

Vergleich von ETCS L1LS und ETCS L2 auf der Strecke Dagmersellen – Emmenbrücke

A comparison of ETCS L1LS and ETCS L2 on the section between Dagmersellen – Emmenbrücke

Dominic Stucki | Eike Hennig | Nadine Steiner

Im Horizont 2035 weist der Abschnitt zwischen Brittnau-Wikon (Stellwerk Dagmersellen) und Emmenbrücke Potenzial für eine „bedarfsorientierte“ Aufrüstung auf ETCS L2 auf. Der Systementscheid soll anhand eines Variantenentscheides zwischen ETCS Level 1 Limited Supervision (ETCS L1LS) und ETCS L2 geführt werden. Dafür werden unter anderem die Streckenkapazität und Fahrplanstabilität unter ETCS L1LS sowie ETCS L2 ausgewertet. Dabei werden die Vor- und Nachteile der drei Parameter Konfliktfreiheit, minimale Zugfolgezeit (ZFZ) sowie Verspätungsübertragung und Erholungsfähigkeit gegeneinander abgewogen.

1 Bedarfsorientierte Umsetzung von ETCS L1LS auf ETCS L2

Die im Jahr 2021 vom Bundesamt für Verkehr (BAV) aktualisierte ERTMS-Strategie [1] sieht den „bedarfsorientierten“ Ausbau der Führerstandsinalisierung (FSS) mit dem European Train Control System Level 2 (ETCS L2) vor. Zur Umsetzung der an die In-

The section between Brittnau-Wikon (the Dagmersellen interlocking) and Emmenbrücke on the Olten – Lucerne main line shows potential for a “needs-oriented” upgrade to ETCS Level 2 by 2035. The decision as to which system should be adopted will be based on a comparison between ETCS Level 1 Limited Supervision (ETCS L1LS) and ETCS L2. The line capacity and timetable stability under ETCS L1LS and ETCS L2 will be evaluated. The advantages and disadvantages of the three parameters of a conflict-free timetable, minimal headway and delay propagation and timetable recoverability will be weighed against one another.

1 The needs-oriented conversion from ETCS L1LS to ETCS L2

The ERTMS strategy [1] updated by the Federal Office of Transport (FOT) in 2021 provides for the “needs-oriented” upgrade of cab signalling (FSS) to the European Train Control System Level 2 (ETCS L2). Swiss Federal Railways (SBB) has

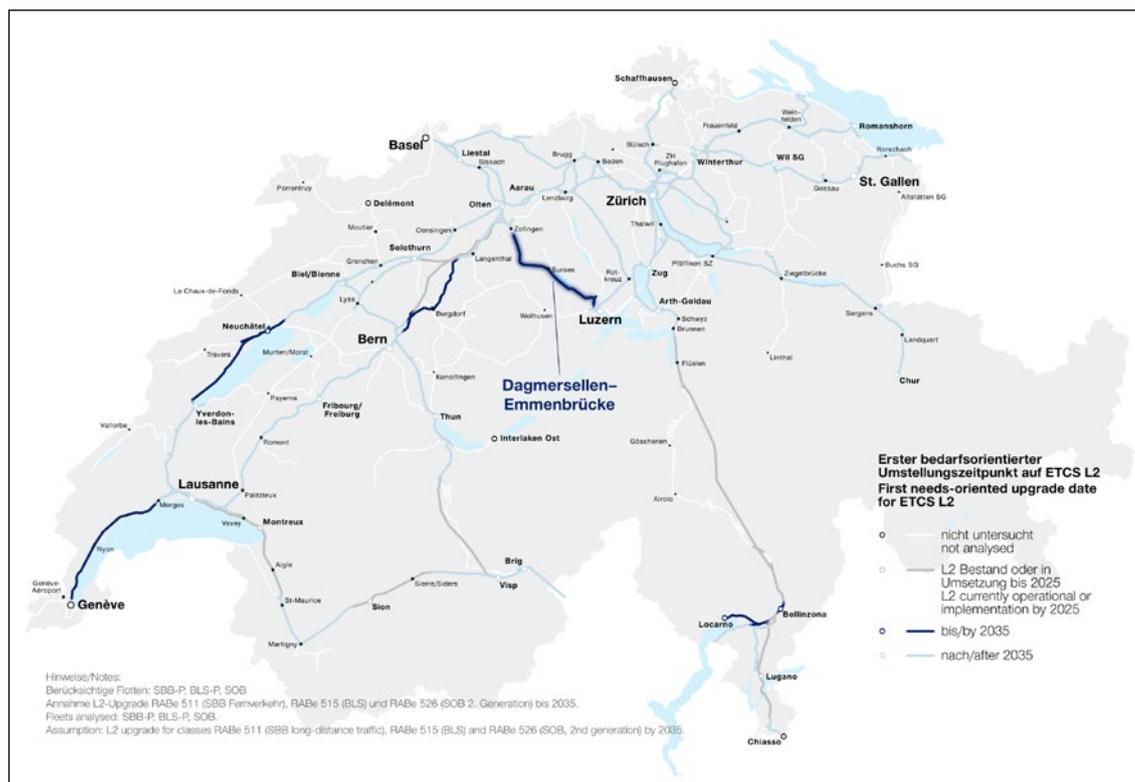


Bild 1: Strecken mit erstem bedarfsorientierten Umstellungszeitpunkt auf ETCS L2 bis 2035, darunter die Strecke Dagmersellen – Emmenbrücke
 Fig. 1: The sections with the earliest needs-oriented upgrades to ETCS L2 by 2035, including the route between Dagmersellen and Emmenbrücke

frakturbetreiberinnen adressierten Maßnahme „I2: Bedarfsorientierte Aufrüstung auf ‚FSS‘ des Normalspurnetzes“ erstellte die Schweizerische Bundesbahnen AG (SBB) ein Umsetzungskonzept (vgl. [2]). Im Umsetzungskonzept wurde unter anderem festgelegt, unter welchen Voraussetzungen ein Potenzial für eine „bedarfsorientierte“ Aufrüstung auf ETCS L2 aus Sicht der SBB vorliegt. Ein Potenzial zur Umrüstung auf FSS liegt vor, wenn der Großteil der eingesetzten Fahrzeuge bereits ETCS-tauglich ist, mit der Umrüstung ein verkehrlicher Nutzen erzielt werden kann und die Umrüstung stellwerkseitig zum wirtschaftlich optimalen Zeitpunkt erfolgt. Dadurch kann der Wertverlust durch vorzeitigen Anlagenersatz minimiert werden. Für den Horizont 2035 sind gemäß Umsetzungskonzept fünf Streckenabschnitte identifiziert, welche sich für eine „bedarfsorientierte“ Aufrüstung auf FSS eignen würden (Bild 1). Einer dieser Abschnitte ist der Abschnitt zwischen Brittnau-Wikon (Stellwerk Dagmersellen) und Emmenbrücke auf der Strecke Olten – Luzern (Bild 2). Anhand eines Variantenentscheides soll der Systementscheid zwischen ETCS L1LS und ETCS L2 getroffen werden. Dazu wurden in vertiefenden Studien zunächst für konkrete Streckenabschnitte die für den Variantenentscheid notwendigen Grundlagen erarbeitet. Diese Studien zeigen die technische Machbarkeit, die Erfüllung betrieblicher Anforderungen, die Auswirkungen auf Rollmaterial, die geschätzten Kosten sowie die Abhängigkeiten und den Entwicklungsbedarf auf. Im vorliegenden Beitrag wird nun der Variantenvergleich bezüglich Streckenkapazität und Fahrplanstabilität für den Streckenabschnitt Dagmersellen – Emmenbrücke thematisiert.

2 Korridor Dagmersellen – Emmenbrücke

Auf dem Streckenabschnitt Dagmersellen – Emmenbrücke auf der Strecke Olten – Luzern wird der Großteil des im Fern- und Regionalverkehr verkehrenden Rollmaterials gegen Ende dieses

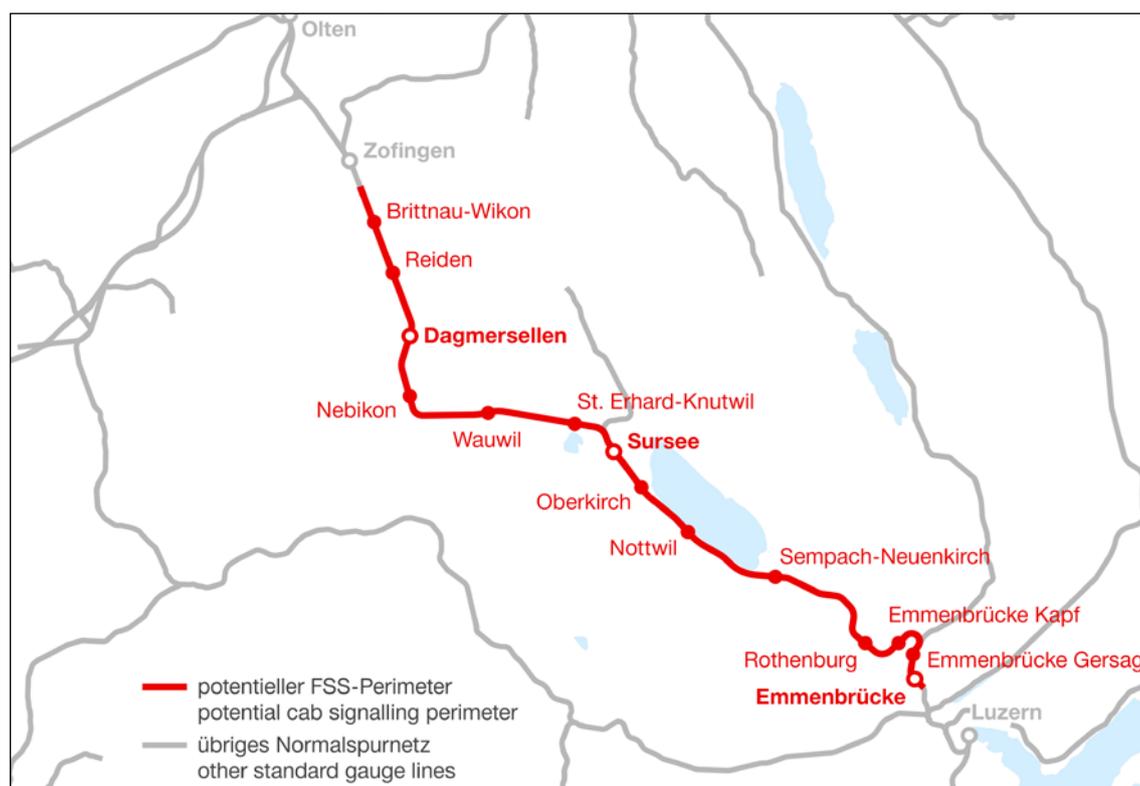
prepared an implementation concept (cf. [2]) in order to implement Measure “I2: the needs-oriented upgrade of the standard gauge network to FSS”, which was addressed to all infrastructure operators. The implementation concept has also defined the conditions under which the SBB believes that there is potential for a “needs-oriented” upgrade to ETCS L2. Such potential exists, if most of the rolling stock intended to run on the line is already L2-capable, if converting the interlockings to ETCS L2 takes place at the most suitable time from an economical standpoint (i.e. if the loss of value due to premature asset replacement were minimised) and if FSS is expected to produce benefits with regard to capacity or operations. According to the implementation concept, five sections appear to be suitable for a “needs-oriented” upgrade to FSS within the period up to 2035 (fig. 1). One of these sections lies between Brittnau-Wikon (the Dagmersellen interlocking) and Emmenbrücke on the Olten – Lucerne main line (fig. 2). The decision as to which system, ETCS L1LS or ETCS L2, to employ will be based on a comparison of the systems. First, in-depth studies of specific sections were carried out to establish the principles on which the decision would be based. These studies demonstrated the technical feasibility, whether or not the operating and traffic requirements had been met, the implications for rolling stock, the estimated costs as well as any inter-related aspects and the requirements for further development. This article compares the two variants with regard to line capacity and timetable stability on the Dagmersellen – Emmenbrücke section.

2 The section between Dagmersellen – Emmenbrücke

Most of the rolling stock used for passenger services on the Dagmersellen – Emmenbrücke section of the Olten – Lucerne line will be ETCS-capable by the end of this decade. The interlockings will also have reached the end of their service lives

Bild 2: Strecke Dagmersellen – Emmenbrücke mit dem zu untersuchenden potenziellen FSS-Perimeter in Rot

Fig. 2: The Dagmersellen – Emmenbrücke line with the potential FSS perimeter to be investigated shown in red



Jahrzehnts ETCS-tauglich sein. Zeitgleich werden die Stellwerke ihr Lebensende erreicht haben. Zudem wird zukünftig auf dem Streckenabschnitt Dagmersellen – Emmenbrücke eine gegenüber heute kürzere ZFZ gefordert. Die fahrzeugseitige Voraussetzung für eine „bedarforientierte“ Aufrüstung auf FSS wird für die angrenzenden Knoten Zofingen und Luzern erst nach 2035 erfüllt sein. Aus diesem Grund sind diese beiden Knoten nicht Teil dieser Aufrüstung. Aus betrieblicher Sicht zeichnet sich der Streckenabschnitt Dagmersellen – Emmenbrücke durch den ausgeprägten Mischverkehr mit stark unterschiedlichen Geschwindigkeiten, kurze ZFZ sowie verschiedene Fahrwegkreuzungen aus.

3 Fokus auf die Streckenkapazität und Fahrplanstabilität

Wie bereits erwähnt, basiert der Variantenentscheid unter anderem auf belastbaren Aussagen zur Streckenkapazität und zur Fahrplanstabilität. Die Erfüllung der betrieblichen Anforderungen sowie die Produzierbarkeit des geplanten Fahrplankonzeptes unter ETCS L2 sind von zentraler Bedeutung, weshalb im Rahmen der vertiefenden Studie ein starker Fokus auf den Themen Kapazität und Stabilität liegt. Basierend auf der zukünftig geforderten Zugfolgezeitverkürzung wurde ein Signalisierungskonzept mit optischer Außensignalisierung (LSS) sowie zwei Signalisierungskonzepte mit Führerstandssignalisierung, „FSS Basis“ und „FSS Optimierte“, erarbeitet. Die Signalisierungskonzepte „FSS Basis“ und LSS wurden basierend auf dem identischen Anforderungsprofil erarbeitet. Für das Signalisierungskonzept „FSS Optimierte“ wurden weitere Potenziale von ETCS L2 berücksichtigt. Konkret unterscheidet sich das Signalisierungskonzept „FSS Optimierte“ durch neun neue und sieben verschobene Signalstandorte gegenüber der Variante „FSS Basis“. Diese Optimierungen basieren auf kritischen Fahrplansituationen sowie alternativen Fahrplankonzepten. An dieser Stelle ist zu erwähnen, dass einer der optimierten Signalstandorte eine Weiterentwicklung im Stellwerk bedingt (Gegenzielausschluss).

Für den Variantenvergleich bezüglich Kapazität und Stabilität werden diese drei vorliegenden Signalisierungskonzepte auf folgende Ausprägungen einander gegenübergestellt. Die Untersuchungen basieren auf dem Referenzfahrplan „Angebotskonzept 2035“ [3]:

- Konfliktfreiheit
- Minimale ZFZ
- Verspätungsübertragung und Erholungsfähigkeit.

4 Methodik Kapazitäts- und Stabilitätsvergleich

Für die Auswertung der oben genannten Ausprägungen wird die Software LUKS verwendet. LUKS ist eine Software für eisenbahnbetriebswissenschaftliche Untersuchungen, die aus mehreren Modulen zur Fahrplankonstruktion, zur bedientheoretischen Untersuchung von Strecken und Knoten und zur Simulation von Fahrplänen und Betrieb besteht [4]. Konkret für diese Untersuchung wurden die Funktionen LUKS-K (Konstruktion) und LUKS-S (Simulation) genutzt. LUKS-K ermöglicht die Visualisierung des Sperrzeitmodells einer jeden Zugfahrt, welches die exakte Belegung aller Infrastrukturelemente und Blockabschnitte berechnet. Details zur Sperrzeitentheorie können [5] entnommen werden. LUKS-S ermöglicht die Simulation des Eisenbahnbetriebs, unter Berücksichtigung von deterministischen oder stochastischen Primärverspätungen. Dabei werden entstehende Belegungskonflikte zwischen Zügen durch verschiedene Dispositionsmaßnahmen gelöst.

at the same time. In addition, shorter headways will also be required in future on the Dagmersellen – Emmenbrücke section. The rolling stock requirement for a “needs-oriented” upgrade to ETCS L2 in the adjacent Zofingen and Lucerne nodes will only be met after 2035. For this reason, these two nodes do not form part of this upgrade. From the point of view of operations, the section between Dagmersellen and Emmenbrücke is used by a particularly marked mix of traffic with varying speeds and short headways, as well as various track intersections.

3 The focus on line capacity and timetable stability

As mentioned above, line capacity and timetable stability is one aspect pertaining to the decision as to which variant to choose. Meeting operating requirements and ensuring the stability of the planned timetable under ETCS L2 are important, which is why the in-depth study has focussed on capacity and stability. A signalling concept using an optical signalling system (LSS) and two signalling concepts using cab signalling, “FSS Basis” and “FSS Optimised”, have been developed based on the future demand for shorter headways. The “FSS Basis” and LSS signalling concepts have been developed based on an identical requirement profile. The further potential of ETCS L2 has been considered for the “FSS Optimised” signalling concept. The difference between the “FSS Optimised” signalling concept and the “FSS Basis” concept lies in the installation of nine new signals and the relocation of seven other signals. These optimisations are based on critical timetable situations and alternative timetable concepts. It should also be mentioned here that one of the optimised signal location would require further development of the interlocking (target exclusion).

The following characteristics were considered when comparing the capacity and stability of these three signalling concepts. The studies are based on the “Network usage concept 2035” reference timetable [3]:

- a conflict-free timetable
- minimum headway-time
- delay propagation and timetable recoverability.

4 The methodology used for the capacity and stability comparison

The LUKS software was used to evaluate the aforementioned characteristics. LUKS is a software application used for railway operations research; it consists of several modules for designing timetables, theoretical investigations into line sections and junctions and simulating timetables and operating processes [4]. This study specifically used the LUKS-K (design) and LUKS-S (simulation) modules. LUKS-K allows the blocking time model for every train journey to be visualised by calculating the precise occupancy of all the infrastructure elements and block sections. Details about blocking time theory can be found in [5]. LUKS-S allows the simulation of railway operations, while taking deterministic or stochastic primary delay factors into consideration. Any occupancy conflicts between trains are resolved by taking various dispatching measures.

4.1 A conflict-free timetable

Ideally, a timetable should be designed so that there are no occupancy conflicts between trains, but there is sufficient buffer time. On the one hand this ensures that all the trains can run as planned under normal operating conditions. And on the oth-

4.1 Konfliktfreiheit

Im Idealfall ist ein Fahrplan so gestaltet, dass keine Belegungskonflikte vorhanden sind und ausreichend Puffer zwischen den Zügen bestehen. Damit wird sichergestellt, dass einerseits unter normalen Betriebsbedingungen alle Züge den Fahrplan einhalten können, andererseits sich durch Reserven Verspätungen reduzieren lassen und die Verspätungsübertragung durch vorhandene Pufferzeiten zwischen den Zügen verhindert, respektive eingedämmt, wird. Bei der Untersuchung bezüglich Konfliktfreiheit wird geprüft, ob zwischen den einzelnen Zugpaaren entsprechend ihrer Reihenfolge und unter Berücksichtigung des Fahrplanes keine Belegungskonflikte, also eine Überlappung der Sperrzeitentreppe zweier Züge, bestehen. Zusätzlich wird untersucht, wie sich die Pufferzeiten zwischen den Zügen in Abhängigkeit vom untersuchten Signalisierungskonzept verändern. Durch die unterschiedlichen Bremskurven zwischen LSS und FSS kann sich die technische Fahrzeit verändern. Zusätzlich unterscheidet sich die Berechnung der Annäherungsfahrzeit zwischen den betrachteten Systemen, sodass unterschiedliche Sperrzeitentreppe bei LSS und FSS entstehen.

4.2 Minimale Zugfolgezeiten

Die minimale ZFZ ist definiert als das kürzeste Zeitintervall zwischen zwei Zügen, in dem jeder Zug ohne Einschränkungen fahren kann, wie in Bild 3 dargestellt. Hierbei sind technische Fahrzeiten und Mindesthaltezeiten berücksichtigt. Im Rahmen dieser Studie werden verschiedene, für das betrachtete Fahrplankonzept typische, Zugfolgefälle betrachtet.

4.3 Verspätungsübertragung und Erholungsfähigkeit

Die Betriebsqualität des Referenzfahrplans „Angebotskonzept 2035“ wird durch stochastische Betriebssimulationen ermittelt. Dafür wird der Betrachtungsraum auf Zofingen im Norden und Luzern im Süden unter Berücksichtigung der notwendigen Levelwechsel erweitert, sodass alle relevanten Fahrbeziehungen abgebildet werden.

er hand, the existence of reserves can reduce delays and buffer times prevent or contain delay propagation between trains. Investigating a conflict-free timetable involves checking that there are no occupancy conflicts between two trains taking into account the sequence in which they run according to the timetable, i.e. ensuring that there is no overlap on the blocking time stairway. An investigation was also undertaken into how the buffer times between trains behave depending on which of the signalling concepts is being investigated. The technical running times vary, because LSS and FSS braking curves are different. Furthermore, calculating the approach time is different between the two systems, thus resulting in different blocking time stairways for LSS and FSS.

4.2 Minimum headway-time

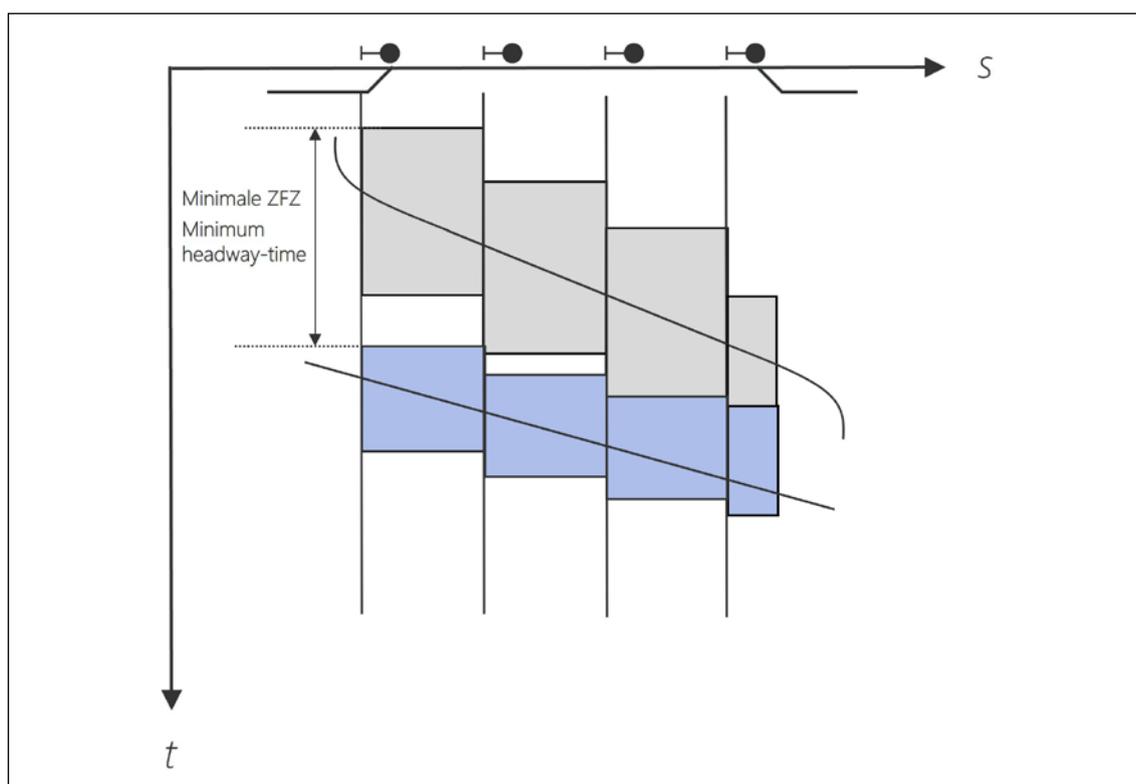
The minimum headway-time is defined as the shortest interval between two trains, during which time each train can run without any restrictions being imposed (as shown in fig. 3). This takes technical running times and minimum dwell times into account. This study has considered various headways that are typical for the timetable under investigation.

4.3 Delay propagation and timetable recoverability

The operating quality of the “Network usage concept 2035” reference timetable has been determined using stochastic operating simulation runs. The simulation perimeter under consideration was extended up to Zofingen in the north and Lucerne in the south, including the essential ETCS-level changes so that all the relevant interactions between the trains were considered. To consider the operating activity outside the simulated perimeters real operating data has been used to determine the induced primary delays. A period of eight hours was simulated, of which six hours were analysed to ensure that steady-state operations were considered. The operating simu-

Bild 3: Darstellung der minimalen Zugfolgezeit (ZFZ)

Fig. 3: A representation of the minimum headway-time



Die in der Betriebssimulation eingestreuten Primärverspätungen zur Abbildung des Betriebsgeschehens außerhalb des betrachteten Perimeters basieren auf realen Betriebsdaten. Simuliert wird ein Zeitraum von acht Stunden, von welchem sechs Stunden ausgewertet werden, um einen eingeschwungenen Betriebszustand zu berücksichtigen. Die Betriebssimulationen werden nach dem Monte-Carlo-Simulationsansatz durchgeführt.

Die Einfahrt in den Kopfbahnhof Luzern mit dem Zusammenlaufen mehrerer Strecken und dem dort produzierten Fahrplankonzept weist eine Komplexität auf, die mit dem Zwei-Zug-Modell nicht abbildbar ist. Daher wird die Simulation mit dem globalen OptDis-Ansatz durchgeführt, welcher in [6] detaillierter beschrieben ist. Dieser Konfliktlösungsansatz verwendet lineare Optimierungsverfahren zur globalen Disposition und betrachtet bei der Konfliktlösung, im Vergleich zum Zwei-Zug-Modell, alle Züge in einem definierbaren Zeithorizont.

Dadurch kann die OptDis-Konfliktlösung oftmals Konflikte lösen, für welche das Zwei-Zug-Modell keine expliziten Konfliktlösungen mehr finden kann. Mithilfe von OptDis werden solche Fälle meistens durch Anpassungen von Geschwindigkeiten gelöst, während hingegen im Zwei-Zug-Modell die Fahrterlaubnis vor dem Konfliktblock endet und der betroffene Zug so lange vor dem Halt zeigenden Signal warten muss, bis der folgende Block freigefahren ist.

Nach Abschluss der Betriebssimulationen für alle drei Signalisierungskonzepte wird jeweils die Betriebsqualität ermittelt und analysiert. Ein Fokus liegt dabei auf den unkompensierten Verspätungen, welche sich aus der Summe der primären und sekundären Verspätungen abzüglich des Verspätungsabbaus innerhalb des Betrachtungsperimeters ergeben. Je weniger unkompensierte Verspätungen im Betrachtungsperimeter entstehen, desto besser ist die Betriebsqualität.

5 Resultate Kapazitäts- und Stabilitätsvergleich

5.1 Konfliktfreiheit

Zum Zeitpunkt dieser Studie ist der vorliegende Referenzfahrplan nicht konfliktfrei, was insbesondere im Fall der FSS-Signalisierungskonzepte zu mehreren Nachteilen führt. Es ist zu erwarten, dass diese Nachteile entfallen, sobald die Fahrplankonzepte auf die FSS-Signalisierung angepasst werden. Die Analyse der vorhandenen Konflikte verdeutlicht, dass in mehreren Fällen durch die Umrüstung auf FSS die unter LSS erfassten Belegungskonflikte verschwinden oder reduziert werden. Allerdings ist in einigen Fällen zu beobachten, dass die Konflikt dauern unter FSS größer werden, als sie es bislang unter LSS sind. Hierbei handelt es sich oftmals um noch nicht im Detail ausgeplante Aus- und Einfädungen von Güterzügen, deren Annäherungsfahrzeit unter FSS im Vergleich zu LSS teilweise deutlich steigt. In diesen Fällen kann die größere Annäherungsfahrzeit durch flachere Bremskurven unter FSS in der Regel nicht durch eine weitere Blockoptimierung kompensiert werden, da der maßgebende Blockabschnitt oftmals der Ein- bzw. Ausfahrblock des Halts ist. Die maßgeblich unterschiedliche Berechnung der Annäherungsfahrzeit hat einen direkten Einfluss auf die resultierenden Pufferzeiten zwischen den Zügen. Hierbei treten sowohl Fälle auf, bei denen LSS besser abschneidet, als auch Fälle, bei denen FSS größere Pufferzeiten aufweist, sodass hier weder für LSS noch FSS ein klarer Vorteil erkennbar wäre.

5.2 Minimale Zugfolgezeiten

Bei der Bewertung der ZFZ ist festzustellen, dass die FSS-Signalisierungskonzepte in vielen der betrachteten Fälle aufgrund der kürzeren Blockteilung eine um bis zu 15 % geringere ZFZ aufwei-

lution runs were performed using the Monte Carlo simulation approach.

The approach to the terminus in Lucerne, where several lines converge, plus the timetable concept for this location, is so complex that it cannot be modelled by the “two-train model”. The simulation was therefore performed using the global OptDis approach described in detail in [6]. This conflict resolution approach uses linear optimisation procedures for global dispatching. Compared with the two-train model, the OptDis model considers all the trains within a definable time horizon when resolving conflicts.

As a result, OptDis conflict resolution can often resolve conflicts for which the two-train model is unable to find solutions. OptDis often resolves such cases by adjusting the speeds, whereas the movement authority ceases at the start of the conflict block in the two-train model and the affected train has to wait in front of the signal until the preceding train has left the block.

The quality of operations under all three signalling concepts was determined and analysed following the completion of the operating simulation runs for each one. Particular focus was placed on the non-compensated delays consisting of primary and secondary delays minus the delay reduction within the simulation perimeter under consideration. The fewer the amount of non-compensated delays in this area, the better the quality of operations.

5 The results of the capacity and stability comparison

5.1 A conflict-free timetable

At the time of this study, the existing reference timetable is not conflict-free, which has led to several disadvantages, especially for the FSS signalling concepts. It is expected that these disadvantages will disappear as soon as the timetable concepts are adapted to FSS signalling. Analysis of the conflicts has illustrated that, if the FSS is used, the occupancy conflicts occurring under LSS either disappear or are reduced in several cases. However, it was observed that the conflicts persisted for longer under FSS than under LSS in some cases. These conflicts are often caused by freight trains, which have not yet been planned in detail and whose approaching times under FSS sometimes increase significantly compared to LSS. In these cases, the longer approach time due to the flatter braking curves under FSS usually cannot be compensated for by further block optimisation since the relevant block section is often an entry or exit block at a station. The different calculation of the approach time has a direct influence on the resulting buffer times between the trains. There are cases where LSS performs better, as well as cases where FSS has longer buffer times; consequently no clear advantage can be seen for either LSS or FSS.

5.2 Minimum headway-times

The evaluation of train headways showed that the headway under FSS was up to 15% less than under LSS in many cases due to the shorter block sections. However, there were also cases in which the restrictive braking curves when entering a station stop under FSS could lead to longer technical running times than under LSS. The increase in running time can have a direct impact on the headway depending on the train headway case under consideration. This cannot always be compensated for by additional block sections, meaning that there were only

sen als unter LSS. Allerdings gibt es auch Fälle, bei denen die restriktiven Bremskurven unter FSS zu deutlich längeren technischen Fahrzeiten führen können als unter LSS. Beispielsweise bei der Einfahrt in einen Bahnhof mit Halt. Je nach betrachtetem Zugfolgefall kann die verlängerte Fahrzeit direkt auf die ZFZ durchschlagen. Dies kann nicht immer durch zusätzliche Blockteilungen kompensiert werden, sodass bei den betrachteten Zugfolgefällen nur wenige Unterschiede zwischen den Signalisierungskonzepten „FSS Basis“ und „FSS Optimierte“ festgestellt werden können.

5.3 Verspätungsübertragung und Erholungsfähigkeit

Bei der Auswertung der Betriebsqualität des Referenzfahrplans liegt der Fokus auf der Analyse der unkompensierten Verspätungen. Mit dem Signalisierungskonzept „FSS Optimierte“ lassen sich diese Verspätungen um 14 % gegenüber LSS reduzieren. Zusätzlich werden mit „FSS Optimierte“ keine zusätzlichen Verspätungen im Perimeter aufgebaut, dies bedeutet, dass alle entstandenen Sekundärverspätungen im betrachteten Perimeter wieder abgebaut werden können. Bild 4 zeigt den Vergleich des Verspätungsverhaltens der drei Szenarien, wobei die Primärverspätungen jeweils im gleichen Umfang eingestreut werden. Die Summe aller Verspätungen (Primär + Sekundär) ist in „FSS Basis“ um 4 % geringer als mit LSS-Signalisierung. Mit dem Konzept „FSS Optimierte“ können diese nochmals um 1 % reduziert werden.

Aus den Ergebnissen der Betriebssimulation lassen sich zunächst die folgenden zwei Schlüsse ableiten:

- Durch die kontinuierlich mögliche Aufwertung der Fahrterlaubnis (Movement Authority, MA) unter FSS entstehen weniger Sekundärverspätungen auf der Strecke als unter LSS.
- Bei Nutzung des optimierten FSS-Konzepts findet mehr Verspätungsabbau auf der Strecke im Vergleich zu LSS statt.

Bei der Bewertung der Simulationsergebnisse müssen zusätzlich die Randbedingungen des Simulationsmodells berücksichtigt werden. Einen großen Einfluss auf die Betriebsqualität hat die unter LSS nicht kontinuierlich mögliche Fahrtaufwertung. Diese ist bei LSS nur an Balisen oder Loops möglich, anders als bei der funkbasierten Führerstandsicherung. Der genutzte globale Simulationsansatz löst Konflikte oftmals mittels Geschwindigkeitsanpassungen, um eine

a few differences between the “FSS Basis” and “FSS Optimised” signalling concepts with regard to the investigated headways.

5.3 Delay propagation and delay reduction

The evaluation of the quality of operations focussed on analysing non-compensated delays. The “FSS Optimised” signalling concept reduced these delays by 14 % compared to LSS. Furthermore, no additional delays occurred in the perimeter with “FSS Optimised”, meaning that all the secondary delays that had built up in the simulation perimeter under consideration could be recovered again. Fig. 4 compares the delay behaviour pattern in the three scenarios, primary delays having been injected to the same extent in each case. The sum of all the delays (primary + secondary) is 4 % lower in “FSS Basic” than in LSS. These delays could be reduced by an additional 1 % by employing the “FSS Optimised” concept.

The following two initial conclusions can be drawn based on the results of the operating simulation:

- Given that it is possible to continuously extend the movement authority (MA) under FSS, fewer secondary delays occur than under LSS.
- The use of the “FSS Optimised” signalling concept produces more delay recovery on the line compared to LSS.

The boundary conditions must also be taken into account when evaluating the simulation results. Continuously extending the movement authority, something which is not possible under LSS, has a major impact on the quality of operations. Unlike radio-based cab signalling, LSS only enables this at balises or loops. The used global simulation approach often resolved conflicts by making speed adjustments so as to create a “green wave”; it thus avoided trains having to stop at signals due to the subsequent block section being occupied. This does not accurately reflect current train dispatching practice. The running time and capacity requirement when approaching a closed signal and its subsequent change to green can differ massively between LSS and FSS. However, these differences rarely occur when using the OptDis simulation approach; it can be assumed, therefore, that the results simulated with the OptDis approach do not fully reflect this FSS advantage.

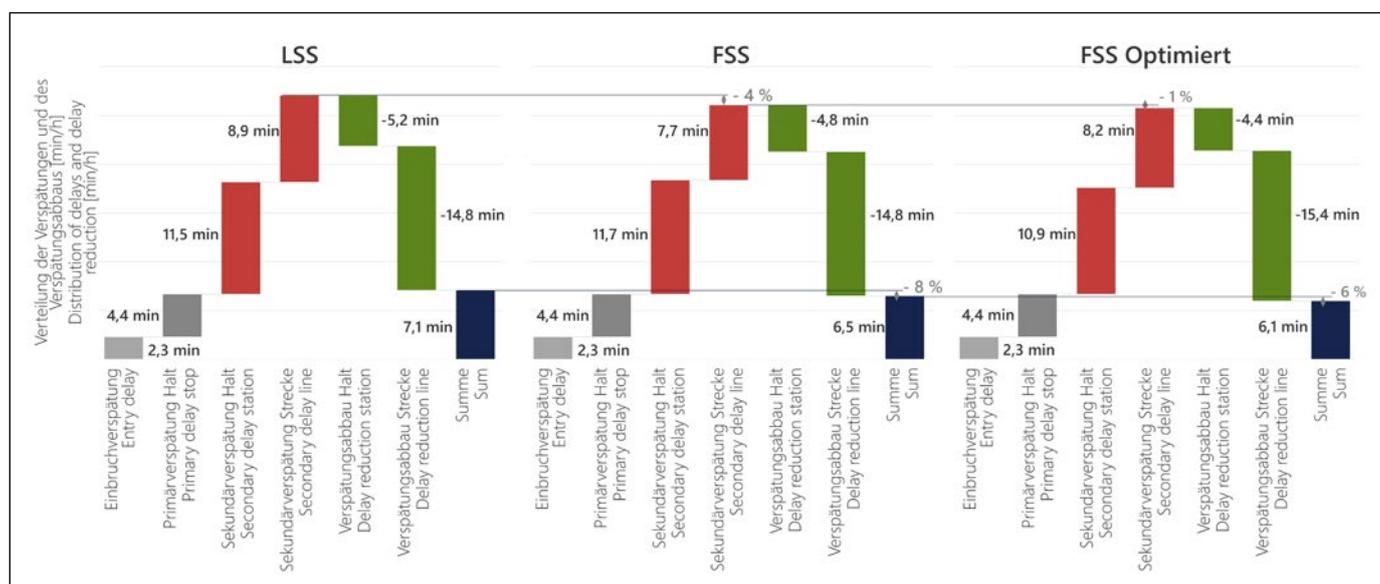


Bild 4: Simulationsergebnisse LSS, „FSS Basis“ und „FSS Optimierte“

Fig. 4: The simulation results for LSS, “FSS Basis” and “FSS Optimised”

„grüne Welle“ zu realisieren. Dadurch vermeidet der globale Simulationsansatz, dass ein Zug vor einem haltzeigenden Signal zum Stehen kommen muss, wenn der folgende Abschnitt noch belegt ist. Dies spiegelt die heutige Disposition nicht exakt wider. Der Fahrzeit- und Kapazitätsbedarf bei der Annäherung an ein haltzeigendes Signal und Aufwertung desselben unterscheidet sich zwischen LSS und FSS massiv. Diese Unterschiede kommen in der Simulation mit dem OptDis-Ansatz aber nur selten zum Tragen, wodurch anzunehmen ist, dass die mit dem OptDis-Ansatz berechneten Ergebnisse diese Vorteile von FSS nicht vollständig widerspiegeln.

6 Fazit

Im Rahmen des Konzepts „bedarfsorientierte Umsetzung ETCS L2“ wurde die Hypothese aufgestellt, dass sich ETCS L2 auf stark befahrenen Mischverkehrsstrecken grundsätzlich positiv auf die Kapazität und die Betriebsstabilität auswirkt. Basierend auf der vorliegenden Untersuchung kann diese Hypothese für den Streckenabschnitt Dagmersellen – Emmenbrücke größtenteils bestätigt werden. Abgesehen von noch nicht ausgeplanten Pufferzeit- und Belegungskonflikten ist die Fahrbarkeit des Referenzfahrplans „Angebotskonzept 2035“ im betrachteten Perimeter sowohl unter ETCS L1LS als auch unter ETCS L2 gewährleistet.

Die ZFZ auf offener Strecke und die Wiederbelegungszeiten der Bahnsteiggleise können mit ETCS L2 gegenüber ETCS L1LS um bis zu 10-15 % verkürzt werden. Gleichzeitig ist ein leichter Anstieg der Fahrplanstabilität aufgrund der Abnahme von unkompensierten Verspätungen festzustellen. In den meisten Fällen überwiegen die positiven Effekte von ETCS L2 die negativen Auswirkungen gegenüber ETCS L1LS. Positiv wirken sich die kurzen Blockabschnitte sowie die schnellere Fahrbegriffsaufwertung via Funk von ETCS L2 aus. Negativ gegenüber ETCS L1LS sind die in einigen Fällen flacheren Bremskurven unter ETCS L2, welche zu größeren Annäherungsfahrzeiten führen. Können die flacheren Bremskurven nicht durch kürzere Blockteilungen kompensiert werden, kommen diese negativen Effekte von ETCS L2 gegenüber ETCS L1LS zum Tragen. Diese Situation liegt typischerweise bei Fahrwegkreuzungen des Gegengleises vor, beispielsweise bei der Einfahrt in das Annahmegleis des Güterverkehrs in Dagmersellen und Rothenburg.

Aus den Resultaten ist erkennbar, dass sich eine Umrüstung von LSS auf FSS auf Strecken des bestehenden Netzes positiv auf die Kapazität auswirkt. Es ist jedoch hervorzuheben, dass nicht grundsätzlich von einer Kapazitätssteigerung ausgegangen werden kann. Auch mit optimierter ETCS L2 Signalisierung resultieren in wenigen Betriebsfällen längere ZFZ. Damit solche Fälle identifiziert werden können und ihr Einfluss auf den Betrieb eingeschätzt werden kann, ist eine mikroskopische Untersuchung mittels Betriebssimulation zu empfehlen.

Abschließend ist zu ergänzen, dass verschiedene zusätzliche Kapazitätspotenziale für den Streckenabschnitt Dagmersellen – Emmenbrücke in der hier erläuterten Untersuchung noch nicht betrachtet sind. Weiteres Potenzial zur Steigerung der Kapazität wird im Zusammenspiel zwischen ETCS L2 und den Umsystemen erwartet. Projekte wie beispielsweise der „Digitale Knoten Stuttgart“ zeigen erhebliche Kapazitätspotenziale durch das enge Zusammenspiel von Rollmaterial, Stellwerk, Infrastruktur, Traffic-Management- und Fahrassistenz-Systemen mit ETCS L2 im Sinne einer Gesamtsystemoptimierung [7]. Um einen noch größeren Beitrag zur Leistungssteigerung des bestehenden Eisenbahnnetzes zu erzielen, sollten solche Potenziale bei der „bedarfsorientierten Umsetzung von ETCS L2“ zukünftig ebenfalls mitbetrachtet werden. ■

6 Conclusion

When considering the “needs-oriented implementation of ETCS L2” concept, it was hypothesised that ETCS L2 generally had a positive effect on capacity and operating stability, especially on heavily used mixed traffic routes. The present study has been able to largely confirm this hypothesis for the Dagmersellen – Emmenbrücke section. The operability of the “Network usage concept 2035” reference timetable within the considered perimeter is guaranteed under both ETCS L1LS and ETCS L2 with the exception of those buffer time and occupancy conflicts that have not yet been planned in detail.

Compared to ETCS L1LS, headways on open tracks and the times that trains can occupy platform tracks after a preceding train has departed can be reduced by up to 10 – 15 % with ETCS L2. At the same time, there is a slight increase in timetable stability due to the reduction of non-compensated delays. In most cases, the positive effects of ETCS L2 outweigh the negative effects compared to ETCS L1LS. Shorter block sections as well as the continuous extension of the movement authority via radio under ETCS L2 have a positive effect. The flatter braking curves in some cases under ETCS L2, which result in longer approach times, are negative compared with ETCS L1LS. These ETCS L2 negative effects compared with ETCS L1LS occur when more restrictive braking curves cannot be compensated for by shorter block sections. This situation typically occurs with counter-directional moves at flat junctions, for example when freight trains cross the main line to enter the freight terminals in Dagmersellen and Rothenburg.

The results have shown that converting from LSS to FSS on sections of the existing network can have a positive effect on capacity. However, it should be stressed that an increase in capacity cannot be assumed in general. Even with optimised ETCS L2 signalling, there will be longer headways in some operating cases. In order to identify such cases and assess their influence on rail operations, a detailed (microscopic) investigation using simulation of operations is recommended.

Finally, it should be added that the potential for various additional increases in capacity on the Dagmersellen – Emmenbrücke section have not yet been considered within the scope of this study. Further potential for increasing capacity is expected from the interaction between ETCS L2 and the surrounding systems. Projects such as the “Digital Node Stuttgart” have shown considerable capacity potential through the close interaction of rolling stock, interlockings, infrastructure, traffic management and driving assistance systems with ETCS L2 as part of the overall system optimisation [7]. In order to achieve an even greater contribution towards increasing the performance of the existing railway network, such potentials should also be considered for the future “needs-oriented implementation of ETCS L2”. ■

AUTOREN | AUTHORS

Dominic Stucki, M. Sc.

Projektleiter Gesamtsystem Bahn / *Railway systems project manager*
SBB AG
Anschrift / Address: Hilfikerstraße 3, CH-3065 Bern 65
E-Mail: dominic.stucki@sbb.ch

Eike Hennig, M. Sc.

Senior Engineer
quattron management consulting GmbH
Anschrift / Address: Römerstraße 50, D-52062, Aachen
E-Mail: eike.hennig@quattron.com

Nadine Steiner, M. Sc.

Projektleiterin Gesamtsystem Bahn / *Railway systems project manager*
SBB AG
Anschrift / Address: Hilfikerstraße 3, CH-3065 Bern 65
E-Mail: nadine.steiner@sbb.ch

LITERATUR | LITERATURE

- [1] Bundesamt für Verkehr: „ERTMS-Strategie BAV, Stand 2021“, BAV, Bern, 2021
[2] Stucki, D.; Molis, J.; Eichenberger, P.: „Bedarfsorientierte Aufrüstung auf ETCS Level 2 bei SBB Infrastruktur“, SIGNAL+DRAHT Nr. 7+8/2022, pp. 20-28
[3] Bundesamt für Verkehr: „Ausbauschnitt 2035, Begleitdokument zum Angebotskonzept, 11-2021“, BAV, Bern, 2021
[4] Janecek, D.; Weymann, F.; Schaer, T.: „LUKS – integriertes Werkzeug zur Leistungsuntersuchung von Eisenbahnknoten und -strecken“, ETR – Eisenbahntechnische Rundschau 1+2/2010
[5] Happel, O.: „Sperrzeiten als Grundlage der Fahrplankonstruktion“, ETR – Eisenbahntechnische Rundschau 8/1959, pp. S. 79-80
[6] Weymann, F.; Hennig, E.; Büker, T.: „Nutzenbewertung von TMS/ATO und weiterer Innovationen mittels Simulationsverfahren“, ETR – Eisenbahntechnische Rundschau 6/2022, pp. 30-34
[7] Kümmling, M.; Wanstrath, S.: „Maximierung der Fahrwegkapazität mit Digitaler Leit- und Sicherungstechnik“, ETR – Eisenbahntechnische Rundschau 7+8/2021, pp. 16-21

HANNING & KAHL

Weichenantrieb H715

Zukunftsweisende Antriebstechnologie für Vignolweichen in zertifizierter Sicherheitsklasse SIL 4.

Besuchen Sie uns, 8. Railway Form, Stand J08

www.hanning-kahl.de

23. Internationaler SIGNAL+DRAHT-Kongress



23rd International SIGNAL+DRAHT Congress

HYBRID



09. – 10. November 2023, Maritim Hotel, Fulda / DVV Webinar-Center
09th – 10th November 2023, Maritim Hotel, Fulda / DVV Webinar-Center

SIGNAL+DRAHT-Kongress 2023

Der flächendeckende Rollout von ETCS rückt näher. Dabei wird immer offensichtlicher, dass für eine erfolgreiche Umsetzung der ganzheitliche Blick auf alle Aspekte der Digitalisierung des Schienenverkehrs unabdingbar ist. Und für eine Skalierung aus den Pilotprojekten auf einen Flächenrollout müssen die Erfahrungen aus den bisherigen Realisierungen über die verschiedenen Akteure hinweg nutzbar gemacht werden.

Vor diesem Hintergrund zeigt der 23. Internationale Signal+Draht-Kongress konkrete Praxisbeispiele und Erfahrungen aus laufenden und abgeschlossenen Projekten auf. Ein besonderer Fokus liegt bei der Frage, wie eine Umsetzung des Flächenrollouts überhaupt möglich wird: Welche Bedeutung hat die Fahrzeugumrüstung, welche Rolle spielt die Systemintegration, was lässt sich aus dem Schnellläuferprogramm lernen und mit welchen Mitteln können die Prozesse beschleunigt werden?

Die Podiumsdiskussion greift diese Fragen unter dem Motto „Im Blindflug in den Rollout?“ zusammenfassend auf. Ein Seitenblick gilt dem Projekt European Single Sky der Flugsicherung, während die Neuerungen der TSI ZZS 2023 und eine Live-Demonstration des ERTMS-Analysesystems das Programm abrunden. Zum Kongress gehört einmal mehr die Verleihung des Signal+Draht-Lebenswerkpreises an eine herausragende Persönlichkeit der LST-Branche. Neben der Präsenzteilnahme vor Ort in Fulda mit der Gelegenheit zum Austausch und persönlichen Gesprächen mit den rund 250 Teilnehmenden ist alternativ auch die digitale Teilnahme am Livestream möglich.

Weitere Informationen und die Anmeldung finden Sie unter:
www.dvvmedia-webinar.com/signaldraht2023

SIGNAL+DRAHT Congress 2023

The nationwide rollout of ETCS is getting closer. It is becoming increasingly obvious that a holistic view of all aspects of the digitisation of rail transport is indispensable for successful implementation. And to scale up from the pilot projects to an area-wide rollout, the experience gained from previous implementations must be harnessed across the various players.

Against this background, the 23rd International Signal+Draht Congress will highlight concrete practical examples and experiences from ongoing and completed projects. A particular focus will be on the question of how an area rollout can be implemented in the first place: What is the significance of vehicle retrofitting, what role does system integration play, what can be learned from the fast-track program, and what means can be used to accelerate the processes? The panel discussion will take up these questions in summary under the motto „Flying blind into the rollout?“. A sideways glance will be taken at the European Single Sky project of air traffic control, while the innovations of TSI CCS 2023 and a live demonstration of the ERTMS analysis system will round off the program.

The congress will once again include the presentation of the Signal+Draht Lifetime Achievement Award to an outstanding personality in the CCS industry. In addition to on-site participation in Fulda with the opportunity for exchange and personal discussions with the approximately 250 participants, digital participation via livestream is also possible as an alternative.

The congress will be held in German

Further information and the registration at
www.dvvmedia-webinar.com/signaldraht2023

Organisation | Organisation

Daniela Hennig
Tel.: +49/(0)40/237 14 - 355
E-Mail: daniela.hennig@dvvmedia.com

Ausstellung | Sponsoring

Silvia Sander
Tel.: +49/(0)40/237 14 - 171
E-Mail: silvia.sander@dvvmedia.com

Veranstalter | Organizer

**Eurail
press**

23. Internationaler SIGNAL+DRAHT-Kongress 23rd International SIGNAL+DRAHT Congress

Bereit zum Rollout? Donnerstag, 09. November 2023		Ready for rollout? Thursday, 09 th November 2023	Referent / Speaker
10:30	Begrüßung	Welcome	Manuel Bosch, DVV Media Group GmbH
10:35	Einleitung	Introduction	Reinhold Hundt / August Zierl, SIGNAL+DRAHT
10:45	Digitale Transformation der Eisenbahn – eine Standortbestimmung	Digital transformation of the railway – an assessment of the current situation	Philipp Nagl, DB Netz
11:15	Bedeutung der Fahrzeugumrüstung für die Zielerreichung	Importance of vehicle retrofitting for the achievement of the target	Klaus Garstenauer, ÖBB
11:45	Vorgehen zur nationalen Umrüstung von Fahrzeugflotten	Procedure for the national conversion of vehicle fleets	Florian Bitzer, DB Netz Christian Schunke-Mau, Alstom
12:15	Ganzheitlicher Ansatz am Beispiel des Digitalen Knoten Stuttgart	Holistic approach using the example of the Digital Node Stuttgart	Bernd Lück, Thales Christian Lammerskitten, DB PSU
12:45	Mittagessen	Lunch	
14:15	Systemintegration bei der ETCS-Ausrüstung der Wiener Schnellbahn	System integration for the ETCS equipment of the Vienna Rapid Transit	Ramo Begic, ÖBB Infrastruktur
14:35	Praxis-Erfahrungen, Nutzenpotenziale und Grenzen herstellerübergreifender Systemintegrationen am Beispiel SCI-CC	Practical experience, potential benefits and limits of cross-manufacturer system integration using the example of SCI-CC	Tobias Schanzer, DB Netz Carsten Sattler, Siemens Ralf Salka, Scheidt & Bachmann
15:00	Vorbereitung des ETCS-Rollouts und Upgradefähigkeit	Preparation of the ETCS rollout and upgrade capability	Fabian Scherer, SBB
15:25	Rollout-Planung im deutschen Fernverkehr: Aktueller Stand, Konzepte und Herausforderungen	Rollout planning in German long-distance traffic: Current status, concepts and challenges	Frank Gülicher, DB Netz Matthias Feja, Siemens
15:45	Kaffeepause	Coffee Break	
16:35	Podiumsdiskussion „Im Blindflug in den Rollout?“	Panel discussion "Flying Blind into Rollout?"	Markus Fritz, Thales Isabel Völlers, Alstom Frank Gülicher, DB Netz Prof. Dr. Corinna Salander, BMDV Klaus Garstenauer, ÖBB PV
17:25	SIGNAL+DRAHT-Lifetime Achievement Award 2023	SIGNAL+DRAHT-Lifetime Achievement Award 2023	Bosch / Hundt / Zierl, SIGNAL+DRAHT
18:00	Abend der Kommunikation	Networking evening	

Freitag, 10. November 2023		Friday, 10 th November 2023	Referent / Speaker
9:00	Digital Twin als Basis für den digitalen Bahnbetrieb	Digital Twin as the basis for digital rail operation	Eva Kaiser, ÖBB Infrastruktur
9:30	Digitale ETCS-Planung zur Beschleunigung am Beispiel des Projektes D3IP	Digital ETCS planning for acceleration using the example of the D3IP project	Prof. Dr. Andreas Oetting, TU Darmstadt Dr. Volkmar Bachmann, DB Netz
10:00	Anpassung des Regelwerks – Ansätze zur Beschleunigung der Prozesse	Adaptation of the regulatory framework – approaches to accelerate the processes	Reiner Selig, DB Netz
10:30	Kaffeepause	Coffee Break	
11:00	Single European Sky – Herausforderungen bei der Harmonisierung der Flugsicherung	Single European Sky – challenges in the harmonisation of Air Traffic Control	Dr. Franz Nirschl, Austro Control
11:25	Die Neuerungen der TSI ZZS 2023	The innovations of the TSI CCS 2023	Dr. Reiner Behnsch, DB Netz
11:50	Live-Demonstration: Möglichkeiten des ERTMS-Analysesystems	Live demonstration: possibilities of the ERTMS analysis system	Andreas Göttig, DB Netz
12:15	Ende der Veranstaltung	End of the event	