

Stellwerksevolution in Luxemburg durch Integration von ETCS

Die CFL hat in rund 20 Jahren drei Migrationsschritte in Bezug auf ETCS durchlaufen. In diesem Rahmen hat sich die Zugsicherung in Luxemburg, auf Basis der Betriebsart Level 1 Full Supervision, technisch und betrieblich grundlegend gewandelt. Der zunächst letzte Schritt dieser Entwicklung ist die vollständige Integration von ETCS ins Stellwerk, gepaart mit einer konsequenten Reduzierung und Vereinfachung der streckenseitigen Lichtsignale. Das erste ETCS-integrierte Stellwerk ging in Luxemburg im August 2022 erfolgreich in Betrieb.



1. Kontext Luxemburg

Das Eisenbahnstreckennetz im Großherzogtum Luxemburg ist sternförmig um die Hauptstadt angeordnet. Es verkehren rund tausend Züge pro Werktag, davon überwiegend Regional- und S-Bahn-Verkehr, jedoch auch internationale Städteverbindungen unter anderem nach Paris, Brüssel und Düsseldorf.

Zusätzlich zum Personenverkehr spielt auch der Güterverkehr in Luxemburg eine wichtige Rolle. Im Süden des Landes befindet sich der überregionale Zugsbildungsbahnhof Bettemburg mit 28 Richtungsgleisen sowie ein Terminal für Containerumschlag. Bettemburg liegt dabei auf dem europäischen Frachtkorridor „Nordsee-Mittelmeer“ von den niederländischen Häfen über Metz nach Südfrankreich.

Die Größe des Landes, die hohe Anzahl an Grenzgängern sowie internationale Wirtschaftsbeziehungen führen dazu, dass die Hälfte der Züge die Grenzen überfahren.

Das Streckennetz in Luxemburg besteht aus 680 Kilometern Gleise, 1145 Weichen und 546 Hauptsignalen. Dabei werden derzeit über zwei Drittel der Feldkomponenten über elektronische Stellwerke angesteuert. Das Streckennetz ist vollständig mit ETCS ausgerüstet, Level 1 Betriebsart „Full Supervision“. Es ist ausschließlich Rollmaterial mit zertifizierten ETCS-Fahrzeuggeräten zugelassen.

1.1. ETCS Migration

In den 1990er-Jahren betrieb die CFL das Fahrerunterstützungssystem MEMORII+,

welches, auf Grundlage der französischen Crocodile-Technik, vom Lokführer das Abfahren einer Bremskurve bei ‚Halt erwarten‘ am Vorsignal verlangte. MEMORII+ war jedoch nicht als Zugsicherungssystem entworfen und konnte den Anforderungen in Bezug auf die steigende Verkehrsdichte in Luxemburg nicht mehr gerecht werden.

So entschied die CFL 1999 ETCS Level 1 „Full Supervision“ (FS) auf dem gesamten luxemburgischen Eisenbahnnetz einzuführen. Diese Lösung sollte nicht nur die Eisenbahnsicherheit erhöhen, sondern gleichzeitig die Interoperabilität mit den Nachbarnetzen wahren. Die Migration zu ETCS Level 1 basierte dabei auf einer rückwirkungsfreien ETCS Nachrüstung der bestehenden Stellwerke. Die Ausrüstung begann 2002 und war 2014 abgeschlossen. Das luxemburgische Eisenbahnnetz verfügte so ab 2014 über eine Doppelausrüstung aus ETCS Level 1 (FS) und dem Altsystem MEMORII+.

Im Jahr 2008 wurde der Hauptbahnhof Luxemburg vom Eisenbahn-Cert (EBC) auf Grundlage der Richtlinie 1996/48 und der STI 2002/731 zertifiziert. 2015 wurde die Strecke Luxemburg – Kleinbettingen vom EBC nach der Richtlinie 2008/57 und STI 2010/679 zertifiziert. Die bestehende Außensignalgebung mittels Haupt-/Vorsignalen blieb dabei betrieblich maßgebend.

Nach einer Pilotphase mit zehn Fahrzeugen rüsteten die CFL ab 2008 ihre gesamte Fahrzeugflotte mit ETCS nach.

Nach der TSI 2016/919/EU Zertifizierung der gesamten Infrastruktur und der Zulassung der nachgerüsteten Fahrzeuge erteilte die nationale Sicherheitsbehörde



Dipl.-Ing. André Feltz

Leiter der Dienststelle Engineering der Infrastrukturdirektion der CFL

Andre.FELTZ@cfl.lu



Dr. Lionel Arend

Leiter des Neuausrüstungsprojektes der Linie 1

Lionel.AREND@cfl.lu

2018 die Genehmigung zum Betrieb der ETCS-Führerstandssignalisierung. Anschließend wurde das Altsystem abgeschaltet und infrastrukturseitig ausgebaut.

Mit diesem Schritt trat die ETCS-Führerstandssignalisierung des Driver-Machine Interface (DMI) als einziges geltendes Signalsystem für Züge in Kraft. Die Außensignale spielen ab diesem Zeitpunkt für Zugfahrten nur noch eine untergeordnete Rolle.

2. Vereinfachte Signalgebung

In der ETCS Betriebsart Full Supervision (also Vollüberwachung, kurz FS) erhält der Lokführer alle sicherheitsrelevanten Informationen wie die Länge der Fahrterlaubnis, Geschwindigkeitsprofil und Bremsankündigungen über das DMI. Neben der Führerstandssignalisierung überwacht

das Fahrzeuggerät in der Betriebsart Full Supervision kontinuierlich die Zugbewegungen, unabhängig davon, ob die Informationsübertragung beständig über Funkverbindung (GSM-R, wie in Level 2) oder über ortsfeste Balisen (Level 1) erfolgt.

Ähnlich wie im Betriebskonzept ETCS Level 2 ohne Signale der DB können also auch in ETCS Level 1 Full Supervision Züge überwiegend ohne streckenseitige Signale gefahren werden. Vor diesem Hintergrund haben die CFL im Rahmen eines Pilotprojektes ein Stellwerk mit einer stark reduzierten Außensignalisierung spezifiziert. Voraussetzung hierfür war, dass das gesamte Rollmaterial eine Zulassung für das fahrzeugeitige ETCS besitzt.

Die sogenannte „vereinfachte Außensignalisierung“ sieht nur noch ein einziges technisches Signal vor, das alle notwendigen Befehle abdeckt, die von einem ETCS L1 FS-System aufgrund der ortsfesten Informationsübertragung nicht geleistet werden können. Dieses Einheitssignal mit zwei Lichtpunkten erlaubt die Überfahrt der unmittelbar davor platzierten Balisengruppe, zum Erhalt der übertragenen Informationen. Bild 1 zeigt dieses Lichtsignal an einer Bahnsteigmarkise in Ettelbruck hängend.

Folgende Betriebsfälle außerhalb der Vollüberwachung werden über das Einheitssignal abgewickelt:

- *Start of Mission* eines Zuges aus der Betriebsart *Staff Responsible*;
- Weiterfahrt nach Halt in Entlassungsgeschwindigkeit;
- Rangieren (Betriebsart *Shunting*);
- Eingeschränkter Betrieb bei isolierter ETCS-Fahrzeugausrüstung (Betriebsart IS).

Das vereinfachte Einheitssignal ersetzt also gleichzeitig die alten Rangiersignale und Hauptsignale. Vorsignale, Signalwiederholer und Geschwindigkeitstafeln entfallen in dem neuen streckenseitigen Signalsystem gänzlich.

3. Integrierte Stellwerke mit Fahrweg-sicherung und ETCS

Die Fahrweg-sicherung und Signalgebung sind im Stellwerk seit Anfangszeiten der Eisenbahn eng miteinander verbunden. Es liegt schlussendlich nahe, auch bei moderner Sicherungstechnik im Neubau die Fahrweg-sicherung und ETCS-Signalgebung als Ganzes anzusehen und zu konzipieren, anstatt ETCS als Pfropfen am Stellwerk zu betrachten.



1: Haltzeigendes Einheitslichtsignal mit ETCS Stop Marker, hängend

Quelle: Scheidt & Bachmann GmbH

Die von CFL entwickelten betrieblichen Anforderungen an die vereinfachte Außensignalisierung lassen sich nur in einem System umsetzen, in welchem die Fahrweg-sicherung und die ETCS-Komponente eng verzahnt arbeiten. Die CFL haben also 2017 ein integriertes ETCS-Stellwerk ausgeschrieben.

Im Vergleich zur klassischen ETCS-Nachrüstung sind die Vorteile eines Stellwerkes, das Fahrweg-sicherung und ETCS vereint, enorm:

- Fahrstraßenscharfe Geschwindigkeitsprofile;
- Zentrale Programmierung aller angeschlossenen, schaltbaren Balisen;
- ETCS-Zustandsmeldungen integriert in die Bedienoberfläche des Stellwerkes;
- Langsamfahrstellen im Stellwerk durch einfache Bedienhandlungen einschalten;
- Vereinfachte ETCS-Projektierung durch eindeutige Fahrstraßenzuordnungen;
- ETCS-Nothalt-Befehl im Stellwerk.

Das integrierte ETCS-Stellwerk hat somit einen Funktionsumfang ähnlich wie ETCS Level 2, ohne dabei auf Datenfunksysteme oder elektronische Schlüsselverwaltungen zurückgreifen zu müssen. Auf- und Umbaukosten des integrierten ETCS Level 1 Stellwerkes sind durch die reduzierte Anzahl an Signalen und die zentrale Programmiermöglichkeit vergleichsweise gering.

Die kabelgebundene Informationsübertragung über Balisen ist sehr zuverlässig und

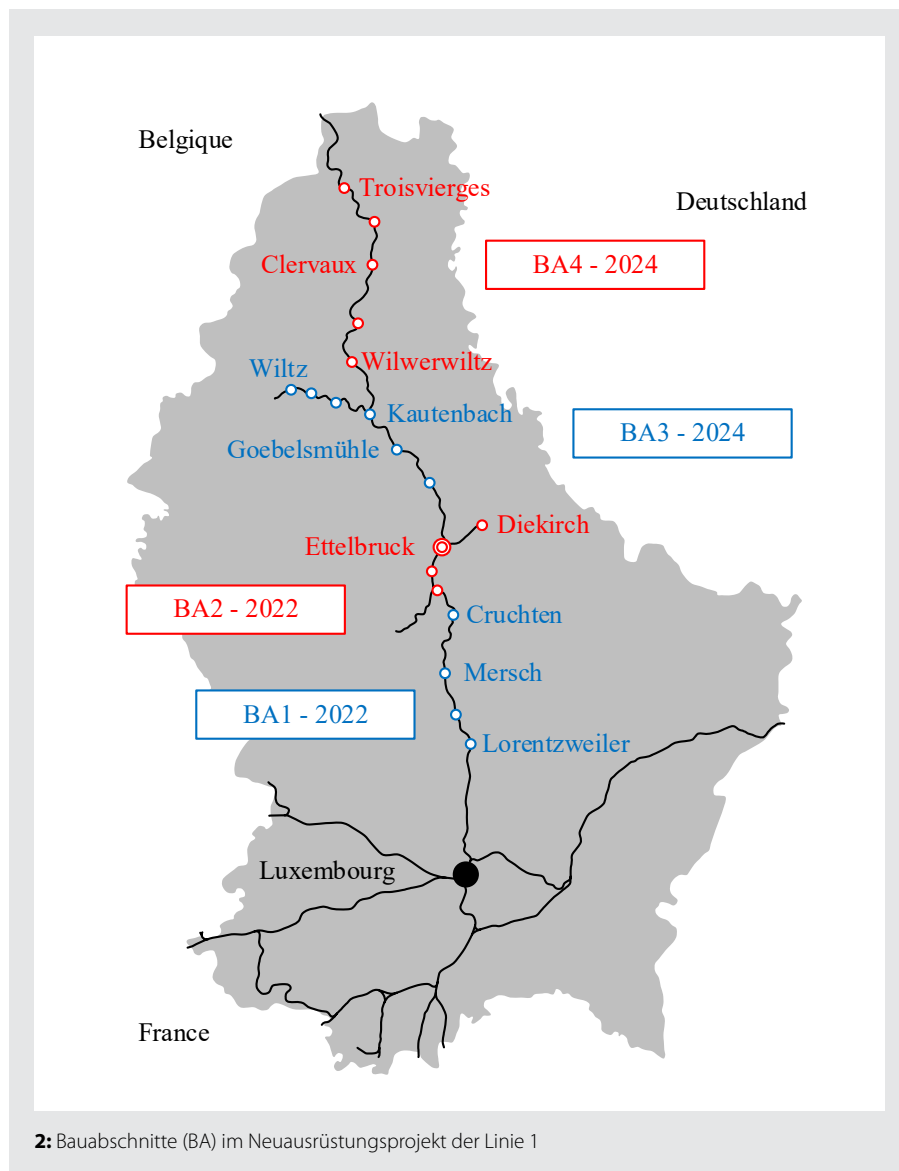
führt zu einer geringeren Systemkomplexität als bei ETCS Level 2. Zusätzlich wird eine kritische Abhängigkeit von Mobilfunktechnologie und -infrastruktur vermieden.

4. Das Projekt

Im Rahmen des Neubauprojektes der Stellwerke auf der Linie 1 des luxemburgischen Eisenbahnnetzes kommt das beschriebene System erstmals zum Einsatz. Im Rahmen der europäischen Ausschreibung hat die Scheidt & Bachmann GmbH aus Mönchengladbach im Jahr 2018 den Zuschlag zur Systementwicklung und Ausrüstung dieser Strecke erhalten.

In den ersten beiden Projektjahren wurden in gemeinsamen Arbeitsgruppen die Spezifikationen zum System verfeinert und die technische Realisierung abgestimmt. Während Scheidt & Bachmann die Entwicklung vorantrieb, haben die CFL, gemeinsam mit einer externen Beraterin die Integration der vereinfachten Signalisierung und des integrierten Stellwerkes entsprechend der Gemeinsamen Sicherheitsmethode analysiert und die entsprechende Nachweisführung erbracht.

Die Tiefbau- und Ausrüstungsarbeiten wurden 2020 wegen der Einschränkungen aus der Corona-Pandemie teilweise stark zurückgeworfen. Die Projektarbeit hat sich daraufhin ebenfalls gewandelt und elektronische Medien kamen in der Projektkoordination und technischen Abstimmung vermehrt zum Einsatz.



Die ersten beiden Bauabschnitte vom Bahnhof Lorentzweiler über Ettelbruck nach Diekirch und Burden gingen im August 2022 in Betrieb. Derzeit ist geplant, den Ausbau der restlichen Strecke bis 2024 abzuschließen. Bild 2 zeigt eine Übersicht der einzelnen Bauabschnitte und die Geographie der Strecke, die sich von Luxemburg bis Ettelbruck zweigleisig durch das weite Alzettetal zieht, um anschließend teilweise eingleisig durch die Ardennen nach Belgien zu führen.

5. Änderungen und Erfahrungen im Betrieb

5.1. Im Fahrbetrieb

Seit 2018 wird im Fahrbetrieb die DMI-Führerstandssignalisierung genutzt und

die Außensignale, obwohl noch immer vorhanden, sind durch das betriebliche Regelwerk in ihrer Rolle stark reduziert. Dies ermöglichte dem Fahrpersonal, sich an die Führerstandssignalisierung zu gewöhnen.

Das neue Einheitslichtsignal der vereinfachten Außensignalisierung wurde aus dem bestehenden Lichtsperrsignal, das im restriktiven Begriff ein absolutes Überfahrverbot befiehlt, abgeleitet.

Aus diesen beiden Gründen bedeutete die Änderung für die Lokführer keine große Anpassung, sondern ergab sich als naheliegende Fortsetzung der vorangegangenen Migrationsschritte. Die vereinfachte Außensignalisierung wurde vom Fahrbetrieb sehr wohlwollend aufgenommen. Für einige Kollegen war vor allem die vollständige Abwesenheit von Vorsignalen ein Einschnitt in bestehende Fahrgewohnheiten.

Ein Thema, welches sich in der Entwurfsphase gezeigt hat und auch während der Schulungen viel besprochen wurde, ist die Kohärenz der Befehle zwischen dem Lichtsignal und dem DMI. Durch den hohen Integrationsgrad von Stellwerk und ETCS sind hier zusätzliche Abhängigkeiten eingefügt worden. Insbesondere würde bei einer Störung an der Balisensteuerung auch das dazugehörige Lichtsignal nicht auf Fahrt gehen.

Trotzdem kann es vorkommen, dass ein unerwarteter Haltfall eines Lichtsignals vom Lokführer wahrgenommen wird, das DMI diesen jedoch erst nach Überfahrt der folgenden Balisengruppe übernehmen kann. Diese Diskrepanz ist in einem ETCS Level 1 System jedoch nicht vermeidbar. Die Sicherheit bleibt in einem solchen Fall durch die bestehende Fahrstraßensicherung gewahrt.

5.2. In der Betriebssteuerung

Die klassische Bedienoberfläche des Stellwerkes wurde um ETCS-Elemente erweitert. Der Fahrdienstleiter wird über den Zustand jeder schaltbaren Balisengruppe (Fahrt/Halt/Störung), analog zu den Signalen selbst, über die Bedienoberfläche des Stellwerkes informiert.

Durch das integrierte ETCS-Stellwerk sind die Fahrdienstleiter auch erstmal an der Inbetriebnahme von Langsamfahrstellen beteiligt. Eine Langsamfahrstelle lässt sich einfach und schnell über Merkschilder in einen Gleisabschnitt einlegen. Sie gilt anschließend für alle Fahrstraßen, die den Abschnitt im Fahrweg beanspruchen. Die Verantwortung für die fristgerechte Aktivierung einer Langsamfahrstelle bleibt jedoch beim Beantragenden, der mittels eines Eintrags im Fernmeldebuch vom Fahrdienstleiter eine entsprechende Bestätigung erhält.

Die Hilfsumgehung von gestörten Elementen bei der Fahrstraßeneinstellung ist eine Funktion, die vom Stellwerk ZSB2000 bereitgestellt wurde und den Fahrdienstleiter bei der manuellen Fahrwegsicherung unterstützt. Diese Funktion wurde von CFL im Rahmen des Projektes übernommen und wird von den Fahrdienstleitern bereitwillig angenommen.

Mit der Einführung des neuen Systems kommt auf der Linie 1 auch erstmals eine moderne Zuglenkung zum Einsatz. Durch den Wegfall der Vorsignale ist für die Berechnung der Anstoßpunkte und Verzögerungen die Position der Infill-Balisen



3: Schaltbare Balisengruppe am fahrzeigenden Lichtsperrsignal

Quelle: Scheidt & Bachmann GmbH

Eine großzügigere Dimensionierung dieser Brücken sowie der Einbau zusätzlicher Querverbindungen in und zwischen den Gleisen haben es erlaubt, die Störungshäufigkeit zu reduzieren ohne dabei jedoch die Ursache zu identifizieren oder gänzlich zu beheben.

Scheidt & Bachmann war als Hersteller der Gleisfreimeldung an der Ursachenfindung beteiligt und hat Messungen im System und in den Schienen durchgeführt und ausgemessen. Ein Abgleich dieser Messprotokolle mit den Infrastrukturplänen sowie mehrere Vor-Ort-Besichtigungen haben schlussendlich erlaubt, die Ursache zu identifizieren.

Bei einer Fahrzeugserie älterer Generation hat der Stromabnehmer bei Gleiswechseln regelmäßig den Kontakt zur Oberleitung verloren. Ein solcher Kontaktverlust macht sich vor Ort durch einen Lichtbogen bemerkbar. Der beobachtete Kontaktverlust war jedoch dermaßen, dass der Lichtbogen gelöscht und der Stromfluss vollständig unterbrochen wurde. Nach Wiederherstellung der Verbindung kam es jeweils zu einem Transformer-Einschaltstrom (engl. in-rush), der in Amplitude und Dauer wie ein elektromagnetischer Impuls gewirkt hat.

Der Achszähler AZSB 300 ist nicht in allen Fällen in der Lage, diesen Impuls wegzufiltern, was zu den Fehlzählungen und Störungen geführt hat. Die Qualität der Verbindung Oberleitung – Stromabnehmer

konnte kurzfristig durch eine Geschwindigkeitsreduzierung (über die neue Funktion der stellwerkseitigen Langsamfahrstellen) in den betroffenen Bereichen verbessert werden. In der Zwischenzeit wurde der Stromabnehmer-Anpressdruck bei den Fahrzeugen der anfälligen Serie erhöht.

Scheidt & Bachmann arbeitet derzeit an einer Verbesserung der Filtermechanismen in ihrem Achszählsystem, um die Festigkeit gegenüber der beschriebenen Störung zu erhöhen.

6. Ausblick

Die getroffenen Maßnahmen haben Wirkung gezeigt und seitdem erreichen die CFL mit der neuen Anlage sehr hohe Verfügbarkeits- und Pünktlichkeitswerte.

Derzeit werden die finanziellen Mittel beantragt, um die Ausrüstung der Linie 1 mit der neuen Technik abzuschließen. Zusätzliche Blockstellen sollen zukünftig eine höhere Zugdichte ermöglichen. Die Nutzung der Betriebsart Full Supervision sowie der Verzicht auf Vorsignale erlauben dabei Blockabstände von unter 500 Metern auch bei hoher Streckengeschwindigkeit.

Beim Neubau von Stellwerken wird in Luxemburg nur noch auf Grundlage der vereinfachten Signalgebung ausgeschrieben. Insbesondere ist geplant, den Bahnknotenpunkt Bettemburg mit diesem Konzept auszurüsten.

6.1. Weiterentwicklung

Der mögliche Funktionsumfang des integrierten ETCS-Stellwerks ist mit dem aktuellen System noch nicht erschöpft. Insbesondere arbeiten die CFL derzeit an einer Erweiterung der Spezifikationen zur Nutzung der Betriebsart On Sight im Zusammenspiel mit Hilfsumgehungen.

Die Betriebsart On Sight könnte so Befehlsfahrten zusätzlich sichern und damit die Sicherheit und Reaktionsfähigkeit im eingeschränkten Betrieb signifikant verbessern. ●

Literatur

- [1] Arend, Pott, Hoffmann, Schanck: ETCS Level 2 ohne GSM-R, Signal + Draht, H. 10/2018.
- [2] Nießen, Pott, Wink, Morast : ETCS Ausrüstung auf der CFL-Nordstrecke in Luxemburg, ETR - Eisenbahntechnische Rundschau, H. 9/2022.
- [3] Feltz, Goldschmit: ETCS – auch eine Frage der betrieblichen Kompatibilität, Signal + Draht, H. 9/2005.
- [4] Feltz, Hillenbrand, Wietor: ETCS Level 1 Projektierung in Luxemburg, Signal + Draht, H. 11/2004.
- [5] Werdel, Kolb, Feltz, Kast: Ausrüstung des gesamten Luxemburger Eisenbahnnetzes mit ETCS Level 1, Signal + Draht, H. 9/2003.

Summary

Interlocking revolution in Luxembourg through integration of ETCS

In the past 20 years CFL have undertaken three ETCS-related migrations steps, starting from the introduction of ETCS Level 1 Full Supervision as a train protection system in the early 2000's. After the certification for full STI CCS compliance of the infrastructure and the rolling stock, ETCS was evolved towards the unique allowed signalling system for trains. In August 2022, the first fully integrated ETCS-interlocking system was put into service in Luxembourg with strongly reduced lateral signalling. The article retraces the evolution of ETCS in Luxembourg and describes the concept, as well as challenges and experiences of the new integrated system.