

Vollautomatischer Bahnbetrieb mit ETCS und weiteren Umsystemen

Eine Untersuchung der Auswirkungen des vollautomatischen Bahnbetriebs auf ETCS und weitere Umsysteme

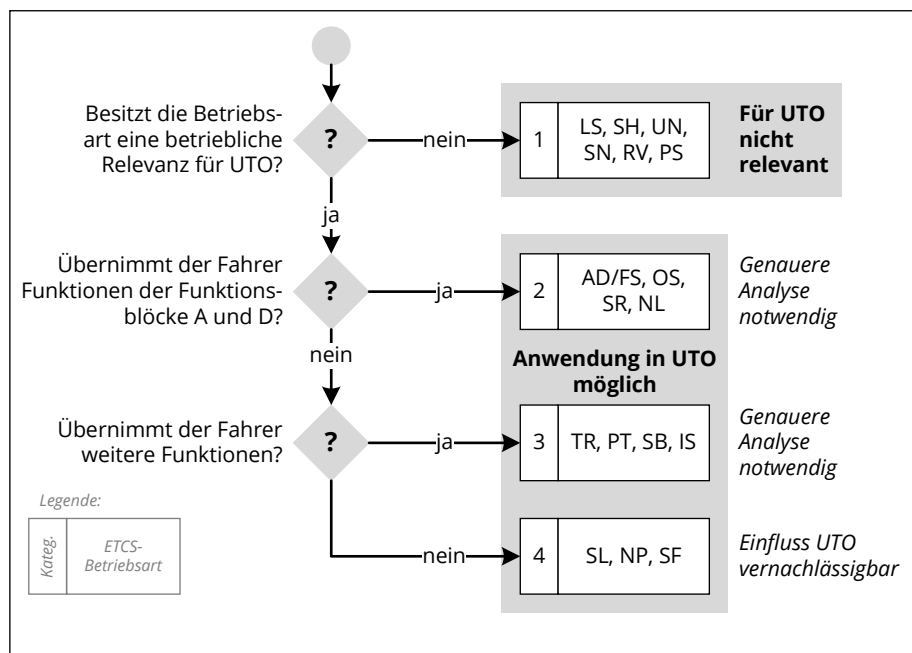


Abb. 1: Entscheidungsbaum zur Kategorisierung der ETCS-Betriebsarten.

FABIAN GAEBLER | RICHARD KAHL |
MICHAEL KRAHL

Im Zuge der Modernisierung des deutschen Vollbahnnetzes ist das European Train Control System (ETCS) als Basis des digitalen Bahnbetriebs gesetzt. Eine Diplomarbeit [1] der Professur für Verkehrssicherheitstechnik an der Technischen Universität Dresden untersuchte 2022 verschiedene Fragestellungen der Auswirkungen des vollautomatischen Bahnbetriebs (Grade of Automation 4, GoA 4) auf ETCS und weitere Umsysteme der Leit- und Sicherungstechnik (LST). Der Beitrag gibt einen zusammenfassenden Überblick über die systematischen Untersuchungen und stellt wesentliche Erkenntnisse vor.

Motivation

Die Klimaschutzziele, der Modernisierungsbedarf im deutschen Vollbahnnetz sowie der Innovationsdruck führen zur einmaligen Gelegenheit, in den nächsten Jahren weitreichende Schritte der Digitalisierung des Bahnsystems zu gehen und die Einführung des

vollautomatischen Bahnbetriebs voranzutreiben. Insbesondere ist von Interesse, die für die Einführung des vollautomatischen Bahnbetriebs (GoA 4) erforderlichen Anforderungen an technische Systeme zu definieren sowie die systemischen Unterschiede der Automatisierungsgrade bezogen auf ETCS und weitere Umsysteme zu identifizieren.

Rahmenbedingungen des vollautomatischen Bahnbetriebs

Der vollautomatische Bahnbetrieb unterliegt dem Einfluss verschiedener Rahmenbedingungen, von denen einige in [1] näher untersucht wurden. Diese unterschiedlichen Blickwinkel sollen im Folgenden kurz vorgestellt werden.

Automatisierungsgrade

Bedingt durch die Systemeigenschaften der Eisenbahn, insbesondere der Spurführung, sind Bahnsysteme automatisierungsfreundlich. Im Nahverkehr finden sich bereits vollautomatische Bahnen (GoA 4), sodass die Entwicklung einer einheitlichen Einteilung notwendig wurde. Die Norm IEC 62290-1 definiert verschiedene Automatisierungsgrade (GoA) des Zugbetriebs (Tab. 1).

Verkehrsarten und Marktsegmente

Im Vollbahnnetz existieren unterschiedliche Verkehrsarten und Marktsegmente, die sich u. a. im Hinblick auf Automatisierungsfähigkeit, Anforderungen, Basisfunktionen sowie Nutzen unterscheiden. Beispielsweise ist der fahrerlose Zugbetrieb (GoA 3) im Güterverkehr nicht sinnvoll, da heute keine weiteren Aufgaben für einen Zugbegleiter bestehen.

Rechtliche Aspekte

Der vollautomatische Betrieb bei Vollbahnen ist in Deutschland zum aktuellen Zeitpunkt nicht rechtssicher durchführbar. Es sind Änderungen an Gesetzen (z. B. Allgemeines Eisenbahngesetz, AEG) und Verordnungen (z. B. Eisenbahnbau- und Betriebsordnung, EBO) notwendig, des Weiteren sind Haftungsfragen zu klären.

Betrieb

Die aktuellen betrieblichen Regelwerke sind für den vollautomatischen Bahnbetrieb nicht geeignet. Sie weisen eine historisch gewachsene, ungünstige Struktur auf und sind auf die Rolle des Menschen fokussiert, was Probleme bei einer Automatisierung der Personalaufgaben mit sich bringt. Eine Neugestaltung der betrieblichen Regelwerke (insbesondere der Fahrdienstvorschrift) ist angebracht. Dabei sollten grundlegende Begriffe hinterfragt werden, wie z. B. die betriebliche Unterscheidung zwischen Zug- und Rangierfahrten. Ein betriebliches Zielbild ist notwendig, das den vollautomatischen Bahnbetrieb beschreibt. Ausgehend von den im Zielbild definierten betrieblichen Anforderungen können technische Lösungen entwickelt werden.

Technik

Die Ausgangsbasis (Systemansatz) des vollautomatischen Bahnbetriebs umfasst neben einem kontinuierlichen, bidirektionalen Datenaustausch zwischen Fahrzeug und Infrastruktur mittels Funkübertragung u. a. folgende technische Kernsysteme (Festlegung für die nachfolgenden Untersuchungen):

- ETCS: mindestens in Level 2 und ohne Lichtsignale
- ATO over ETCS (AoE): gemäß Subset-125 [2]
- Advanced Protection System (APS): derzeit in der Konzeption und Entwicklung durch RCA (Reference CCS Architecture)
- eine leistungsfähige Leittechnik (Traffic Management System, TMS)

Automatisierungsgrad/Betriebsart nach IEC 62290-1	Deutsche Bezeichnung in diesem Beitrag
GoA 0 (On-sight Train Operation)	Fahren auf Sicht
GoA 1 (Non-automated Train Operation, NTO)	Manueller Zugbetrieb
GoA 2 (Semi-automated Train Operation, STO)	Halbautomatischer Zugbetrieb
GoA 3 (Driverless Train Operation, DTO)	Fahrerloser, begleiteter Zugbetrieb
GoA 4 (Unattended Train Operation, UTO)	Vollautomatischer Bahnbetrieb

Tab. 1: Automatisierungsgrade nach IEC 62290-1

Die Zugbewegungen benötigen einen Fahrauftrag und werden vollüberwacht. Es wird nicht zwischen Zug- und Rangierfahrten unterschieden.

Sicherheit

Aspekte der Sicherheit wurden im Rahmen der Arbeit nicht untersucht und stehen daher im Weiteren nicht im Fokus.

Funktionen und Umsysteme des vollautomatischen Bahnbetriebs

Um den Einfluss auf ETCS und die systemischen Unterschiede der Automatisierungsgrade untersuchen zu können, muss der vollautomatische Bahnbetrieb beschrieben werden. Es stellte sich heraus, dass ein stufenbasiertes,

literaturorientiertes Vorgehen mit der Erstellung von Basisfunktionen geeignet ist.

Im Rahmen der Arbeit wurden acht Funktionsblöcke sowie 33 übergeordnete Basisfunktionen aufgestellt und wesentliche Umsysteme unter Berücksichtigung der Prinzipien und Konzepte von OCORA (Open CCS On-board Reference Architecture) [3] und RCA [4] definiert. Darauf aufbauend wurden die Funktionen den Systemen zugeordnet (Funktionsallokation). Dies stellt eine wichtige Grundlage für weitergehende Untersuchungen dar. Tab. 2 zeigt die Funktionsallokation als Ergebnis des systematischen Vorgehens. In den Funktionsblöcken sind die verschiedenen Basisfunktionen zusammengefasst.

Einfluss auf ETCS

ETCS ist ein System, bei dem der Fahrer als „Teilsystem“ betrachtet wird und wesentliche Funktionen ausführt bzw. im Sinne einer Schnittstelle Eingangsgrößen liefert und entsprechend von ETCS überwacht wird. Der vollautomatische Bahnbetrieb und die damit verbundenen neuen Teilsysteme und Schnittstellen können sich unterschiedlich auf die verschiedenen Funktionalitäten und Eigenschaften von ETCS auswirken. Prinzipiell ist es denkbar, dass neue Funktionen hinzukommen, alte entfallen oder bestehende geändert werden müssen. Basis der folgenden Betrachtungen ist Subset-026 [5]. Zusammengefasst sind folgende Erkenntnisse von Bedeutung: ETCS kann für den vollauto-

Funktionsblöcke	APS	ATO-OB	ATO-TS	BSS (Bahnsteigsicherungssystem)	ETCS-OB	ETCS-TS	Feldelemente	Ortung	Sensorik	Stör-OB	Stör-TS	TCMS (Train Control Management System)	TFM (Technisches Funktionsmanagement)	TMS	UTO-OB	Weitere OB-Systeme	Weitere TS-Systeme
A Fahrzeug fahren		X										X					
B Sichere Zugbewegungen gewährleisten	X				X	X	X	X									
C Bahnbetrieb organisieren			X										X				
D Fahrweg / Umgebung überwachen									X	X	(X)						
E Züge betreiben	X	X	X		X	X						X	X	X	X		
F Erkennung und Management von Störungen gewährleisten	X				X		X		X	X	X	X					
G Fahrgastwechsel überwachen		X		X								X			X		
H Bahnbetrieb technisch verwalten													X			X	X

X Basisfunktion wird vom System ausgeführt
 (X) Basisfunktion kann in Teilen vom System ausgeführt werden
 OB On-Board
 TS Trackside

Tab. 2: Funktionsallokation des vollautomatischen Bahnbetriebs (Details können [1] entnommen werden.)

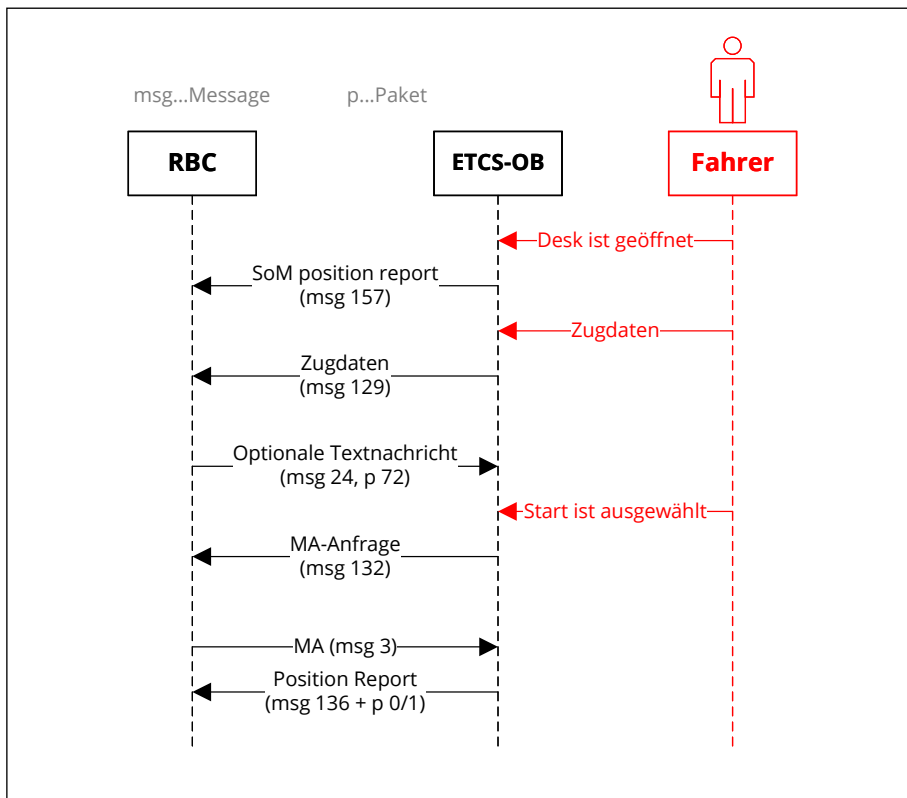


Abb. 2: Sequenzdiagramm der Prozedur SoM im manuellen Bahnbetrieb (nach [6])

matischen Bahnbetrieb genutzt werden, wenn mindestens alle Funktionen, die bislang vom Fahrer durchgeführt werden, von technischen Systemen übernommen werden. Es existieren jedoch vielfältige Herausforderungen, bei denen eine Weiterentwicklung der Spezifikation sinnvoll erscheint (z. B. neue Betriebsarten für den vollautomatischen Betrieb). Die Änderungen an den bestehenden Anforderungen sollten dabei so gering wie möglich gehalten werden, um den Entwicklungs- und Zulassungsaufwand zu minimieren.

Eine genauere Analyse der systemischen Auswirkungen auf die ETCS-Betriebsarten ist in Abb. 1 dargestellt. Die Betriebsarten LS, SH, SN, UN, RV und PS sind für den vollautomatischen Bahnbetrieb nicht relevant. Alle anderen Betriebsarten können im vollautomatischen Bahnbetrieb – in Abhängigkeit vom betrieblichen Anwendungsfall – zum Einsatz kommen. Es werden Detailbetrachtungen empfohlen. Der Einfluss des vollautomatischen Bahnbetriebs auf die Betriebsarten SL, NP und SF wird als vernachlässigbar eingeschätzt.

Die Untersuchung der Einflüsse des vollautomatischen Bahnbetriebs auf die ETCS-Prozeduren zeigt ein ähnliches Bild: Es können sechs Prozeduren entfallen, vier vermutlich ohne Anpassung weiter genutzt werden, und acht Prozeduren müssen genauer untersucht werden, um den tatsächlichen Anpassungsbedarf zu ermitteln. Die beispielhafte Untersuchung der Prozedur SoM (Start of Mission) zeigte einen lösbaren Anpassungsbedarf. Der in Abb. 2 rot markierte Teil kann im vollautomatischen

Bahnbetrieb nicht mehr vom Fahrer durchgeführt werden, sondern muss vollständig automatisiert werden (z. B. durch weitere Systeme). Weitere Aspekte, wie das Vorliegen neuer Eingangssignale und somit neuer Schnittstellen aufgrund der Umsysteme wurden identifiziert und müssen näher untersucht werden. Es entstehen neue Anforderungen. ETCS-Funktionalitäten, wie beispielsweise die Gleisfreiprüfung durch den Fahrer (Track Ahead Free, TAF), müssen im vollautomatischen Bahnbetrieb entfallen.

Systemische Unterschiede der Automatisierungsgrade

Motivation

Das Bahnsystem ist kein ideales System, da es vielen Einflussfaktoren unterliegt. Es kommt zu Störungen und Abweichungen vom Regelbetrieb. Dabei ist zu erwarten, dass aufgrund von Störungen die vollautomatische Durchführung des Bahnbetriebs in GoA 4 in einem entsprechenden Zeitraum nicht möglich ist und beispielsweise das Betriebspersonal steuernd eingreifen muss. Es kann zum Einsatz niedrigerer Automatisierungsgrade kommen. Die Automatisierungsgrade GoA 3, GoA 2 sowie GoA 1 sind in diesem Zusammenhang als Rückfallebenen zum vollautomatischen Bahnbetrieb (GoA 4) zu verstehen.

Es ist zu untersuchen, (1) welche Umsysteme im entsprechenden Automatisierungsgrad benötigt werden, (2) welche Basisfunktionen automatisch ausgeführt werden und ob (3)

neue Umsysteme in der Rückfallebene notwendig sind.

Wesentliche Erkenntnisse des Vergleichs

Es zeigte sich, dass ein Vergleich auf Stufenebene (GoA 4 mit GoA 3, GoA 2 und GoA 1) mittels Funktionsallokationen eine geeignete Vorgehensweise zur Untersuchung der o.g. Fragestellungen ist. Die teils deutlichen systemischen Unterschiede zwischen den Automatisierungsgraden bei Ausführung der Basisfunktionen äußern sich in technischen und betrieblichen Aspekten. Es entstehen neue Funktionen. Ein neues Umsystem zur Fernsteuerung der Fahrzeuge und Fahrzeugbedienungen in der Rückfallebene ist erforderlich.

Im Vergleich zum Regelbetrieb in GoA 4 müssen verschiedene Informationen in der Rückfallebene neu zwischen anderen Umsystemen ausgetauscht werden. Die Informationen liegen weiterhin im Gesamtsystem vor, können in der Rückfallebene aber nicht wie geplant übermittelt und genutzt werden. Damit diese Informationen genutzt werden können, müssen sie dem Betriebspersonal an geeigneter Stelle visualisiert werden.

Werden die Umsysteme nur für den Regelfall entwickelt, wird es in einigen Szenarien in der Rückfallebene zu merklichen Problemen kommen, da die Informationen nicht dort vorliegen, wo sie im konkreten Szenario benötigt werden (z. B. bei der Fernsteuerung, siehe nächster Abschnitt). Die entsprechenden Schnittstellen sind daher unter Berücksichtigung der Rückfallebene zu identifizieren und vollständig zu spezifizieren. Da nachträgliche Änderungen insbesondere bei sicherheitskritischen Systemen und Schnittstellen als potenziell problematisch eingeschätzt werden, müssen diese Herausforderungen der Informationsübertragung und -visualisierung in der Rückfallebene bereits bei der Systementwicklung berücksichtigt werden.

Insgesamt ist zu erwarten, dass die Detaillierung der betrieblichen Prozesse und darauf aufbauend die konkrete Spezifikation der Umsysteme und Schnittstellen die hier getroffenen Aussagen beeinflussen.

Notwendigkeit der Fernsteuerung im Vollbahnnetz

Im Gegensatz zum Nahverkehr ist das Vollbahnnetz offen und verläuft auch durch schwer erreichbare Gebiete. Das Betriebspersonal kann im Störfall nicht innerhalb einer akzeptablen Zeitspanne das Fahrzeug erreichen und die Entstörung vor Ort durchführen. Dies führt zu Konsequenzen im Einsatz niedrigerer Automatisierungsgrade in der Rückfallebene. Die Fernsteuerung der Fahrzeuge und Fahrzeugbedienungen (Remote) rückt in den Vordergrund.

Um bei Störungen und Abweichungen vom Regelbetrieb effizient reagieren zu können, ist ein neues System notwendig, das die sichere Fernsteuerung der Fahrzeuge und Fahrzeug-

THEMENSCHWERPUNKTE:

Ausgabe Nr. 2/23

- Dynamische Transition Chiasso
- Alternative Antriebskonzepte / Wasserstoff
- Vorstellung der neuen Dosto-Triebzüge - Teil 1
- Gute Fahrt in DACH durch hohe Stopfqualität - Teil 2
- Ökologischer Bahnhofsumbau
- Blick hinter die Kulissen des Bordservice der DB
- Modernstes Tunnelscanning im DB-Eisenbahnnetz

Anzeigenschluss: 11.01.23

Erscheinungstermin: 10.02.23

Ausgabe Nr. 3/23

- Entwicklung der Bauüberwachung bei der DB Station & Service
- Vorstellung der neuen Dosto-Triebzüge - Teil 2
- Hybride Bahnbrücke
- Digitalisierung und Retrofit von Bahninfrastruktur
- Einsatz der BIM-Methodik im Projekt Brücken Bernau
- BIM 3D-Plänen beim Bauen
- BIM bei der Deutschen Bahn
- Einsatz von Drohnen für handnahe Prüfungen

Anzeigenschluss: 11.02.23

Erscheinungstermin: 10.03.23

Ausgabe Nr. 4/23

Messeausgabe zur transport logistic Railway Diagnostic and Monitoring Conference

- Vorstellung der neuen Dosto-Triebzüge - Teil 3
- Automatisches Stopp-Start-System für dieselbetriebene Rangierloks
- Bodenstabilisierungen – Anwendungsbeispiele
- Kann ein geotextiler Schadstofffilter eine Flächenversiegelung ersetzen?
- GEFTRAN-Sensoren für die automatische Bremsprobe im Schienengüterverkehr
- Interlimesstechnik in Kombination mit GNSS zur Festpunktfeldbestimmung für Umbaumaßnahmen

Anzeigenschluss: 09.03.23

Erscheinungstermin: 06.04.23

bedienungen ermöglicht. Es existieren erste Lösungskonzepte. Pilotprojekte beweisen die Machbarkeit, wenngleich eine Vielzahl von technischen und betrieblich-organisatorischen Herausforderungen betreffend Systemaufbau, Systemarchitektur, Schnittstellen, Arbeitsumgebung, Arbeitsplatzgestaltung, Arbeitsbelastung (Workload) sowie Aspekten der Zulassung zu lösen sind.

Fazit

ETCS ist als zukunftssicheres Kernsystem für den Einsatz im vollautomatischen Bahnbetrieb geeignet. Neben den Betrachtungen zu ETCS konnten insbesondere die Unterschiede zwischen den Automatisierungsgraden und die sich daraus ergebenden Erkenntnisse für das Gesamtsystem herausgearbeitet werden.

Insgesamt besteht ein hoher Anpassungsaufwand gegenüber den aktuell gültigen Anforderungen, was sich u. a. durch Änderungen an den betrieblichen Prozessen, der Entwicklung neuer Umsysteme sowie signifikant erhöhten Konnektivitätsanforderungen zeigt. Im Vergleich zu den aktuell gültigen Anforderungen an die Datenraten kann beispielsweise im Zusammenhang mit der Fernsteuerung eine mindestens 325-fache Steigerung ermittelt werden (Berechnung siehe [1], Kap. 6.2).

Es besteht weiterer Untersuchungsbedarf betreffend (1) der Standardisierung und Vereinheitlichung von Begriffen und der Norm IEC 62290-1 (z.B. Berücksichtigung des in Zukunft durchaus denkbaren „autonomen“ Fahrens mit dezentraler Steuerung in bestimmten Anwendungsfällen), (2) der Rolle des Menschen im zukünftigen Bahnbetrieb und (3) der zukünftig benötigten Kommunikationsinfrastruktur.

Die Diplomarbeit zeigt, dass für die Einführung des vollautomatischen Bahnbetriebs eine Vielzahl von Herausforderungen technischer und betrieblich-organisatorischer Herkunft zu lösen sind. Insbesondere sind die folgenden Punkte mit hoher Priorität anzugehen:

1. Schaffung rechtlicher Rahmenbedingungen
2. Erstellung und Veröffentlichung eines betrieblichen Konzepts
3. Entwicklung betrieblicher Prozesse und Regelwerke
4. Sammeln von Praxiserfahrungen im laufenden Betrieb zu bereits spezifizierten Kernsystemen wie AoE oder ETCS (in der Ausprägung Level 2 „ohne Signale“)
5. Durchführung von Pilotprojekten in allen Verkehrsarten und Marktsegmenten
6. Identifikation relevanter Schnittstellen und Weiterentwicklung der ETCS-Spezifikation
7. Schaffung technischer Grundlagen für den vollautomatischen Bahnbetrieb.

Der aktuelle Stand von Forschung und Technik ändert sich stetig, weshalb dieser Beitrag nur einen Zwischenstand darstellt und somit kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben werden kann. Weiterentwicklungen, wie die neu im Jahr 2022 veröffentlichte TSI ZZS, konnten bei der Bearbeitung nicht berücksichtigt werden. ■

QUELLEN

Anmerkung: Weiterführende und detaillierte Quellenangaben können [1] entnommen werden.

[1] Gaebler, F.: Auswirkungen des vollautomatischen Bahnbetriebs auf ETCS und weitere Umsysteme, Diplomarbeit, TU Dresden, 2022. Verfügbar unter: <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa2-803171>

[2] S2R (Hrsg.): ATO over ETCS – System Requirements Specification. SUBSET-125, Version 0.1.0. 2018

[3] OCORA (Hrsg.): System Architecture. Version: 2.01, Release: R1. 2021

[4] RCA (Hrsg.): RCA System Architecture. Preliminary issue, Version 0.3 (0.A). 2021

[5] ERA (Hrsg.): ERTMS/ETCS: System Requirements Specification. SUBSET-026, Version 3.6.0. 2016

[6] EUG (Hrsg.): Engineering Guideline: 68. Start of Mission in Level 2/3 (B3). Ref: 19E045, Version 2-. 2021



Dipl.-Ing. Fabian Gaebler

Systemingenieur
Train Control Systems, I.N-SIG-VRT
Signon Deutschland GmbH, Dresden
fabian.gaebler@signon-group.com



Dipl.-Ing. Richard Kahl

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Professur für
Verkehrssicherungstechnik
TU Dresden, Dresden
richard.kahl@tu-dresden.de



Dipl.-Ing. Michael Krahl

Fachgruppenleiter
Train Control Systems, I.N-SIG-VRT
Signon Deutschland GmbH, Dresden
michael.krahl@signon-group.com