting block layouts form suitable “starting solutions”. Compared to the manual development of the block layout, the optimisation approach guarantees that the desired operating performance is achieved with the lowest possible number of control units. Notwithstanding this, however, desirable signal locations for special operating cases can be integrated into the layout.

Considerable increases in efficiency can be achieved compared to manual processing. This therefore gives the engineers time to process any complex infrastructure and special cases. The optimisation approach thus represents a component in shortening and unifying the planning phases that are currently carried out sequentially.

A follow-up article in Eisenbahntechnische Rundschau (ETR) will shortly show, among other things, how an (overly) dense block division in the starting solution can be generated based on rules. It also describes how the optimisation approach can be transferred to a corridor consisting of several overhaul sections and how the boundary condition for the permissible sum of minimum headways can be extended to a quality-dependent consideration in the sense of the performance calculation. ■

LITERATUR | LITERATURE

- [1] Büker, Th.; Hardel, S.; Schedel, M.; Scherer, Ph.: „Zu netzweiten Kapazitätseffekten der DSD – Impulse zur Steigerung des Nutzens“, Eisenbahntechnische Rundschau (ETR) (74) 3/2025
- [2] Hernández, L.; Hardel, S.: „Schaltabschnittsgrenzen und Bahnübergänge schränken Kapazitätseffekt von ETCS Level 2 ein“, SIGNAL+DRAHT (115) 1+2/2023
- [3] Bachmann, V.; Crespo, A.; Grubor, N.; Kretschmer, E.; Oetting, A.: „Ansatz zur teilautomatisierten kapazitätsoptimierten Blockteilung von ETCS L2oS-Bereiche

AUTOREN | AUTHORS

Dr. Thorsten Büker

Geschäftsführender Partner / Managing Partner
E-Mail: thorsten.bueker@quattron.com

Philipp Scherer

Senior Consultant
E-Mail: philipp.scherer@quattron.com

Beide Autoren / both authors:

quattron GmbH
Anschrift / Address: Römerstraße 50, D-52064 Aachen