

Prototypische ETCS-Projektierung für Level 1 Full Supervision

Wink, Christopher³, Krüger, Bernd¹, Laumen, Peter¹, Morast, Albrecht³,
Nießen, Nils³, Pott, Laurent²

¹Scheidt & Bachmann Signalling Systems, Mönchengladbach

²Société Nationale des Chemins de Fer Luxembourgeois, Luxemburg

³Verkehrswissenschaftliches Institut der RWTH Aachen (VIA)

Zusammenfassung

Das Streckennetz der Société Nationale des Chemins de Fer Luxembourgeois ist bereits vollständig mit dem Zugbeeinflussungssystem European Train Control System Level 1 Full Supervision ausgestattet. In einem nächsten Entwicklungsschritt wird die klassische Außensignalisierung durch eine vereinfachte Außensignalisierung ersetzt, welche nur noch anzeigt, ob ein Fahrzeug fahren darf oder halten muss. Über die neu zentral angesteuerten Balisen werden dabei fahrstraßengenaue Informationen an das Fahrzeug übermittelt und dem Triebfahrzeugführer auf dem Driver Machine Interface dargestellt. Die zu übermittelnden Informationen müssen nach den Spezifikationen, Infrastrukturdaten sowie betrieblichen und technischen Festlegungen projiziert werden. Dabei entsteht zwar ein höherer Projektierungsaufwand, dem jedoch ein direkter betrieblicher Nutzen gegenübersteht. Dieser entsteht beispielsweise durch die exakte Abbildung des zulässigen Geschwindigkeitsprofils. In der gegenwärtigen Betriebsdurchführung müssen die Geschwindigkeiten im Normalfall hingegen bereits ab einem entsprechenden Hauptsignal eingehalten werden.

Durch die Softwareunterstützung in eigens entwickelten prototypischen Tools in Excel und Matlab lassen sich schon frühzeitig die Auswirkungen unterschiedlicher Datenformate und Projektierungsoptionen erörtern, um u. a. sehr gute Abschätzungen über die zu erwartenden Datenmengen und benötigten Balisen je Standort abzugeben.

Keywords: ETCS, Zugbeeinflussungssystem, Stellwerk, Projektierung, Betriebsdurchführung, Eurobalise

1 Einleitung

Ein durchgehender Eisenbahnverkehr in Europa wird durch mehrere Faktoren erschwert, beispielsweise durch eine Vielzahl nationaler Systeme der Bahnstromversorgung und verschiedene, meist nationale, Zugbeeinflussungssysteme. Das European Train Control System (ETCS) ist ein Bestandteil zur Förderung des europäischen Eisenbahnverkehrs. Zur Harmonisierung des Betriebs werden neben dem Zugbeeinflussungssystem auch für die Komponenten Leittechnik, Stellwerkstechnik sowie Sprach- und Datenkommunikation einheitliche Standards gebildet, die unter dem Begriff European Rail Traffic Management System (ERTMS) zusammengefasst werden.

In Luxemburg sind die Strecken der Société Nationale des Chemins de Fer Luxembourgeois (CFL) mit ETCS Level 1 ausgerüstet. Zugfahrten finden in der Betriebsart Full Supervision (FS) statt, also mit vollständiger Führerstandssignalisierung. Dabei wird im nächsten Entwicklungsschritt die Außensignalisierung vereinfacht, sodass die Lichtsignale nur anzeigen, ob eine Fahrerlaubnis vorliegt oder nicht. Dadurch wird das Signalbild auf ein Minimum reduziert. Der Datentransfer von der Infrastruktur auf die Fahrzeuge, beispielsweise die Information über die Fahrerlaubnis, erfolgt über im Gleis verlegte Balisen. Die jeweiligen Daten werden anschließend beim Überqueren der Balisen an das Fahrzeug übermittelt, dort verarbeitet und die für den Triebfahrzeugführer relevanten Informationen dann auf dem Driver Machine Interface (DMI) dargestellt.

In diesem Beitrag werden die Projektierungsgrundsätze bei einem Betrieb mit ETCS Level 1 FS der System Requirements Specifications (SRS) Version 2.3.0d, also Baseline 2, bei der CFL erläutert. Hierfür wird zunächst im Kapitel 2 die Betriebsdurchführung mit ETCS erklärt, wobei insbesondere die Anwendung bei der CFL beschrieben wird. Anschließend werden im Kapitel 3 die Projektierungsgrundsätze für die Betriebsdurchführung mit ETCS Level 1 FS erklärt. Dabei werden u. a. das Vorgehen und die Besonderheiten bei der Projektierung beschrieben. Im abschließenden 4. Kapitel werden die Ergebnisse an einem Anwendungsbeispiel vorgestellt.

2 Betriebsdurchführung mit ETCS

ETCS kann in unterschiedlichen Ausrüstungsstufen, den sogenannten Levels, angewendet werden, die zu verschiedenen technischen und betrieblichen Verhältnissen zwischen Strecke und Zug führen. Darauf wird zunächst im Abschnitt 2.1 eingegangen, bevor die ETCS-Anwendung bei der CFL im Abschnitt 2.2 und die angewendete Datenübertragung mittels Balisen im Abschnitt 2.3 erklärt werden.

2.1 Unterschiedliche Ausrüstungsstufen

Die ETCS-Level (Level 0, Level NTC, Level 1, Level 2 und Level 3) unterscheiden sich insbesondere in der streckenseitigen Ausrüstung sowie der Informationsübertragung auf das Fahrzeug. Nachfolgend wird das bei der CFL angewendete ETCS Level 1 FS näher beschrieben. Level 1 kann auch als Limited Supervision (LS) angewendet werden, bei dem keine kontinuierliche Überwachung des Fahrverhaltens vorhanden ist. Für eine ausführliche Beschreibung der Level wird auf die Quellen [1, 2, 3, 4] verwiesen.

ETCS Level 1 FS ermöglicht eine diskontinuierliche Datenübertragung und eine kontinuierliche Überwachung des Fahrverhaltens. Die Informationen werden mittels Balisen übertragen und können durch Infill-Elemente, z. B. Infill-Balisen oder Euroloops (hier nicht im Einsatz), ergänzt werden. Eine infrastruktureitige Gleisfreimeldung ist weiterhin erforderlich, allerdings kann aufgrund der vollständigen Führerstandssignalisierung auf dem DMI prinzipiell auf ortsfeste Signale verzichtet werden. Im Normalfall werden weiterhin ortsfeste Signale als Rückfallebene und ggf. für nicht ETCS-ausgerüstete Fahrzeuge verwendet.

Das ETCS-Fahrzeuggerät befindet sich abhängig vom betrieblichen und technischen Zustand stets in einem der definierten Betriebsarten. Diese unterscheiden sich insbesondere im Überwachungsniveau und dem Grad der Verantwortung eines Triebfahrzeugführers. In nationalen Werten (National Values) sind länderspezifische Vorgaben, wie beispielsweise die Rangiergeschwindigkeit, festgelegt. Wie bereits erwähnt, kann der Zugbetrieb im Level 1 in FS und LS durchgeführt werden. Weitere wichtige Betriebsarten sind beispielsweise Shunting (SH) und Staff Responsible (SR). Während SH der Betriebsart für Rangierbewegungen entspricht, wird SR bei Zugfahrten ohne Movement Authority (MA) angewendet, z. B. nach dem Aufrüsten des Fahrzeugs oder einer Fahrt auf Befehl.

2.2 Anwendung in Luxemburg

Auf dem Streckennetz der CFL stellt ETCS Level 1 FS mit vereinfachter Außensignalisierung auf Basis der Baseline 2 SRS Version 2.3.0d das Zielbild der zukünftigen Betriebsdurchführung dar. Dabei sollen gesamtheitliche ETCS-integrierte Stellwerke zum Einsatz kommen. Diese steuern die im Gleis installierten Balisengruppen über Kabel direkt an, sodass die Signalbegriffe nicht mehr mittels Lampenstromabgriff der Lineside Electronic Unit (LEU) in ETCS-Daten übersetzt werden müssen. Das bestehende Signalsystem mit klassischen Haupt- und Vorsignalen wird durch eine

vereinfachte Außensignalisierung abgelöst, die sich an der bestehenden Signalisierung für Rangierfahrten orientiert [5]. Die notwendigen Informationen für Zug- und Rangierfahrten werden an den Signalen beim Überqueren der Balisengruppen übertragen. Zusätzlich kommen zur Steigerung der Leistungsfähigkeit Infill-Balisengruppen zum Einsatz. Die zugbezogenen Informationen werden dann auf dem DMI angezeigt; es besteht also eine vollständige Führerraumsignalisierung.

Vereinfachte Außensignalisierung

Abgesehen von Signal- und Zusatztafeln besteht die vereinfachte Außensignalisierung aus vier Lichtsignalen:

- Freigabesignal (SFA): Start- und Zielsignal für Zug- und Rangierfahrten.
- Sperrsignal (SFVb): Start- und Zielsignal für Rangierfahrten.
- Rangierhaltsignal (SFHM): Kennzeichnung des Endes des Rangierbereichs.
- Abfahrtsmelder (SFID): Dienen ausschließlich dem Zugführer (werden nachfolgend nicht weiter betrachtet).

Freigabe-, Sperr- und Rangierhaltssignale besitzen alle denselben Signalschirm mit jeweils einem weißen und einem blauen Lichtpunkt, orientieren sich an den bestehenden Sperrsignalen und können je drei Begriffe anzeigen: Halt- und Fahrtstellung sowie den Baustellenmodus. In der Haltstellung (Signalbeschreibung: blauer Lichtpunkt) ist eine Vorbeifahrt am Signal verboten. Liegt dagegen eine Fahrerlaubnis vor, wechselt das Signal in die Fahrtstellung (Signalbeschreibung: weißer Lichtpunkt), sodass eine Vorbeifahrt erlaubt ist. Der dritte Signalbegriff, der so genannte Baustellenmodus (Signalbeschreibung: weißer und blauer Lichtpunkt), wird für Fahrten innerhalb von Arbeitsgleisen verwendet. Dabei haben die Fahrzeuge das entsprechende Signal in der Betriebsart SH zu passieren.

Durchführung von Zug- und Rangierfahrten

Aufgrund der vereinfachten Außensignalisierung ist an einem Signal nicht erkennbar, ob eine Freigabe entweder für Zug- oder Rangierfahrten gilt. Zugfahrten finden in der Betriebsart FS statt, wobei sich ein Zug nach der Start-of-Mission Prozedur zunächst in SR bewegt und nach vollständiger Vorbeifahrt an einer Freigabesignal-Balisengruppe in FS wechselt. Das Rangieren wird in SH durchgeführt. Fährt eine in der falschen Betriebsart startende Fahrzeugbewegung über die nächste Balisengruppe, folgt dort unmittelbar eine Intervention, was im Regelfall zu einer Zwangsbremmung führt.

2.3 Datenübertragung mittels Balisen bei der CFL

Balisen sind Bestandteil einer Balisengruppe, welche aus mindestens einer und maximal acht Balisen bestehen kann. Normalerweise besteht eine Balisengruppe im vorgestellten Anwendungsfall aus zwei Transparentbalisen, die fahrstraßenabhängige und somit änderbare Informationen übertragen können. Die Informationen, die von einer Balisengruppe übertragen werden, heißen Messages. Diese setzen sich zusammen aus den Telegrammen der einzelnen Balisen einer Balisengruppe. Dabei ist die Reihenfolge der Telegramme durch die eindeutige Position innerhalb der Balisengruppe festgelegt. Die erforderlichen Packets eines Telegramms sind von zahlreichen Faktoren abhängig, beispielsweise, ob das zugehörige Signal einen Halt- oder Fahrtbegriff anzeigt oder auch welche Fahrstraße eingestellt ist. Zusätzlich können sich die Informationen eines Packets an einem Balisenstandort aufgrund der fahrstraßengenauen Projektierung unterscheiden. Als kleinste Informationseinheit dienen in der ETCS-Sprache die Variablen. Sie reichen von einfachen booleschen 1-Bit-Werten bis hin zu 64-Bit-Wörtern.

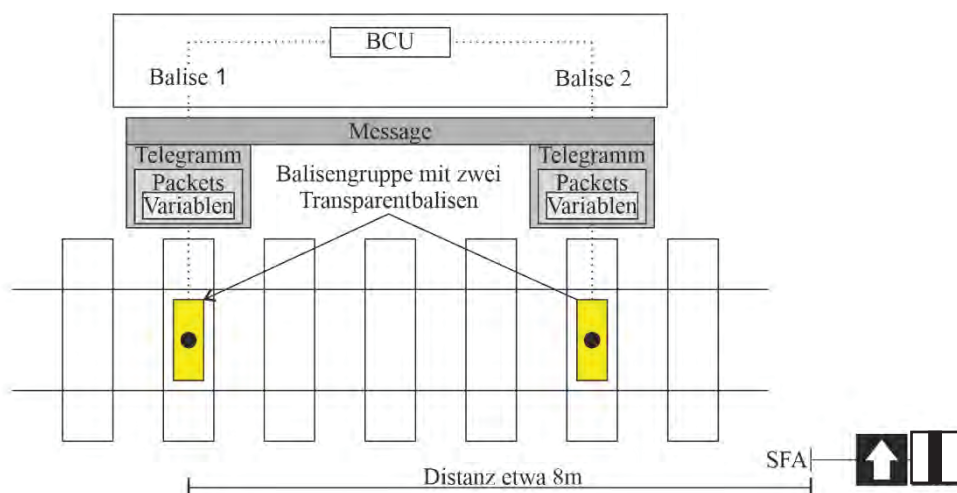


Abbildung 1: Datenübertragung an Balisen vor einem Freigabesignal.

Die Zusammenhänge sind in Abbildung 1 an einem SFA dargestellt. Im Normalfall befindet sich eine Balisengruppe, bestehend aus zwei Transparentbalisen, an einem Freigabesignal. Über ein per CAN-Bus direkt an das Stellwerk (ZSB 2000) angeschlossenes Balisensteuergerät (Balise Control Unit – BCU) werden die projizierten Messages an die einzelnen BCU übertragen [6]. Anhand des vom Stellwerk gesendeten sog. Selektors überträgt die BCU die zugehörigen Telegramme an die angeschlossenen Balisen. Ein Selektor besteht aus bis zu vier Wertepaaren, die jeweils Informationen über die Freigabe und ggf. vorhandene Restriktionen (Geschwindigkeitseinschränkungen) einer Fahrstraße enthalten. Durch diese

Ansteuerung direkt aus dem Stellwerk ist zu jeder Zeit bekannt, welche Fahrstraße(n) eingestellt ist/sind, sodass eine fahrstraßenscharfe Projektierung möglich ist. Es kann daher auf das aufwendige Repositioning verzichtet werden, da durch die Fahrstraßeninformation alle folgenden Balisengruppen bekannt und verlinkt sind sowie das exakte Geschwindigkeitsprofil abgebildet werden kann. Ohne diese Information muss bisher z. B. bei Level 1 LS-Anwendungen das restriktivste Profil für das aktuelle Signalbild übertragen werden.

Die benötigten Packets, welche in den SRS [7] definiert sind, können entweder fahrstraßengenau oder universell projektiert werden. Fahrstraßengenaue Packets enthalten exakte Informationen über die eingestellte Fahrstraße, beispielsweise das exakte Geschwindigkeits- oder Gradientenprofil. Dies führt einerseits zu einem erhöhten Projektierungsaufwand, da die fahrstraßenbezogenen Informationen detailliert projektiert werden müssen. Andererseits entstehen dadurch betriebliche Vorteile, da insbesondere die Geschwindigkeit entsprechend des exakten Fahrwegs angepasst werden kann.

Universell einsetzbare Packets, wie beispielsweise das Abschlusspaket 255, sind dagegen nur einmal zu projektieren, weil die Informationen auch an anderen Balisengruppen genauso übermittelt werden können.

In der nachfolgenden Tabelle 1 sind die erforderlichen Packets bei der CFL dargestellt. Es ist zu beachten, dass – je nach Situation und Standort der Balisengruppe – nicht alle Packets erforderlich sind.

Tabelle 1: Übersicht der verwendeten ETCS-Packets bei der CFL.

Header	Packet 3 (National Values)	Packet 5 (Linking)	Packet 12 (Movement Authority)
Packet 21 (Gradient Profile)	Packet 27 (International Static Speed Profile)	Packet 39 (Track Condition Change of traction power)	Packet 41 (Level Transition Order)
Packet 65 (Temporary Speed Restriction)	Packet 68 (Track Condition)	Packet 72 (Packet for sending plain text messages)	Packet 132 (Danger for Shunting information)
Packet 136 (Infill location reference)	Packet 137 (Stop if in Staff Responsible)	Packet 254 (Default balise information)	Packet 255 (End of information)

Damit eine Zugfahrt in ETCS Level 1 FS durchgeführt werden kann, müssen über eine Balisengruppe mindestens die Packets 12 (Movement Authority), 21 (Gradient Profile) und 27 (International Static Speed Profile) übermittelt werden [7]. Diese Informationen werden anschließend auf dem Fahrzeug verarbeitet, bevor auf dem DMI die relevanten Informationen angezeigt werden, beispielsweise die aktuell zulässige Geschwindigkeit.

Der grundsätzliche Aufbau der Packets ist in [7] definiert. Nachfolgend ist in Tabelle 2 beispielhaft der Aufbau des Packets 27 dargestellt. Aus der Tabelle ist u. a. zu entnehmen, dass alle Variablen eine feste Länge haben und dass das Packet mit jedem zu übermittelnden Geschwindigkeitswechsel um 28 Bits länger wird. Durch die Variable *D_STATIC* lassen sich Geschwindigkeitswechsel exakt berücksichtigen, sodass eine Geschwindigkeitsbeschränkung z. B. erst an der Weichenspitze durchgeführt sein muss. Bei der Projektierung ist zu beachten, dass die zur Verfügung stehende Kapazität einer Balise an Nutzbits zur Übermittlung eines Telegramms nicht überschritten werden darf (vgl. Abschnitt 3.2). Im Normalfall ist die Kapazität vollkommen ausreichend, sodass beispielsweise alle Geschwindigkeitswechsel übermittelt werden können.

Tabelle 2: Allgemeiner Aufbau Packet 27 (International Static Speed Profile).

Variable	Bits	Beschreibung
NID_PACKET	8	Eindeutige ID des Packets
Q_DIR	2	Gibt an, für welche Überquerungsrichtung der Balise das Packet gültig ist
L_PACKET	13	Anzahl der Bits im Packet
Q_SCALE	2	Längenangaben im Packet (10 cm-, 1 m-, 10 m-Skala)
D_STATIC	15	Distanz zum nächsten Profilpunkt
V_STATIC	7	Geschwindigkeit ab dem nächsten Profilpunkt
Q_FRONT	1	Gibt an, ob die Geschwindigkeit ab der Zugspitze oder dem Zugschluss gilt
N_ITER	5	Iterationsvariable für zugklassenspezifische Geschwindigkeiten
NC_DIFF	4	Bezeichner für Geschwindigkeit in Abhängigkeit der Bremsstellung
V_DIFF	7	Zugklassenspezifische Geschwindigkeit
N_ITER	5	Iterationsvariable für die Profilpunkte
für jeden weiteren Geschwindigkeitswechsel sind folgende Variablen erforderlich:		
D_STATIC	15	Distanz zum nächsten Profilpunkt
V_STATIC	7	Geschwindigkeit ab dem nächsten Profilpunkt
Q_FRONT	1	Gibt an, ob die Geschwindigkeit ab der Zugspitze oder dem Zugschluss gilt
N_ITER	5	Iterationsvariable für zugklassenspezifische Geschwindigkeiten

Balisen kommen ausschließlich als Transparentbalisen zum Einsatz, um fahrstraßengenaue Informationen zu übermitteln. Die einzige Ausnahme bilden Ortungsbalisen, welche zum Einsatz kommen, wenn die betrieblich notwendigen Balisengruppen mehr als 2 km entfernt liegen. Diese bestehen aus lediglich einer Festdatenbalise und übermitteln ausschließlich einen Header sowie das Packet 255. Beim Überqueren dieser ebenfalls verlinkten Balisengruppen wird die zurückgelegte Distanz kalibriert, wodurch der Odometriefehler zurückgesetzt wird.

3 Projektierungsgrundsätze für die Betriebsdurchführung mit ETCS Level 1 Full Supervision

In diesem Kapitel werden die Projektierungsgrundsätze für die Betriebsdurchführung mit ETCS Level 1 FS erläutert. Zunächst wird im Abschnitt 3.1 die Durchführung der Projektierung beschrieben, bevor im Abschnitt 3.2 die wesentlichen Herausforderungen bei der Projektierung vorgestellt werden. Im Anschluss daran werden im Abschnitt 3.3 die Softwareunterstützung bei der Projektierung und im Abschnitt 3.4 die Prüfung der ETCS-Projektierung erklärt.

3.1 Durchführung der Projektierung

Eine fahrstraßengenaue Projektierung ist nur möglich, wenn entsprechende Infrastrukturdaten vorhanden sind. Auf Grundlage dieser lassen sich unter Beachtung der Spezifikationen die Packets projektieren. Abbildung 2 stellt einen beispielhaften Streckenabschnitt mit den wesentlichen Informationen zur Projektierung dar. Darüber hinaus können auch Besonderheiten, z. B. ein Wechsel des Stromsystems, vorliegen.

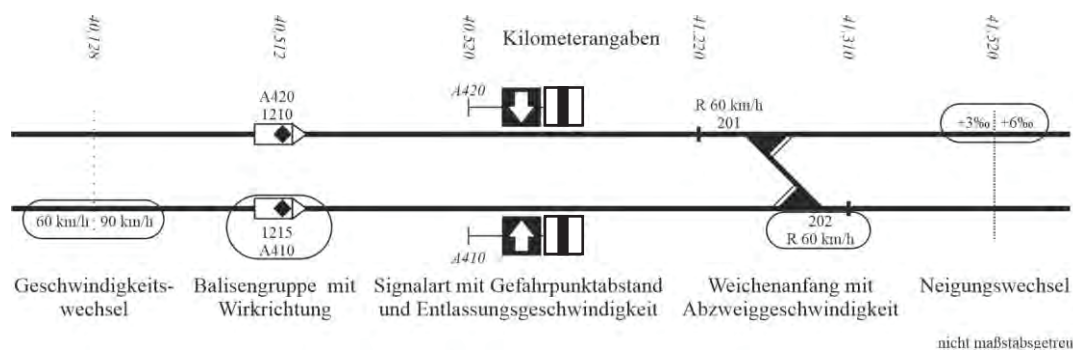


Abbildung 2: Infrastrukturdaten zur Projektierung.

Auf Basis der Infrastrukturdaten lassen sich die Packets projektieren. Grundsätzlich sind für die Durchführung von Zugfahrten Informationen über die Movement Authority (Packet 12), das Gradientenprofil (Packet 21) sowie das Geschwindigkeitsprofil (Packet 27) ausreichend. Weitere Packets sind situationsabhängig zu ergänzen. Abhängig von den Informationen variiert die Länge einzelner Packets. Sind in einer Fahrstraße beispielsweise mehrere Geschwindigkeitswechsel zu projektieren, erhöht sich die Länge des Packets mit jeder Geschwindigkeitsänderung um 28 Bits (vgl. Tabelle 2).

Ein weiteres wichtiges Packet ist das Packet 5 (Linking). Damit werden die nachfolgenden Balisengruppen bis zum Ende der Fahrstraße dem Fahrzeug übermittelt.

Da in der vorgestellten Anwendung jederzeit der exakte Fahrweg bekannt ist, werden grundsätzlich alle Balisengruppen verlinkt. Wird eine Balisengruppe nicht innerhalb des Konfidenzintervalls um die projektierte Position detektiert, erfolgt automatisch eine Sicherheitsreaktion auf dem Fahrzeug, z. B. eine Service Brake oder eine Emergency Brake.

Bei der Projektierung ist zusätzlich der Bezugspunkt einer Balisengruppe zu beachten. Informationen werden nicht nur an SFA, SFVb und SFHM, sondern auch an Infill-Balisengruppen übertragen. Infill-Balisengruppen übertragen bereits bei Annäherung eines Fahrzeugs an das entsprechende Signal zur Steigerung der Leistungsfähigkeit die dazugehörigen Informationen. Dabei folgen Infill-Informationen bei der Übermittlung dem Packet 136 (Infill location reference).

3.2 Herausforderungen bei der Projektierung

Wesentliche Herausforderungen stellen die Balisen einer Balisengruppe selbst dar. Zum einen ist die maximale Kapazität und zum anderen die Zuordnung der Packets auf die Balisen zu berücksichtigen. Bei den eingesetzten Balisen können Telegramme mit einer Länge von 1023 Bits übertragen werden, von denen 830 als Nutzbits zur Verfügung stehen. Die übrigen Bits dienen der Verschlüsselung sowie als Kontrollbits. Da jedes Telegramm zwingend einen Balisen-Header (50 Bits) sowie ein Abschlusspacket 255 (8 Bits) enthält, beträgt die tatsächliche Nutzbitanzahl 772 Bits pro Balise, also 1544 Bits pro Standardbalisengruppe. Erschwerend kommt hinzu, dass Packets stets im Gesamten an einer Balise übertragen werden müssen, sodass die Kapazitäten der Einzelbalisen häufig nicht vollständig ausgenutzt werden können, selbst wenn von der Standardzuordnung der Packets (siehe unten) abgewichen wird. Reicht die zur Verfügung stehende Kapazität nicht aus, muss entweder eine dritte Balise ergänzt oder soweit möglich und zulässig eine Datenreduktion vorgenommen werden.

Eine einheitliche Anordnung der Packets auf die Balisen ist anzustreben, um die Projektierung zu vereinfachen, aber auch, um auf einfache Weise im Fehlerfall konsistente Messages zu erhalten (die Kombination aus einem regulären und einem Default-Telegramm soll stets eine konsistente, restriktive Message ergeben). Zusätzlich muss gewährleistet sein, dass bei Überfahrt einer in diesem Moment umschaltenden Balisengruppe eine konsistente Message mit restriktiveren Freigabeinformationen übertragen wird. Dies kann auch über die Nutzung des Messagecounters bzw. die Variable *M_MCOUNT* geschehen, was jedoch betrieblich durch eine höhere Zahl zu erwartender Zwangsbremssungen nicht optimal ist. Daher wurde festgelegt, dass

bestimmte Packets nicht mit anderen auf derselben Balise übertragen werden dürfen. Es darf ausschließlich bei den Packets 3 (National Values), 41 (Level Transition Order), 68 (Track Condition), 132 (Danger for Shunting information) und 137 (Stop if in Staff Responsible) von der vorgesehenen Standardzuordnung abgewichen werden. Zusätzlich sollten die statischen Packets oder solche mit weniger Ausprägungen (beispielsweise das Gradientenprofil) auf der in Fahrtrichtung ersten Balise liegen. Müssen die Packets abweichend zugeordnet werden und kann nicht in allen Fällen eine restriktive, konsistente Message gewährleistet werden, muss die Variable *M_MCOUNT* mit unterschiedlichen Werten zum Kennzeichnen nicht zueinander passender Balisentelegramme verwendet werden; dann erfolgt eine Sicherheitsreaktion auf dem Fahrzeug, die von der Balisengruppe abhängt.

Abhängig von der Signalart müssen an den zugehörigen Balisengruppen unterschiedliche Packets übermittelt werden. Zusätzlich ist zu unterscheiden, ob an der Balisengruppe Packets als Infill zu übertragen sind. Aus diesem Grund wurde zu Beginn eine Typisierung der Balisenfunktionen erarbeitet und diese als Standardfälle definiert. Innerhalb dieser Standardfälle ist festgelegt, welche Packets zwingend genutzt werden müssen und welche optional zusätzlich genutzt werden können.

Der Standort von Balisengruppen ist auch für weitere betriebliche Situationen zu beachten. So unterscheiden sich die Packets beispielsweise auch beim Übermitteln eines Nothalts. Dieser Nothalt ist eine neue Funktion, welche durch die direkte Ansteuerung der Balisengruppen durch das Stellwerk ermöglicht wird. Sollte die Fahrstraßenüberwachung verloren gehen oder das Ziel-Freigabesignal manuell auf Halt gestellt werden (per Haltgruppentaste – HAGT), so werden alle zugehörigen Balisengruppen innerhalb der Fahrstraße in den Nothalt versetzt und so ein zusätzlicher, direkter Weg zum Zwangsbremsen eines Fahrzeugs geschaffen, den es in dieser Form im Level 1 bisher nicht gibt. An einem SFA muss keine separate Nothaltfunktion vorgesehen werden, da das Signal in Haltstellung bereits die restriktivste Information (Halt für Zug- und Rangierfahrten) signalisiert und über das ETCS auch technisch sicherstellt. Infill-Balisengruppen, SFVb und SFHM benötigen dagegen diese separate Nothaltfunktion in Form der generischen Nothalt-Message (vgl. Tabelle 3), die bei allen Fahrzeugen eine Zwangsbremsung auslöst. Abgesehen vom balisengruppenspezifischen Header sind dabei alle Packets generisch erstellt. Das Packet 3 (National Values) muss nur übertragen werden, wenn eine Übertragung dort im Normalfall erfolgt. Eine Übertragung auf der zweiten Balise kann zusätzlich erforderlich sein, wenn fahrtrichtungsabhängig zwei unterschiedliche Ausprägungen des Packets übertragen werden.

Tabelle 3: Generische Nothalt-Message.

Packet	Balise 1 (Bits)	Balise 2 (Bits)
Header	50	50
Packet 3 (National Values)	(186)	(186)
Packet 12 (Movement Authority)	–	95
Packet 21 (Gradient Profile)	54	–
Packet 27 (International Static Speed Profile)	–	58
Packet 41 (Level Transition Order)	81	
Packet 72 (Packet for sending plain text messages)	292	
Packet 132 (Danger for Shunting information)	24	
Packet 137 (Stop if in Staff Responsible)	24	
Packet 255 (End of information)	8	8
Σ	533 (719) Bits	211 (397) Bits

Durch das Packet 65 (Temporary Speed Restriction – TSR) können Geschwindigkeitsrestriktionen, beispielsweise während Bauarbeiten, für einzelne Fahrwegabschnitte übermittelt werden. Durch die zentrale Ansteuerung der Balisen ist der Einsatz von Wurfbalisen in den meisten Fällen dagegen nicht mehr erforderlich. Ein Fahrwegabschnitt wird bei dem angewendeten Verfahren entweder von zwei SFA begrenzt oder reicht bei Ausfahrten vom Ausfahr- bis zum Einfahrsignal der Gegenrichtung (Ausfahrstraße), wo der darauffolgende Abschnitt, die Blockfahrstraße, beginnt. Geschwindigkeitsrestriktionen lassen sich prinzipiell in 5 km/h-Intervallen projektieren [7], wobei bei der CFL ausschließlich die Restriktionen von 40, 60 und 80 km/h zur Anwendung kommen. Neben der Zielgeschwindigkeit werden die Distanz bis zum Beginn und die Länge der Restriktion übermittelt. Zusätzlich ist bei der Projektierung die Nummerierung (Variable: *NID_TSR*) zu beachten, da sich unterschiedliche TSR mit gleicher *NID_TSR* nicht überlagern dürfen. Durch die zentrale Ansteuerung der Balisengruppen direkt durch das Stellwerk können Langsamfahrstellen jederzeit – sofern die betrieblichen Voraussetzungen gegeben sind – durch das Setzen entsprechender Merker in der Lupenansicht am Bedienplatz aktiviert und deaktiviert werden. Die TSR-Packets werden im vorgestellten System als Ergebnis einer Vorabanalyse aufgrund der Komplexität aus der Kombinatorik nicht explizit projektiert, sondern aus vorhandenen Daten automatisiert erstellt. Im Wesentlichen werden die Längen der Fahrstraßen, die Abstände zwischen Balisengruppe und zugehörigem Freigabesignal sowie die *NID_TSR* auf Ebene der Zugstraßen definiert und hieraus die Variablen der TSR-Packets gespeist.

Bei einem Ausfall einer Balise werden zusätzlich zum restriktivsten Begriff an allen Balisen der dazugehörigen Balisengruppe die Packets 72 (Packet for sending plain text messages) und 254 (Default balise information) übermittelt. Durch das Packet 72 wird auf dem DMI die Benachrichtigung *No LEU (Nr. der Balisengruppe)* angezeigt.

3.3 Softwareunterstützung bei der Projektierung

Einen wesentlichen Kern dieser ETCS-Projektierung stellt die Softwareunterstützung durch eigens entwickelte prototypische Tools in Excel und Matlab dar.

Die benötigten Daten werden aus den unterschiedlichen Quellen (insbesondere Planteil (PT) 1, Gradientenprofile, Infrastrukturhöchstgeschwindigkeiten, ETCS-Spezifikationen sowie den betrieblichen Anforderungen) je Stationsrechner (in diesen Fall je Betriebsstelle) in einer Excel-Mappe gesammelt. Dort werden im Wesentlichen die benötigten Packets in einer nachvollziehbaren Form definiert, inklusive einer eindeutigen Bezeichnung. Diese Bezeichnungen werden dann genutzt, um im Hauptteil, der sogenannten Projektierungstabelle, eine Zuordnung vorzunehmen, welche Packets an welcher Balisengruppe (und in einem weiteren Schritt an welcher Balise einer Balisengruppe) wann (also bei welcher eingestellten Fahrstraße) übertragen werden sollen. Hierfür wurde ein Ansatz ähnlich dem bekannten Verschlussplanprinzip angewendet, mit den Fahrstraßen bzw. den Kombinationen gereihter Fahrstraßen als Zeilen und den Balisengruppen als Spalten. Durch die Nutzung gereihter Fahrstraßen – praktisch eine Mehrabschnittssignalisierung – entsteht eine Vielzahl an unterschiedlichen Fahrstraßenkombinationen, welche bei der Projektierung alle zu berücksichtigen sind. Dies macht sich insbesondere bemerkbar, wenn in einem Knoten mehrere Strecken verknüpft werden, Zwischensignale, viele Gleise sowie alternative Fahrtmöglichkeiten und alternative Durchrutschwege vorhanden sind. Mit den aktuell möglichen vier Wertepaaren in einem Selektor können alle möglichen Kombinationen aus Einfahr-, Zwischen-, Ausfahr- und Blockfahrstraßen abgebildet werden. Aus diesem Grund wurde die zusätzliche Kombinatorik der Restriktionen (im Falle der CFL-Anwendung mit drei möglichen Geschwindigkeitsstufen zusätzlich zur regulären zulässigen Geschwindigkeit) aus dem Projektierungstool herausgelöst und algorithmisch gelöst.

In einem weiteren Excel-Blatt werden automatisch die Datenmengen je Balisengruppe und Zustand derselben berechnet, sodass mit einem Blick auf die farbcodierten Ergebnisse erkennbar ist, an welcher Stelle die Balisenkapazität ggf. überschritten ist, sodass ein Nachsteuern notwendig wird.

Eine weitere wichtige Tabelle enthält die Selektoren, also mit welcher Kombination aus Freigaben und Restriktionen die zuvor projektierte Message – bestehend aus den einzelnen Packets – aufgerufen wird. Der große Vorteil dieser Datenhaltung in Form zentraler Excel-Tabellen ist die effiziente Bearbeitbarkeit und gute Nachvollziehbarkeit durch einen Menschen, was insbesondere in einem solchen Test- bzw. Prototypenstatus von Vorteil ist. Ein Nachteil ergibt sich aus dem gewählten Ansatz nach dem Verschlussplanprinzip in Kombination mit gereihten Fahrstraßen, da die Tabellen Ausmaße annehmen, welche den gesamthaften Blick erschweren. Mit dem größten der hier betrachteten Bahnhöfe ist die Grenze der guten Nutzbarkeit praktisch erreicht. Vor dem Hintergrund der Zielstellung ist dies jedoch vollkommen ausreichend, da alle Situationen betrachtet werden können.

Als Erweiterung dieses Excel-Tools zur Projektierung wurde eine modulare Matlab-Routine entwickelt, welche die Excel-Dateien einliest, verarbeitet und am Ende die durch das Stellwerk lesbaren Dateien mit allen¹ benötigten Informationen ausgeben kann. Dabei werden innerhalb dieser Routine auch alle möglichen Kombinationen aus Restriktionen expandiert und weiteres „Wissen“ integriert, welches algorithmisch besser umsetzbar ist als im Excel-Projektierungstool.

Durch diese Zweiteilung ist es möglich, die beiden Stränge „ETCS-Projektierung“ und „Format der Stellwerksdaten“ parallel zu bearbeiten sowie agil Anpassungen vorzunehmen oder die Auswirkungen von Optimierungen des Formats zu quantifizieren.

An dieser Stelle sei noch einmal zu erwähnen, dass die entwickelten Tools nicht den Zielzustand einer ETCS-Projektierung darstellen, sondern als Prototyp, Vergleich und Testumgebung der Formate für die Entwicklung eines integrierten ETCS-Konfigurators erstellt wurden. Insbesondere das Erstellen der einzelnen Packets (hervorzuheben sind die zahlreichen Geschwindigkeitsprofile) bedeutet einen enormen Zeitaufwand. Hier sind in Zukunft generische Lösungen anzustreben, die an die jeweiligen Anforderungen eines Eisenbahninfrastrukturunternehmens angepasst werden können.

3.4 Prüfung der ETCS-Projektierung

Das beschriebene Vorgehen der ETCS-Projektierung enthält sicherheitskritische Informationen, die nicht durch das Stellwerk geprüft, sondern nur entsprechend der Fahrstraßen und ausgewählten Selektoren verarbeitet werden. Daher obliegt der

¹ Die Berechnung der sog. Coding Information wie CRC (Cyclic Redundancy Check) auf Telegrammebene wurde hier nicht implementiert.

Projektierungsprüfung eine besondere Bedeutung, sodass Projektierungsfehler frühzeitig erkannt und behoben werden. Um die großen Datenmengen zu prüfen, wurde von Scheidt & Bachmann ein prototypisches Tool entwickelt, mit dem sich die Ergebnisse der ETCS-Projektierung (Packets, Telegramme, Selektoren) systematisch überprüfen lassen. Dazu werden die Informationen des PT 2 mit den Informationen des PT 1 verglichen.

Zu den Infrastrukturdaten, beispielsweise den Standorten der Balisengruppen und den Streckendaten, müssen die Bahnhofsgleise (Haupt- und Nebengleise) sowie Benennungssynonyme, beispielsweise das Ziel einer Ausfahrt und die Benennung des Streckengleises mit der Gleisnummer, dem Tool bekannt gemacht werden. Nach dem Einlesen der Informationen des PT 1 und des PT 2 werden die zugehörigen Referenzen ermittelt. Ausgehend von diesen Standorten über die von den Packets abgedeckten Bereichen lassen sich die Projektdaten bestimmen. Durch einen Vergleich der projizierten Daten mit den aus dem PT 1 extrahierten Daten kann eine Prüfung durchgeführt werden.

Da sich dieses Tool noch im Prototypenstadium befindet, sind bei der Prüfung gewisse Restriktionen zu berücksichtigen: Streckenwechsel sind nicht abgebildet und erfordern ein manuelles Prüfen der Packets. Dies betrifft insbesondere Gradienten- und Geschwindigkeitsprofile sowie alle Distanzen, die durch Streckenwechsel betroffen sind. Auch können Packets, die nur optional in einer Message notwendig sind, z. B. National Values und Level Transition Order, noch nicht durch das Tool geprüft werden.

4 Anwendungsbeispiel

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse an einem Anwendungsbeispiel vorgestellt, wobei aufgrund der Komplexität nur die Ausfahrt von Signal K110 des Bahnhofs Mitte nach Signal A520 des Bahnhofs Rechtsheim über den Gleisabschnitt 22 betrachtet wird (vgl. Abbildung 3). In der Abbildung sind fast alle notwendigen Informationen für die Projektierung enthalten, insbesondere die Standorte der Balisengruppen sowie die Geschwindigkeits- und Neigungswechsel.

Angaben zum Zielsignal A520, beispielsweise zur Entlassungsgeschwindigkeit, können aus der Abbildung ebenso wenig entnommen werden wie die Information, dass alle Balisengruppen aus zwei Transparentbalisen bestehen. Für die Beispielfahrstraße soll zusätzlich eine Geschwindigkeitsrestriktion von 60 km/h (Packet 65) für den Zentralblockabschnitt von Höhe des Einfahrsignals R320 bis zum Zielsignal A520 erforderlich sein.

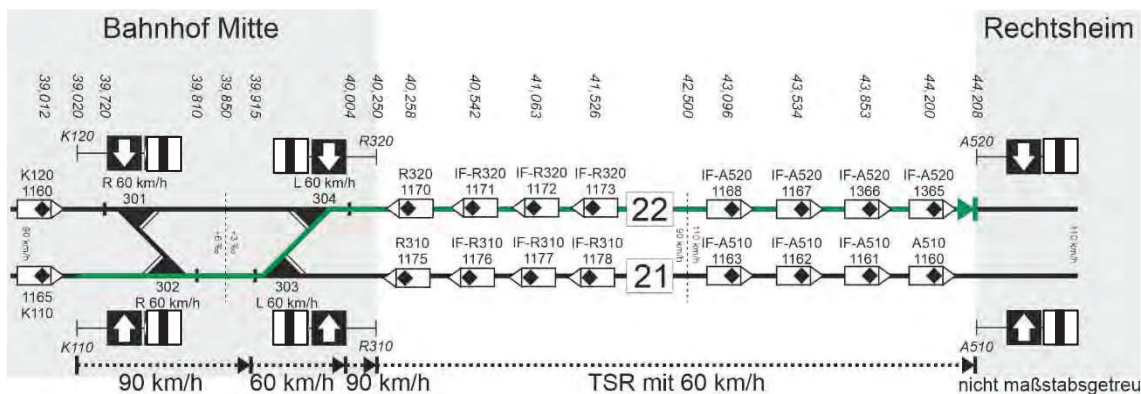


Abbildung 3: Infrastruktur des Anwendungsbeispiels.

Zunächst ist festzulegen, welche Packets für die Fahrstraße am Startsignal K110 bzw. an der dazugehörigen Balisengruppe 1165 benötigt werden. Neben den stets erforderlichen Packets 12, 21 und 27 müssen bei der CFL bei einer Zugfahrstraße die Balisengruppen verlinkt werden (Packet 5). Aufgrund der Geschwindigkeitsrestriktion wird das Packet 65 benötigt. Während das Packet 132 bei unzulässiger Vorbeifahrt für Fahrzeuge in der Betriebsart SH zu einer Zwangsbremmung führt, wird für Fahrzeuge in der Betriebsart SR das Packet 137 benötigt. Außerdem müssen der Header und Packet 255 über jede Balise übermittelt werden.

Tabelle 4: Übersicht der Packets an der Balisengruppe 1165 für die Fahrstraße K110 nach A520.



erforderliche Packets	Länge der Packets (in Bits)	Zuordnung der Packets
Header	50	Balise 1 & Balise 2
Packet 5 (Linking)	342	Balise 2
Packet 12 (Movement Authority)	95	Balise 2
Packet 21 (Gradient Profile)	78	Balise 1
Packet 27 (International Static Speed Profile)	142	Balise 2
Packet 65 (Temporary Speed Restriction)	71	Balise 2
Packet 132 (Danger for Shunting information)	24	Balise 1
Packet 137 (Stop if in Staff Responsible)	24	Balise 1
Packet 255 (End of information)	8	Balise 1 & Balise 2

Anhand dieser Feststellung lassen sich die Packets projektieren. Während die Packets 132, 137 und 255 universell projiziert werden können, sind die verbleibenden Packets individuell zu erstellen. Dafür sind z. B. die Abstände zwischen den Balisengruppen für das Linking und die Geschwindigkeitswechsel zu bestimmen. Abschließend müssen die projizierten Packets den beiden Balisen zugeordnet werden. Dabei ist u. a. die maximale Anzahl der zur Verfügung stehenden Bits zu beachten. Eine Übersicht über die erforderlichen Packets sowie der Zuordnung auf die Balisen ist in Tabelle 4 dargestellt. Das Telegramm der ersten Balise hat eine Länge von 184 Bits und das der zweiten Balise von 708 Bits. Somit wird die maximale Anzahl an Nutzbits auf beiden Balisen nicht überschritten. Außerdem liegt keine Verletzung der Packet-Zuordnung vor, sodass die Projektierung für diese Fahrstraße beendet ist. Im Beispiel sind von Mitte nach Rechtsheim insgesamt fünf Fahrstraßen nach diesem Schema zu projektieren. Von Signal K110 sind zwei und von Signal K120 drei Fahrstraßen vorhanden – von Signal K120 ist zusätzlich eine Umfahrstraße möglich. Für die Balisengruppen an den beiden Startsignalen sind allerdings weitere Zustände zu projektieren: Wenn keine Fahrstraße eingestellt ist, ein Ausfall einer Balise (Default) sowie der Baustellenmodus.

5 Zusammenfassung

Der Eisenbahnbetrieb wird bei der CFL mit ETCS Level 1 FS durchgeführt. Über die vereinfachte Außensignalisierung wird an den Signalen angezeigt, ob eine Fahrerlaubnis vorliegt oder nicht. Alle zugbezogenen Informationen, z. B. eine Movement Authority, werden dem Fahrzeug über die im Gleis platzierten, unmittelbar von einem Stellwerk schaltbaren Balisengruppen übertragen und auf dem DMI dargestellt.

Die zu übertragenden Informationen müssen im Voraus nach den Spezifikationen erstellt und geprüft werden. Basierend auf den Spezifikationen, den Infrastrukturdaten sowie den betrieblichen und technischen Festlegungen ist die Projektierung der erforderlichen Packets möglich, wobei bestimmte Regeln und Anforderungen beachtet werden müssen. Die Packets können – wo möglich und notwendig – fahrstraßengenau projiziert werden, wodurch sich beispielsweise Geschwindigkeitsrestriktionen aufgrund von Weichen exakt an das Fahrzeug übermitteln lassen. Dadurch entsteht zwar ein höherer Projektierungsaufwand, dem jedoch ein betrieblicher Nutzen gegenübersteht.

Durch die Softwareunterstützung lassen sich die Auswirkungen unterschiedlicher Datenformate und Projektierungsoptionen erörtern und sehr genaue Abschätzungen über die zu erwartenden Datenmengen und benötigten Balisen je Standort abgeben. Sie dient auch als Referenz für die Entwicklung eines produktiven, vollständigen Konfigurators.

Mithilfe der Ergebnisse lässt sich ein leistungsfähiger Betrieb mit ETCS Level 1 FS mit vergleichsweise schlanker Infrastrukturausrüstung durchführen, was somit zu einer Steigerung der Interoperabilität des europäischen Eisenbahnsektors beiträgt.

Literatur

- [1] Maschek, Ulrich: *Sicherung des Schienenverkehrs*. 4. Auflage, Wiesbaden, Springer-Verlag, 2018.
- [2] Pachl, Jörn: *Systemtechnik des Schienenverkehrs*. 9. Auflage, Wiesbaden, Springer-Verlag, 2018.
- [3] Schnieder, Lars: *Eine Einführung in das European Train Control System (ETCS)*. Wiesbaden, Springer-Verlag, 2019.
- [4] Stanley, Peter (Hrsg.): *ETCS for engineers*. Hamburg, Eurailpress, 2011.
- [5] Arend, Lionel; Pott, Laurent; Hoffmann, Nico und Schank, Ronny: „ETCS Level 2 ohne GSM-R“, *Signal+Draht* 10/2018, S. 18-28.
- [6] Finken, Klaus; Hamblock, Thomas; Klötters, Georg: „ZSB 2000 auf dem Weg zu ETCS“, *Signal+Draht* 10/2019, S. 32-37.
- [7] European Union Agency for Railways (ERA), Subset 026 - System Requirements Specification, Baseline 2.3.0, Ausgabe 2.3.0 vom 24.02.2006.

Autoren



Wink, Christopher

Christopher Wink studierte bis 2019 Mobilität und Verkehr an der RWTH Aachen und arbeitet seitdem als Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Verkehrswissenschaftlichen Institut der RWTH Aachen in den Bereichen Eisenbahnsicherungstechnik sowie Eisenbahnbetriebswissenschaft, welchen er seit 2021 als Gruppenleiter vertritt.



Krüger, Bernd

Bernd Krüger studierte von 1984 bis 1988 Elektrotechnik an der FH Niederrhein. Von 1989 bis 2001 arbeitete er in der Entwicklung Signaltechnik bei Scheidt & Bachmann. Danach wechselte er in den Vertrieb und arbeitet heute als Projektmanager.



Laumen, Peter

Peter Laumen studierte von 2006 bis 2013 Elektrotechnik an der RWTH Aachen. Von 2014 bis 2020 war er Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Verkehrswissenschaftlichen Institut der RWTH Aachen im Forschungsbereich Eisenbahnsicherungstechnik. Seit 2021 ist er Produktmanager bei Scheidt & Bachmann.



Morast, Albrecht

Albrecht Morast absolvierte ein duales Bachelorstudium mit der Ausbildung zum Fahrdienstleiter bei der DB Netz AG. Nach dem Masterstudium an der TU Dresden zum Bahnsystemingenieur arbeitet er seit 2017 als Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Verkehrswissenschaftlichen Institut der RWTH.



Nießen, Nils

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Nils Nießen leitet seit 2013 das Verkehrswissenschaftliche Institut der RWTH Aachen. Nach dem Studium des Bauingenieurwesens und der Wirtschaftsgeographie an der RWTH Aachen promovierte er dort 2008. Anschließend war er Projektingenieur bei HaCon in Hannover und Geschäftsführer der VIA Consulting & Development GmbH.



Pott, Laurent

Laurent Pott studierte Elektrotechnik an der RWTH Aachen und an der FH Aachen. Er arbeitet seit 2016 bei der Luxemburger Eisenbahngesellschaft CFL in der Abteilung für Signal- und Sicherungstechnik.