Untersuchung von Upgrade-Szenarien von ETCS L1LS auf Führerstandsignalisierung

An investigation into the scenarios for upgrading from ETCS L1LS to cab signalling

Melvin Zinngrebe | David Kryscio | Eike Hennig

Das Schweizer Eisenbahnnetz ist in der Fläche mit dem European Train Control System Level 1 Limited Supervision (ETCS L1LS) ausgestattet. Die damit einhergehende optische Signalisierung soll im Rahmen der European Rail Traffic Management System (ERTMS)-Strategie des Bundesamts für Verkehr (BAV) durch Führerstandsignalisierung (FSS) ersetzt werden [1]. Bislang wurden bei der Migration auf FSS immer ganze Stellwerke ersetzt. Unter dem Namen „Upgradability" sucht die Schweizerische Bundesbahnen AG (SBB) nach Lösungen für eine Migration von ETCS L1LS zunächst auf ETCS L2 und später auf L3.

1 Notwendigkeit von Migrationsszenarien für Sicherungsanlagen

Rund 560 Stellwerke sichern den Eisenbahnbetrieb auf dem Netz der SBB. Die einzigen Ausnahmen von der netzweiten Ausrüstung mit ETCS L1LS bilden die Strecken Mattstetten – Rothrist, Lausanne – Villeneuve, Sion – Sierre sowie Gotthard-Basistunnel, auf denen ETCS L2 mit Führerstandsignalisierung (FSS) zum Einsatz kommt.

Wie in den meisten europäischen Ländern ist die Stellwerksstruktur im Netz der SBB historisch gewachsen. Über 300 Relaisstellwerke werden neben elektronischen Stellwerken (ESTW) aus zwei Generationen betrieben. Für die flächendeckende Migration auf FSS resultiert aus dieser Heterogenität eine besondere Herausforderung: Während in der Vergangenheit ein punktueller Ersatz mit dem gleichen Signalisierungstyp möglich war, müssen aus Gründen der Fahrbarkeit für die Migration auf FSS sinnvolle Ablöseperimeter geschaffen werden. Häufige und kurz aufeinander folgende Levelübergänge zwischen ETCS L1LS und FSS sind zu vermeiden; eine Streckensperrung für die Migration ist nicht vorgesehen.

Rund 30 % der heutigen Stellwerke gehören zur Zweiten Generation der ESTW. Diese werden sowohl mit optischer Signalisierung als auch mit FSS eingesetzt, wobei die mit FSS eingesetzten Stellwerke nur 4 % der Gesamtanlagen ausmachen. Hinzu kommen weitere 20 % der Stellwerke, die zur Ersten Generation der ESTW gezählt werden. Diese Anlagen stehen kurz vor ihrem Lebenszyklusende, könnten durch den Einsatz von lebensverlängernden Maßnahmen jedoch partiell in Richtung FSS migriert werden [2].

Um die Fahrbarkeit auch während der späteren Migration auf FSS zu gewährleisten, wurden in den bisherigen L2-Projekten die durch unterschiedliche Projektierungsregeln und Bremskurven bedingten neuen Standorte für Achszähler, Gleisfreimelder und Zwerge vorgängig zur Migration mit neuen Außenelementen ausgestattet. Anschließend erfolgt ein Softwareupdate der Innenanlage, bevor die alten Außenelemente zurückgebaut wer-

The Swiss railway network is largely equipped with the European Train Control System Level 1 Limited Supervision (ETCS L1LS). The visual signalling associated with ETCS L1LS is to be replaced with cab signalling (German abbreviation: FSS) as part of the Federal Office of Transport's (FOT) European Rail Traffic Management System (ERTMS) strategy [1]. Until now, the procedure for migrating to FSS has always been to completely replace the interlockings. In its quest for "upgradability", Swiss Federal Railways AG (SBB) is seeking solutions for migrating from ETCS L1LS, initially to ETCS L2 and subsequently to L3.

1 The necessity of migration scenarios for signalling installations

The safety of railway operations on the SBB network is ensured by some 560 interlockings. The only lines on the network that are not equipped with ETCS L1LS are the Mattstetten – Rothrist, Lausanne – Villeneuve and Sion – Sierre lines as well as Gotthard base tunnel, where ETCS L2 with in-cab signalling (FSS) is employed.

As in most European countries, the inventory of interlockings in the SBB network has grown historically. Over 300 relay interlockings operate alongside two generations of electronic interlockings. This heterogeneity poses a particular challenge for the nationwide migration to FSS. In the past, it was possible to replace the interlockings one at a time with the same type of signal; however, suitably large "upgrade perimeters" need to be selected when migrating to FSS so that rail services can continue to operate smoothly. Frequent and successive transitions between ETCS L1LS and FSS should be avoided; line closures have also not been envisaged for the migration.

Around 30 % of the existing interlockings belong to the 2nd generation of electronic interlockings. These are used in conjunction with both line-side signalling and FSS, although the interlockings used with FSS account for only 4 % of the total. In addition, another 20 % of the interlockings are 1st generation electronic interlockings. These systems are nearing the end of their lifecycle, but could be partially migrated towards FSS by employing life extending measures [2].

The new sites for installing axle counters, track-release signalling devices and lineside signals, as required by various project planning rules and braking curves, were already fitted with these new external elements prior to migration in previous L2 projects, thereby ensuring that railway operations could be conducted smoothly during the subsequent migration to FSS. This was followed by a

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für SBB AG, Afry Schweiz AG, quattron management consulting GmbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

den. Durch diese Praxis entstanden bei der Migration auf FSS bisher in etwa die gleichen Kosten wie bei einem kompletten Neubau des Stellwerks. Um die bis dahin durch die Migrationspraxis entstehenden Mehrkosten zu verhindern, untersucht die SBB unter dem Namen „Upgradability" Möglichkeiten der Migration von ETCS L1LS auf FSS ohne den Bau neuer Außenelemente.

2 Strecke Olten – Luzern als Untersuchungsobjekt

Die vom Schweizerischen BAV veröffentlichte Strategie „European Rail Traffic Management System" [1] legt fest, dass *„das Normalspurnetz* […] *bedarfsorientiert auf FSS (aktuell L2 mit GSM-R) aufzurüsten* [ist]*, um längere, zusammenhängende FSS-Strecken zu erhalten"*. Als eine mögliche Strecke für die bedarfsorientierte FSS-Ausrüstung wurde die Strecke Dagmersellen - Emmenbrücke auf der Linie Olten – Luzern identifiziert (siehe dazu auch den Artikel „Kapazitäts- und Stabilitätsvergleich von ETCS L1LS und L2 auf der Strecke Dagmersellen – Emmenbrücke" in gleicher Ausgabe).
Im Rahmen des Variantenentscheids zwischen L1LS und FSS wurden Signalisierungskonzepte (SiKo) für die Nutzung der Systemsoftware update of the interior system before the old exterior elements were dismantled. To date, this practice has resulted in the cost of the FSS migration being roughly the same as if a completely new interlocking had been installed. In order to avoid the additional costs incurred by the existing migration practices, SBB (as part of its "upgradability" project) is investigating its options for migrating from ETCS L1LS to FSS without installing any new external elements.

2 The Olten – Lucerne line used to investigate upgradability

The "European Rail Traffic Management System" strategy published by the Swiss Federal Office of Transport [1] states that "*the standard gauge network [...] is to be upgraded to FSS (currently L2 with GSM-R) on an as-required basis in order to obtain longer, continuous FSS sections of line*". The Dagmersellen-Emmenbrücke section of the Olten-Lucerne line has been identified as a possible section for equipping FSS on a needs-oriented basis (cf. the article "Kapazitäts- und Stabilitätsvergleich von ETCS L1LS und L2 auf der Strecke Dagmersellen – Emmenbrücke" ["Capacity and stabil-

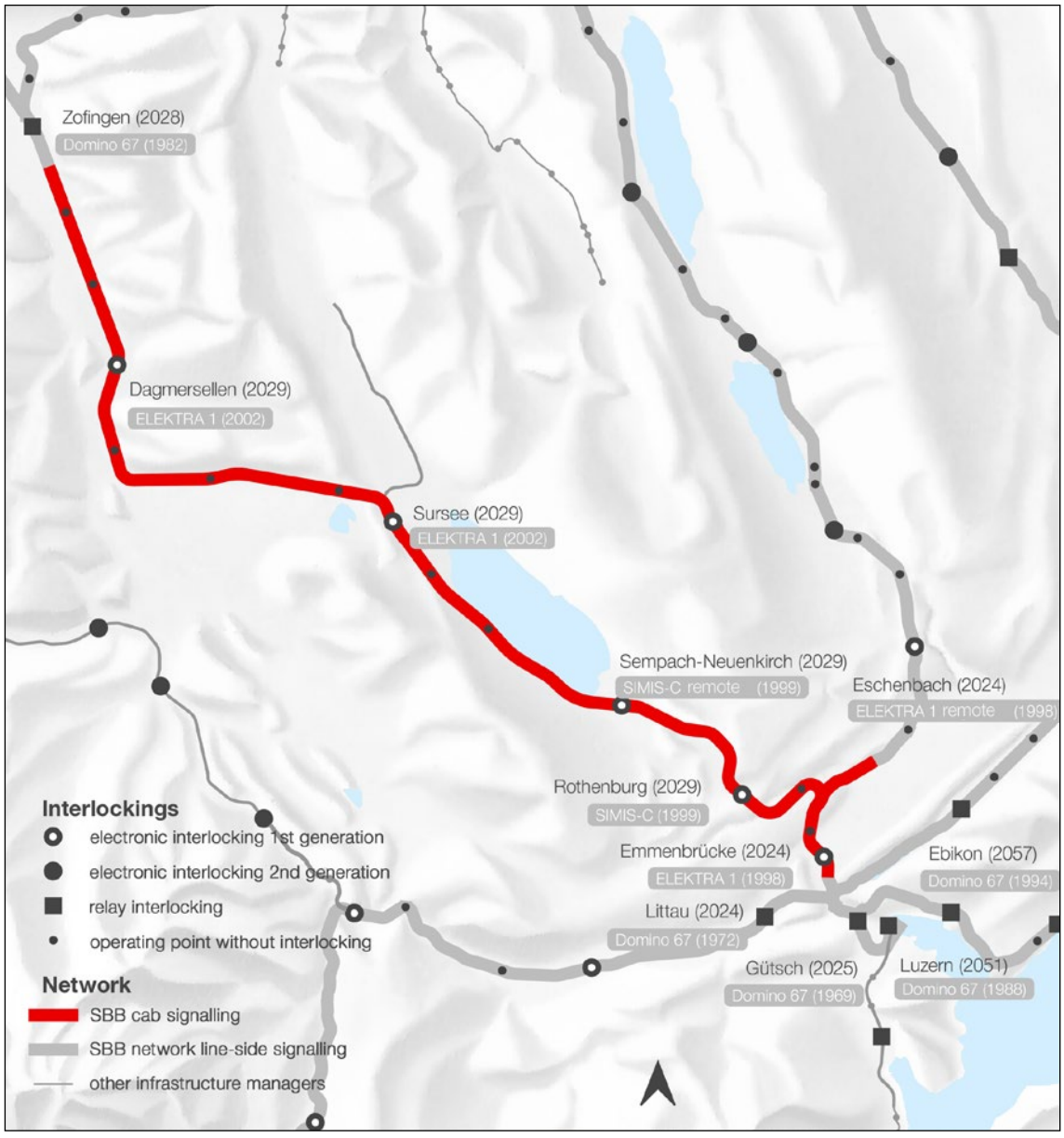


Bild 1: Untersuchter Streckenabschnitt auf der Linie Olten – Luzern
Fig. 1: The section of the investigated Olten – Lucerne line

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für SBB AG, Afry Schweiz AG, quattron management consulting GmbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

	L1LS	L2
Migrationsweg auf Basis L2	angepasst	optimiert
Migrationsweg auf Basis L1LS	optimiert	angepasst

Tab. 1: Übersicht der betrachteten Migrationspfade

	L1LS	L2
Migration based on target signalling concept L2	adapted	adapted
Migration based on target signalling concept L1LS	optimized	optimized

Tab. 1: A summary of the considered migration paths

me erstellt, welche in der Upgradability-Untersuchung nachgenutzt werden. Zudem bietet sich die Strecke aufgrund ihrer als repräsentativ eingestuften Kapazitätsanforderungen als Untersuchungsgegenstand an.

3 Migrationspfade

Auf Basis der bestehenden Projektierungen für L1LS und FSS werden zwei Migrationspfade entwickelt. Das Ziel beider Migrationspfade ist es, dass nach Abschluss der Migration FSS (ETCS L2) auf der betrachteten Strecke gefahren wird. Tab. 1 gibt einen Überblick darüber, welche SiKo für beide Migrationspfade zunächst für den Betrieb unter L1LS und danach unter FSS genutzt werden.

- Der „Migrationsweg auf Basis L2" geht davon aus, dass es möglichst wenig Anpassungen an der späteren L2-Projektierung geben soll, jedoch Abstriche und Regelwerksverletzungen in der L1LS-Projektierung zulässig sind. Annahme hinter diesem Szenario ist, dass die Nutzung mit L2 die Zielsignalisierung darstellt und es in dieser keine Einschränkungen der Kapazität geben soll. In diesem Szenario wird das L2-SiKo um Haupt- und Vorsignale erweitert, die im Rahmen des Upgrades zurückgebaut werden würden. Die Positionierung von Achszählern und Gleisfreimeldemitteln erfolgt (wo immer möglich) entsprechend ihrer Standorte im L2-Betrieb.
- Der „Migrationsweg auf Basis L1LS" geht von dem Szenario aus, dass eine Migration auf L2 erst zu einem späteren Zeitpunkt erfolgen kann und deshalb die kapazitären Einschränkungen im L1LS nicht zu tragen seien. Deshalb werden Veränderungen in der L2-Projektierung vorgenommen. Der Fokus in diesem Szenario liegt darin, möglichst minimalinvasiv die Positionierungen von Achszählern und Gleisfreimeldemitteln aus dem L1LS-Konzept zu übernehmen. Nur wo für die Fahrbarkeit Änderungen zwingend erforderlich sind, werden Anpassungen vorgenommen.

4 Annahmen Upgradability

Folgende Annahmen sind für diese Studie getroffen worden:

1. Für die Upgradability ist jeweils nur ein großer Umbau der Stellwerksanlage notwendig. Die Migration von L1LS auf L2 erfolgt weitestgehend über ein Softwareupgrade des ESTW.
2. Es ist kein Mischbetrieb von L1LS und L2 vorgesehen: Die Anlage soll zunächst bei der initialen Inbetriebnahme mit L1LS betrieben werden und anschließend zum Migrationszeitpunkt ausschließlich in L2 betrieben werden.
3. Das Upgrade findet idealerweise am Anfang des Lebenszyklus der Innenanlage statt, sodass möglichst viel Nutzungsdauer aus dem Zielbetrieb in L2 gezogen werden kann und die Komponenten, die zum Teil im Schattenbetrieb laufen, nicht vorher ersetzt werden müssen.
4. Beim Upgrade sollte es keine topologischen Anpassungen der Anlage geben. Zum Zeitpunkt der Projektierung muss der Zielzustand bekannt sein, sodass auf diesen optimiert werden kann.

ity comparison of ETCS L1LS and L2 on the Dagmersellen – Emmenbrücke line"] also published in this issue).
Signalling concepts using both systems have been drawn up to facilitate the decision on which of the two variants, L1LS or FSS, to choose. They will subsequently be reused in the upgradability study. In addition, this line also lends itself to use in the study, because its capacity requirements are considered to be representative.

3 Migration paths

Two migration paths are developed based on the existing project planning for L1LS and FSS. The aim of both migration paths is to ensure that FSS (ETCS L2) will be operated on the route once the migration is complete. Tab. 1 provides an overview of which signalling concepts are being used for both migration paths, first for operations under L1LS and then under FSS.

- The "migration path based on L2" assumes that there will need to be as few adjustments as possible to conform to any subsequent L2 project plans; however, a lowering of expectations with regard to L1LS project plans and some non-compliance with the regulations are permissible. The assumption underlying this scenario is that the use of the line with L2 represents the aimed-for signalling situation in which there should be no capacity restrictions. In this scenario, the L2 signalling concept is expanded to include main and advance signals, both of which would be dismantled in the course of the upgrade. The axle counters and track-release signalling devices would be sited (wherever possible) at their L2 operating locations.
- The "migration path based on L1LS" scenario assumes that migration to L2 can only take place at a later point in time and that the capacity restrictions in L1LS are unsustainable. Consequently, changes need to be made to the L2 project plans. The focus in this scenario is to adopt – with as little disturbance as possible – the same siting for the axle counters and track-release signalling devices as for the L1LS concept. The blocks will only be adjusted in cases where it is absolutely essential to do so for the smooth conduct of rail operations.

4 Upgradability assumptions

The following assumptions were made for this study:

1. Upgradability only requires one major conversion of each interlocking system. The migration from L1LS to L2 will largely be carried out by upgrading the electronic interlocking software.
2. Hybrid operations of L1LS and L2 are not envisaged. When first commissioned, the system should be operated at L1LS and then exclusively at L2 once migration has taken place.
3. The upgrade should ideally take place at the beginning of the interior equipment's lifecycle, so that the greatest possible service life can be gained from the operations in L2 and so that the components, some of which will be run in shadow mode, do not have to be replaced beforehand.

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für SBB AG, Afry Schweiz AG, quattron management consulting GmbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

5. Eine direkte Inbetriebnahme mit L2 ist, wenn möglich, in jedem Fall einer Migration über Upgradability vorzuziehen. Upgradability kann dann ein geeignetes Konzept sein, wenn anderweitige Einschränkungen einen Substanzerhalt in L1LS erfordern. Diese könnten sein: nicht L2-fähige Fahrzeuge auf der Strecke, eingeschränkte Verfügbarkeit von GSM-R/FRMCS am Standort oder ein zu kleiner Erneuerungsperimeter, der zu vermehrten Levelübergängen auf einer kurzen Strecke führen würde.

5 Lösungsansätze anhand bewusster Regelwerksverletzungen

Wie in anderen Ländern dient ein Regelwerk als Code Of Practice der Definition der Sicherheitsvorgaben und Projektierungsregeln in der Schweiz. Für L1LS und L2 gelten jeweils eigene Regelwerke, die bis dato nicht aufeinander abgestimmt sind, da nach Ausführungsbestimmung zur Eisenbahnverordnung in der Schweiz nur jeweils eine Betriebsart für eine Strecke vorgesehen ist.

5.1 Regelwerksverletzungen Kompromisssignalisierung L1LS (Basis L2)

Bei der auf Grundlage des L2-SiKo erstellten L1LS-Kompromiss-SiKo wurde auf den Bau von Signalstaffeln verzichtet, um die Positionierung der Signale zu vereinfachen. Bei einer Weiterverfolgung dieses Ansatzes sollte dies aufgrund der Fahrbarkeit berücksichtigt werden. Darüber hinaus bedient sich das SiKo zahlreicher Tiefhaltungen, um bestehende GFM-Abschnitte nutzen zu können. Die Tiefhaltungen beinhalten zum Teil geringe Geschwindigkeitsreduktionen von 5-10 km/h, die betrieblich zumindest fragwürdig erscheinen.
Zum Teil können Distanzen zu Einfahrsignalen und Weichen nicht regelwerkskonform eingehalten werden, was eine Verletzung des technischen Regelwerks RTE 25000 darstellt.

5.2 Regelwerksverletzungen Kompromisssignalisierung L2 (Basis L1LS)

Bei der Erstellung des L2-Kompromiss-SiKo (auf Grundlage des L1LS-SiKo) werden fünf Projektierungsregeln zum Teil mehrfach verletzt. Die Verletzungen betreffen nicht eingehaltene Abstände von Achszählpunkten, Durchrutschwege, elektrische Trennung sowie Signalisierung vor Bahnübergängen. Keine der Regelwerksverletzungen wird als schwerwiegend eingestuft. Für ähnliche Fälle bei L2-Strecken konnten in der Vergangenheit Ausnahmebewilligungen oder Anpassungen umgesetzt werden.
Die Anpassung der Außenanlagentopologie für die Kompromisskonzepte erfolgt jeweils mit einer Reihe an Vorbehalten bezüglich der Anpassung der jeweiligen Regelwerke und setzt voraus, dass in der Zukunft ein harmonisiertes Regelwerk zum Bau von upgradefähigen Strecken besteht.

5.3 Auswirkungen auf die Kapazität

Neben der Frage der technischen Umsetzbarkeit stellt sich auch die Frage, welche Auswirkungen die Ausgestaltung der Anlage im Sinne der Upgradability auf die Leistungsfähigkeit und die resultierende Betriebsqualität hat. Relevant ist dafür insbesondere der Zustand, in dem die Kompromisslösung im Betrieb genutzt wird. Für das Szenario Kompromisssignalisierung L1LS (Basis L2) ist dementsprechend der Zeitraum von Interesse, in dem die Kompromisssignalisierung unter ETCS L1LS genutzt wird. Zur Bestimmung von Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit existieren verschiedenste eisenbahnbetriebswissenschaftliche Methoden, welche jeweils unterschiedliche Kennwerte liefern. Für die Studie der

4. The upgrade should not require any topological adjustments to the system. The ultimate target status must be known during any project planning so that the plans can be optimised to meet this status.
5. If possible, the direct commissioning of L2 directly will always be preferable to migration via upgradability. Upgradability can, however, be an appropriate concept if other constraints require asset maintenance to be undertaken in L1LS. These constraints might involve non-L2-capable vehicles on the line, the limited availability of GSM-R/FRMCS at the site or migration being implemented on an overly short length of line that would potentially increase the number of transitions between the levels within a short section.

5 Possible solutions based on deliberate non-compliance with regulations

In Switzerland, as in other countries, a set of regulations serves as the code of practice to define the safety requirements and the project planning rules. Separate sets of regulations, not as yet coordinated with each other, apply to L1LS and L2 since only one mode of operation is provided for each line in compliance with the Implementing Provisions for the Railway Ordinance in Switzerland.

5.1 Non-compliance with regulations: L1LS compromise signalling (L2 basis)

The L1LS "compromise signalling" concept created on the basis of the L2 signalling concept, dispensed with setting up groups of signals in order to simplify their siting. This approach ought to be considered still further so that railway operations can be conducted smoothly. In addition, the signalling concept makes use of numerous speed restrictions in order to be able to exploit existing track-release signalling sections. Some of the speed restrictions involve small speed reductions of 5-10 km/h, which seem at least questionable from an operational point of view.
In some cases, the distances before entry signals and points that are stipulated in the regulations cannot be adhered to; this constitutes a contravention of RTE 25000.

5.2 Non-compliance with regulations: L2 compromise signalling (L1LS basis)

Five project planning rules were contravened when drawing up the L2 compromise signalling concept (based on the L1LS signalling concept), in some cases several times. The contraventions relate to non-adherence to the distances from axle counting points, plus overlaps and electrical separation, as well as signalling in advance of level crossings. None of these regulation contraventions is classified as serious. In the past, it was possible to issue exemptions or make adjustments in similar cases on L2 routes.
The modification of the topology of the external area to suit the compromise concepts will be carried out in each case with a number of reservations regarding adjustments to the relevant sets of regulations; it presupposes that there will be a harmonised set of regulations relating to the construction of upgradeable lines in the future.

5.3 Implications for capacity

In addition to the question of technical feasibility, there is also the question of the implications that the system design will have on performance and the resultant operating quality. The status in

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für SBB AG, Afry Schweiz AG, quattron management consulting GmbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

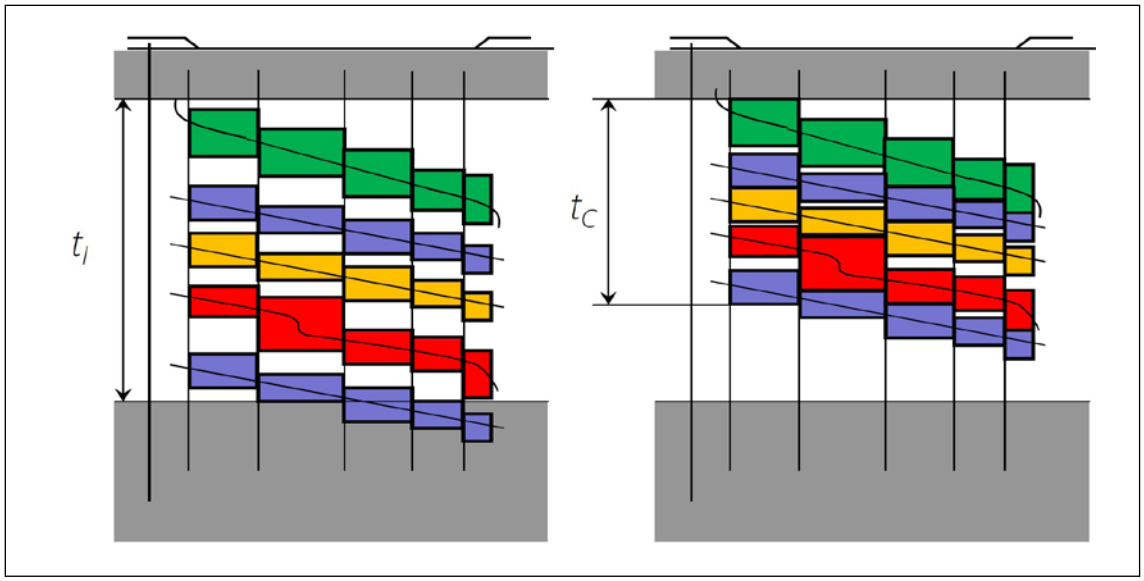


Bild 2: Beispielhafte Verkettung nach UIC 406 (eigene Darstellung)
Fig. 2: An example of concatenation according to UIC 406 (the authors' depiction)

Upgradability wird die Methode des verketteten Belegungsgrads (UIC-Code 406) genutzt, welche es ermöglicht, mit genau einem Kennwert (je Fahrtrichtung) bereits eine erste Aussage über die kapazitätsrelevanten Effekte zu treffen. Validiert werden die Ergebnisse durch Betriebssimulationen (siehe dazu auch Artikel „Kapazitäts- und Stabilitätsvergleich von ETCS L1LS und L2 auf der Strecke Dagmersellen – Emmenbrücke" in gleicher Ausgabe).
Bei der Verkettungs- bzw. Komprimierungsmethode nach UIC-Code 406 [3] wird ein gegebener Fahrplan auf einem Streckenabschnitt komprimiert und der so entstehende Belegungsgrad ermittelt. Die Komprimierung bedeutet, dass die vorhandenen Pufferzeiten zwischen Zugtrassen eliminiert werden, ohne dass Fahr- und Mindesthaltezeiten angepasst werden. Bild 2 illustriert ein einfaches Beispiel der Verkettung: links ist der unverkettete Fahrplan im Untersuchungszeitraum (t_l) zu sehen, während auf der rechten Seite der Fahrplan nach Verkettung dargestellt ist. Die gesamte Belegungszeit (t_C) lässt sich aus dem verketteten Fahrplan bestimmen. Der verkettete Belegungsgrad (ρ) wird nachfolgender Formel ermittelt:

$$\textit{Verketteter Belegungsgrad}\ (\rho)\ [\%] = \frac{\textit{Verkettete Belegungszeit}\ (t_C)}{\textit{Untersuchungszeitraum}\ (t_l)} * 100$$

Der UIC-Code 406 schlägt die in Tab. 2 gegebenen Werte für den verketteten Belegungsgrad vor. Hierbei wird unterschieden zwischen der Streckenkategorie und der Verkehrszeit.
Für die beschriebenen Szenarien wird der verkettete Belegungsgrad für beide Fahrtrichtungen berechnet. Im betrachteten Fahrplan sind sowohl Personen- als auch Güterzüge berücksichtigt, Verstärkerzüge in den Spitzenstunden sind hingegen nicht enthalten. Besonders im Szenario Kompromisssignalisierung L1LS (Basis L2) wird, wo immer notwendig, die sogenannte Tiefhaltung berücksichtigt, da hier oftmals die vorhandenen Vorsignal-

Streckenkategorie	Spitzenstunde	Tageszeitraum
Personenverkehr	85 %	70 %
Hochgeschwindigkeitsverkehr	75 %	30 %
Mischverkehr	75 %	60 %

Tab. 2: Vorgeschlagener verketteter Belegungsgrad nach UIC 406

which the compromise solution is used operationally is particularly relevant. With regard to L1LS (L2 basis) compromise signalling, the critical period is thus the time during which the compromise signalling is used under ETCS L1LS. The science of railway operations has produced a wide range of scientific methods for determining the impact on performance, each method delivering a range of characteristic values. The compression method (UIC Code 406) is used to study upgradability. This enables an initial conclusion about the capacity-relevant implications to be reached on the basis of just one characteristic value (according to the direction of travel). The results are validated by carrying out simulated operations (cf. the article "Capacity and stability comparison of ETCS L1LS and L2 on the Dagmersellen – Emmenbrücke line" published in the same edition).
The concatenation or compression method in accordance with UIC Code 406 [3] compresses the timetable for a particular route section and determines the occupancy rate. The compression means that the existing buffer times between train paths are eliminated without any adjustments being made to the running times and minimum stopping times. Fig. 2 illustrates a simple example of concatenation. The non-concatenated timetable for the period under investigation is shown on the left (t_l), while the post-concatenation timetable is shown on the right. The total occupancy time (t_C) can be determined from the concatenated timetable. The concatenated occupancy rate (ρ) is calculated using the formula shown below:

$$\textit{Concatenated occupancy rate}\ (\rho)\ [\%] = \frac{\textit{Concatenated occupancy time}\ (t_C)}{\textit{Period investigated}\ (t_l)} * 100$$

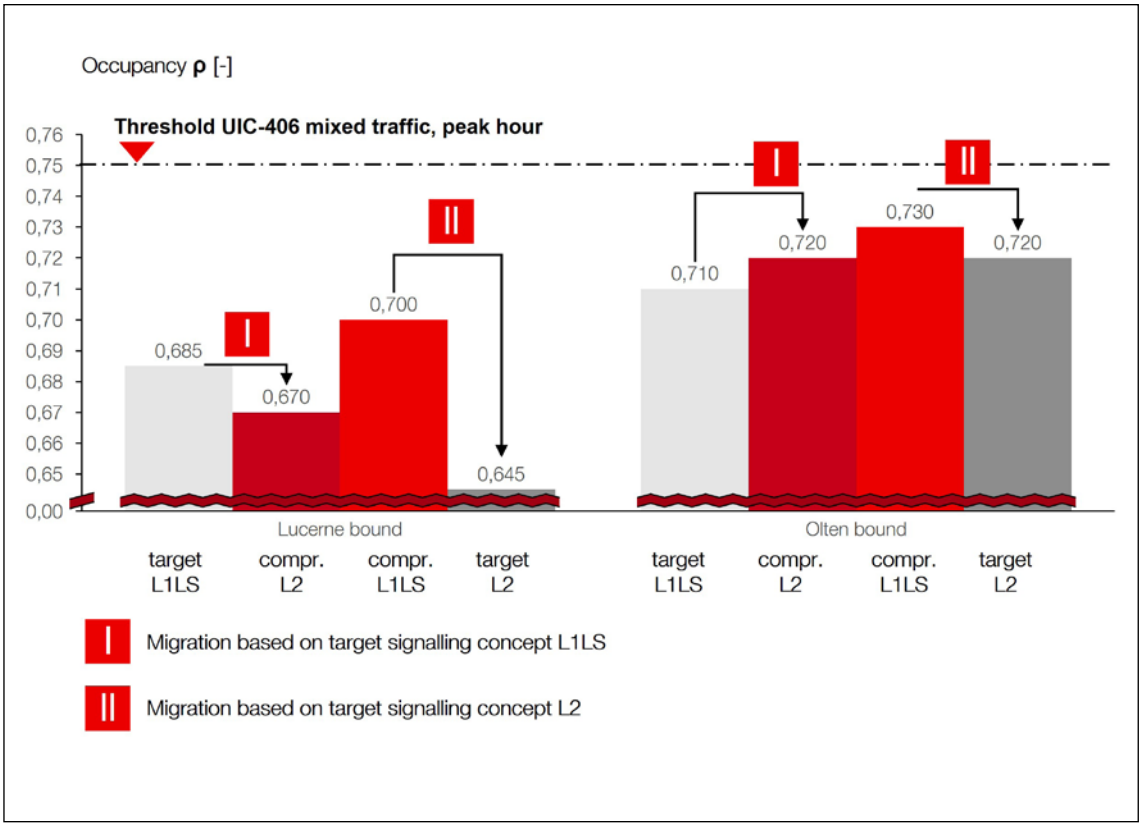
UIC Code 406 suggests the values shown in Tab. 2 for the concatenated occupancy rate. A distinction is made between the route category and the time at which the service is run.

Type of line	Peak hour	Daily period
Dedicated suburban passenger traffic	85 %	70 %
Dedicated high-speed line	75 %	60 %
Mixed traffic lines	75 %	60 %

Tab. 2: The proposed concatenated occupancy rate according to UIC 406

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für SBB AG, Afry Schweiz AG, quattron management consulting GmbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

Bild 3: Verketteter Belegungsgrad Dagmersellen – Emmenbrücke
Fig. 3: The concatenated occupancy rate, Dagmersellen – Emmenbrücke



distanzen nicht zur vorgesehenen Streckengeschwindigkeit passen. Die Ergebnisse der Verkettung sind in Bild 3 je Richtung dargestellt.

Die Ergebnisse zeigen, dass der Belegungsgrad in allen betrachteten Fällen zwischen den vorgegebenen Werten für den Tageszeitraum und der Spitzenstunde für Mischverkehrsstrecken liegt. Ersichtlich ist allerdings auch, dass der verkettete Belegungsgrad im Szenario Kompromisssignalisierung L1LS (Basis L2) in beide Fahrtrichtungen schlechter abschneidet als im Szenario Kompromisssignalisierung L2 (Basis L1LS). Auch wenn die Unterschiede nur gering sind, ist zu befürchten, dass im täglichen Eisenbahnbetrieb das Szenario Kompromisssignalisierung L1LS (Basis L2) deutlich schlechter abschneiden würde. Um die Auswirkungen auf den Betrieb abschätzen zu können, ist es notwendig, Betriebssimulationen durchzuführen.

Die Betriebssimulationen werden analog zu den Betriebssimulationen, welche im Artikel „Kapazitäts- und Stabilitätsvergleich von ETCS L1LS und L2 auf der Strecke Dagmersellen – Emmenbrücke" in der gleichen Ausgabe vorgestellt werden, durchgeführt. Während die Tiefhaltung unter ETCS L1LS bei der Verkettung nur dort berücksichtigt werden musste, wo die Sperrzeiten zweier Züge direkt aufeinander folgen, muss das Simulationsmodell für ETCS L1LS so angepasst werden, dass die notwendigen Tiefhaltungen in der Betriebssimulation dynamisch berücksichtigt werden.

Die Ergebnisse der Betriebssimulationen lassen sich detailliert auswerten, sodass für einzelne Züge Aussagen getroffen werden können, wo Verspätungen entstehen. Um die beiden Kompromissvarianten auf einer höheren Flugebene miteinander vergleichen zu können, liegt der Fokus der Auswertung auf der Betrachtung aller Personenzüge, die zwischen Dagmersellen und Emmenbrücke verkehren.

In Bild 4 ist eine Visualisierung der Verspätungsauswertung dargestellt. Betrachtet wird dabei die Summe der Verspätungsminuten pro

The concatenated occupancy rate is calculated for both directions of travel in the scenarios described above. The timetable under consideration here includes both passenger and freight trains, but does not include any additional services provided during peak hours. The L1LS (L2 basis) compromise signalling scenario takes particular account (wherever necessary) of speed restrictions, because the presignal distances in this scenario often do not match the envisaged line speed. The results of the concatenation are shown in fig. 3 for each direction.

The results show that the occupancy rate on mixed traffic routes in all the considered cases lies between the specified values for the daytime period and the values for peak hours. However, it is also evident that the concatenated occupancy rate in the L1LS (L2 basis) compromise signalling scenario is worse in both directions of travel than in the L2 (L1LS basis) compromise signalling scenario. Even if the differences are only small, it is to be feared that the L1LS (L2 basis) compromise signalling scenario would perform significantly worse during day-to-day railway operations. Simulations need to be run in order to assess the implications for operations.

Simulated operations will be run in the same way as those presented in the article "Capacity and stability comparison of ETCS L1LS and L2 on the Dagmersellen – Emmenbrücke line" published in the same edition. While concatenation only has to take any speed restrictions into account for ETCS L1LS where the blocking times of two trains directly follow each other, the simulation model for ETCS L1LS has to be adapted so that any essential speed restrictions are taken into account dynamically when running the simulations.

The results of the simulation runs can be evaluated in detail, allowing forecasts to be made of where individual trains might encounter delays, for example. The analysis focussed on all the passenger trains running between Dagmersellen and Emmenbrücke in order to be able to compare the two compromise variants at a more sophisticated level.

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für SBB AG, Afry Schweiz AG, quattron management consulting GmbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

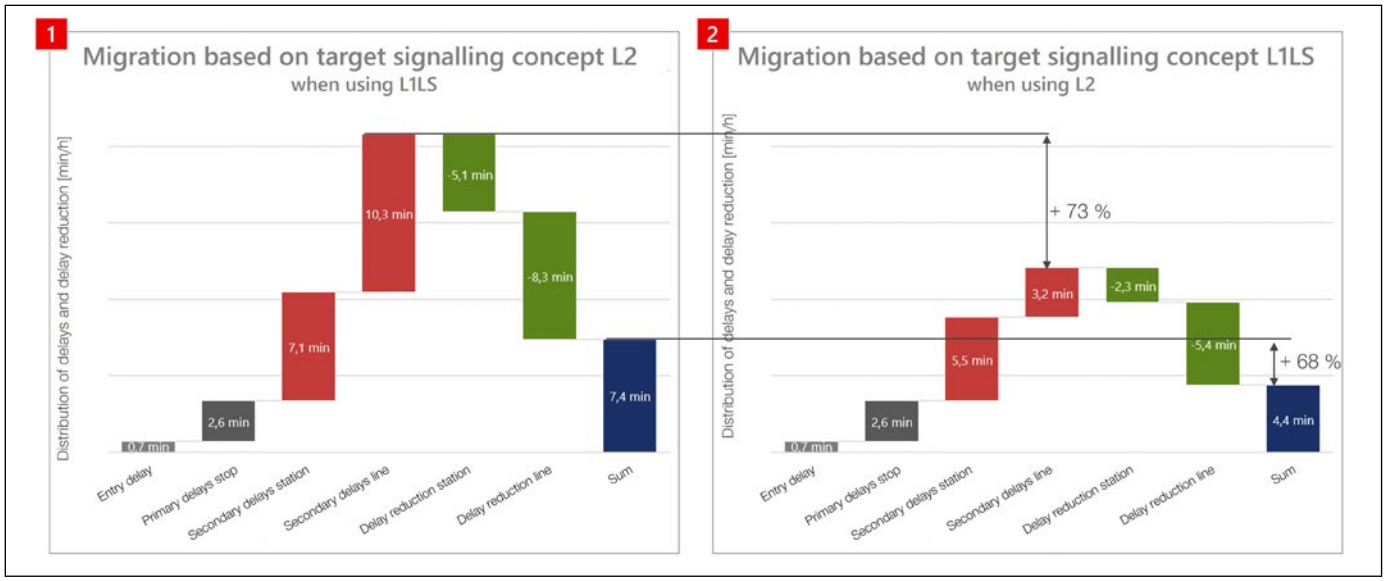


Bild 4: Verspätungsauswertung der Betriebssimulation
Fig. 4: The Delay analysis from the simulated operations

Simulationsstunde für die Nutzung der Kompromisssignalisierung L1LS (Basis L2 – Diagramm 1) und der Nutzung der Kompromisssignalisierung L2 (Basis L1LS – Diagramm 2). In den Wasserfalldiagrammen der Verspätungsauswertung wird unterschieden zwischen Primärverspätungen, mit denen Störungen außerhalb des Betrachtungsraums und Haltezeitüberschreitungen abgebildet werden, den entstehenden Sekundärverspätungen aufgrund von Interaktionen der Züge auf der Strecke oder in Halten, sowie dem Verspätungsabbau unter Nutzung von Fahr- und Haltezeitreserven. Die Summe aller Verspätungen gibt am Ende an, wie viel Verspätung vorhanden ist, wenn die Züge ihr Ziel erreichen, oder den Betrachtungsraum verlassen.

Bei der Analyse der Verspätungen ist sehr schnell ersichtlich, dass bei Nutzung der L1LS-Kompromisssignalisierung auf Basis von L2 (Diagramm 1) auf der Strecke mehr als drei Mal so viele Verspätungen pro Simulationsstunde entstehen als bei Nutzung der L2-Kompromisssignalisierung auf Basis von L1LS (Diagramm 2). Daraus resultiert, dass das maximale Verspätungsniveau um 73 % höher liegt und die Summe aller Verspätungen 68 % höher sind, wenn L1LS auf Basis der L2-Signalisierung genutzt wird. Da aus weiteren Auswertungen bekannt ist, dass die resultierende Betriebsqualität bei Nutzung der L2-Kompromisssignalisierung auf Basis des L1LS-Ziel-SiKo (Diagramm 2) auf einem ähnlichen Niveau liegt wie die simulierte Betriebsqualität der Ziel-SiKo für L1LS und L2, scheint der Migrationspfad einer L2-Kompromisssignalisierung auf Basis des L1LS-Ziel-SiKo eine unter betrieblichen Gesichtspunkten mögliche Upgradability-Lösung darzustellen. Vorteil dieses Migrationspfads ist es, dass die heutige Kapazität unter Nutzung von L1LS bestehen bleibt und diese durch die Flexibilität von ETCS L2 auch nach dem Upgrade nahezu erhalten bleibt. Damit haben die Betriebssimulationen die Erkenntnisse aus der Untersuchung des verketteten Belegungsgrads nach UIC-Code 406 bestätigt, und es kann davon abgeraten werden, eine Migration unter Nutzung einer L1LS-Kompromisssignalisierung durchzuführen.

6 Strecke Lausanne – Genf als möglicher erster Anwendungsfall

Die Entscheidung für die Ausstattung der Strecke Dagmersellen – Emmenbrücke ist im Jahr 2022 zugunsten von ETCS L2 mit

Fig. 4 illustrates how the delays are analysed. The analysis considers the total delay minutes per simulation hour when using L1LS (L2 basis) compromise signalling (diagram 1) and L2 (L1LS basis) compromise signalling (diagram 2). The waterfall diagrams distinguish between primary delays, which indicate disruptions occurring outside the investigated area as well as stopping time overruns, and secondary delays caused by interactions between trains either on the route or at station stops; the diagrams also show how delays can be reduced with the use of running and stopping-time reserves. At the end, the "sum" of all the delays indicates the total delay to trains either on reaching their destination or on leaving the investigated area. When analysing the delays, it very quickly becomes apparent that using L1LS compromise signalling based on L2 (diagram 1) on the route results in more than three times as many delays per simulation hour than using L2 compromise signalling based on L1LS (diagram 2). Consequently, the maximum level of delay is 73 % higher and the sum of all delays is 68 % greater when L1LS based on L2 signalling is used. Since other analyses have shown that op-

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für SBB AG, Afry Schweiz AG, quattron management consulting GmbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

Inbetriebnahmetermin 2029 gefällt worden. Als möglicher erster Anwendungsfall für die Upgradability kommt jedoch die Strecke Lausanne – Genf in Betracht.
Die prognostizierten Kapazitätsbedarfe auf dem Abschnitt Versoix – St. Prex sind mit optischer Signalisierung nicht zu bewältigen. Gleichzeitig bietet auch das aktuell eingesetzte GSM-R Mobilfunknetz nicht die notwendigen Kapazitäten, um alle Fahrzeuge im FSS-Betrieb mit dem Radio Block Center zu verbinden. Aus diesem Grund ist die FSS-Migration der Sicherungsanlagen abhängig vom Future Railway Mobil Communication System (FRMCS)-Roll-out. Um mit FRMCS verkehren zu können, wird jedoch erwartet, dass die fahrzeugseitige Ausstattung mit ETCS Baseline 4 erforderlich ist. Aufgrund dieser Abhängigkeiten scheint eine kurzfristige Migration auf ETCS L2 auf diesem Perimeter aktuell unwahrscheinlich.
Die eingesetzten Stellwerke auf dem Streckenabschnitt sind bis auf Gilly – Bursinel alle Relaisstellwerke vom Typ Domino 67 und stammen überwiegend aus den 1970er Jahren. Sie erreichen planmäßig Anfang der 2030er Jahre ihr Lebenszyklusende und müssten ersetzt werden. Aufgrund der oben skizzierten Abhängigkeiten zum FRMCS-Roll-out und der Fahrzeugausstattung könnte sich bei der Ablösung der Domino-67-Stellwerke ein reales Einsatzszenario für die Upgradability ergeben.
Aus diesem Grund wird das Studiendesign der Strecke Dagmersellen – Emmenbrücke mit einer überarbeiteten Fragestellung für diesen Perimeter wiederholt. Die Ergebnisse sollen genutzt werden, um die Methodik zu verifizieren und ein mögliches Migrationsszenario für die Stecke Lausanne – Genf zu entwickeln. ■

erating quality when using L2 compromise signalling based on the L1LS target signalling concept (diagram 2) is similar to the simulated operating quality of the target signalling concepts for L1LS and L2, it appears from an operational point of view that adopting the "L2 compromise signalling migration path based on the L1LS target signalling concept" represents a potentially upgradable solution. The advantage of this migration path is that the current capacity remains unchanged if L1LS is used and, due to the flexibility of ETCS L2, current capacity also remains almost unchanged after the upgrade. The simulated operations have thus confirmed the findings of the investigation carried out into the concatenated occupancy level in accordance with UIC Code 406. Consequently, the advice is against migration using L1LS compromise signalling.

6 The Lausanne – Geneva line as a possible first use case

In 2022, it was decided to equip the Dagmersellen – Emmenbrücke line with ETCS L2. 2029 was scheduled as the year for initial commissioning. However, the Lausanne – Geneva route was considered as a possible first use case for upgradability.
The forecast capacity requirements on the Versoix – St. Prex section cannot be managed using visual signalling. At the same time, the GSM-R mobile network currently in use does not provide the necessary capacity in order to connect all the vehicles operating in the FSS mode with the Radio Block Centre. This is why migrating the signalling installations to FSS is dependent on the FRMCS rollout. However, in order for trains to be able to operate using FRMCS, it is expected that the vehicles will need to be equipped with ETCS Baseline 4. Because of these interdependencies, any migration to ETCS L2 on this section of line in the short term seems unlikely at present.
With the exception of Gilly – Bursinel, the interlockings used on this section of line are all Domino 67 relay interlockings, mostly dating from the 1970s. They are scheduled to reach the end of their lifecycle at the start of the 2030s and would need to be replaced. Because migration is dependent – as outlined above –on both the rollout of Future Railway Mobil Communication System (FRMCS) and the fitting of the vehicles with the appropriate equipment, a genuine upgradability scenario may arise when the Domino 67 interlockings are replaced.
For this reason, the design study for the Dagmersellen – Emmenbrücke route will be repeated with revised scrutiny of this section of line. The results will be used to verify the methodology and to develop a possible migration scenario for the Lausanne – Geneva line. ■

AUTOREN | AUTHORS

Melvin Zinngrebe, M. Sc.
Project Manager Simis-C Life Extension Measures
SBB AG
Anschrift / *Address*: Trüsselstraße 2, CH-3065 Bern
E-Mail: melvin.zinngrebe@sbb.ch

David Kryscio, M. Sc.
Project Manager
Afry Schweiz AG
Anschrift / *Address*: Steinenberg 19, CH-4051 Basel
E-Mail: david.kryscio@gmx.net

Eike Hennig, M. Sc
Senior Engineer
quattron management consulting GmbH
Anschrift / *Address*: Römerstraße 50, D-52064 Aachen
E-Mail: eike.hennig@quattron.com

LITERATUR | LITERATURE
[1] Bundesamt für Verkehr: ERTMS-Strategie, 2021
[2] Zinngrebe, M.; Scherer, F.: „Lebensverlängernde Maßnahmen für die erste Generation elektronischer Stellwerek", SIGNAL+DRAHT 10/2022
[3] UIC, 2013, „Code 406 – Capacity", 2nd edition, Paris, France

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für SBB AG, Afry Schweiz AG, quattron management consulting GmbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH