

Jochen Trinckauf · Ulrich Maschek · Richard Kahl (Hrsg.)

# ETCS

## in Deutschland

2.

**AUFLAGE**

ÜBERARBEITET  
& ERWEITERT



EDITION  
**Eurail**  
press



# ETCS

# in Deutschland

## **Herausgeber**

Prof. Dr.-Ing. Jochen Trinckauf  
PD Dr.-Ing. habil. Ulrich Maschek  
Dr.-Ing. Richard Kahl

## **Autoren**

Sascha Baumhacker  
Wolfgang Braun M. Sc.  
Lars Brune M. Sc.  
Dr.-Ing. Jens Buder  
Moritz Cichos M. Sc.  
Yadi Han M. Sc.  
Dr.-Ing. Richard Kahl  
Dipl.-Ing. Matthias Kopitzki  
Dipl.-Ing. Elisabeth Kretschmer  
Dr.-Ing. Michael Dieter Kunze  
Jan O. Lübs M. Sc.  
PD Dr.-Ing. habil. Ulrich Maschek  
Richard Frhr. Poschinger von Frauenau M. Sc.  
Dipl.-Inf. Frank Skowron  
Dipl.-Ing. Martin Erik Sommer

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.de> abrufbar.

Verlag: GRT Global Rail Academy and Media GmbH  
Werkstättenstraße 18  
D-51379 Leverkusen

Office Hamburg: Frankenstraße 29, D-20097 Hamburg  
Tel.: +49 (0) 40 228679 506  
Fax: +49 (0) 40 228679 503  
Web: [www.trackomedia.com](http://www.trackomedia.com)  
E-Mail: [office@globalrailmedia.com](mailto:office@globalrailmedia.com)

Geschäftsführer: Detlev K. Suchanek  
Lektorat: Alexandra Schöner (verantw.)  
Vertrieb und Buchservice: Sabine Braun  
Anzeigen: Dirk Bogisch

Titelillustration: Julianne Trinckauf  
(machzwei: Kreativ-Gemeinschaft, Dresden)

Satz und Druck: TZ-Verlag & Print GmbH, Roßdorf

© 2024 GRT Global Rail Academy and Media GmbH  
2. Auflage 2024

ISBN 978-3-96245-263-6

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen jeder Art, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeisung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Trotz sorgfältiger Recherche war es leider nicht in allen Fällen möglich, die Urheber der Bilder zu ermitteln. Sollten ohne Absicht Bilder in unerwünschter Weise veröffentlicht worden sein, teilen Sie dies bitte dem Verlag mit.

Eine Publikation von



TrackoMedia ist die Verlagsmarke der  
GRT Global Rail Academy and Media GmbH.

## **Vorwort**

Der freie Warenverkehr und die Personenfreiheit gehören zu den vier Grundfreiheiten der Europäischen Union. Doch während es für den Straßen- und Luftverkehr in der EU heute keine Grenzen mehr gibt, sind sie im Eisenbahnverkehr noch deutlich spürbar und stellen damit einen Wettbewerbsnachteil gegenüber den anderen Verkehrsträgern dar. Eine wichtige Ursache sind die unterschiedlichen Zugbeeinflussungssysteme, die eine Interoperabilität der Triebfahrzeuge stark behindern. Um Eisenbahnverkehrsunternehmen die Möglichkeit zu geben, behinderungsfrei durch ganz Europa zu fahren und damit den Schienenverkehr zu stärken, wurde 1989 auf einer Sitzung des internationalen Eisenbahnverbands UIC in Dresden die Initiative gestartet, die europäischen Zugbeeinflussungssysteme zu vereinheitlichen: die Geburtsstunde des European Train Control Systems (ETCS).

In Deutschland wurden bislang erst wenige Strecken mit ETCS ausgerüstet. Doch die Pläne sind ambitioniert und erfordern eine große Anzahl von Ingenieuren und Technikern für Planung, Bau und Betrieb des Systems. Hierfür ein ausführliches Kompendium bereitzustellen war Motivation des vorliegenden Werks, das nicht nur theoretische Grundlagen, sondern auch die deutsche Umsetzung sowie Ausführungen zur Planung von ETCS beinhaltet.

Noch ist die ETCS-Entwicklung sehr dynamisch. Deshalb haben sich vier Jahre nach dem Erscheinen der 1. Auflage bereits viele Dinge geändert. Nicht nur, dass inzwischen die Baseline 4 der europäischen Spezifikation veröffentlicht wurde; auch in der deutschen Umsetzung gab es signifikante Änderungen. Die zukünftige Einführung eines neuen Funksystems wirft ebenfalls ihre Schatten voraus. Alles in allem gewichtige Gründe für eine komplett überarbeitete 2. Auflage, um das Wissen aktuell zu halten und Neueinsteigern den Zugang für eine Zukunftstechnologie zu ebnen – für ETCS in Deutschland.

Die Herausgeber

Dresden, im Juli 2024

## Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort.....</b>	<b>3</b>
<b>Inhaltsverzeichnis.....</b>	<b>5</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>12</b>
<b>Symbolverzeichnis .....</b>	<b>28</b>
<b>1        ETCS nach europäischer Spezifikation .....</b>	<b>31</b>
<b>  1.1    Motivation .....</b>	<b>31</b>
1.1.1    Harmonisierung der Eisenbahnverkehrssteuerung.....	31
1.1.2    Gründe für ein europäisches Eisenbahnverkehrsleitsystem.....	38
<b>  1.2    Europäische Standardisierung.....</b>	<b>41</b>
1.2.1    Hintergrund und Handlungsfelder .....	41
1.2.2    Grundlagen der europäischen Gesetzgebung .....	43
1.2.3    Eisenbahnpakete .....	44
1.2.4    Technische Spezifikationen für Interoperabilität.....	47
1.2.5    Spezifikationen von ETCS .....	51
1.2.6    Common Safety Methods .....	55
1.2.7    Transeuropäische Netze für Verkehr .....	56
1.2.8    European Rail Traffic Management System .....	58
1.2.9    Beteiligte an der Weiterentwicklung.....	59
<b>  1.3    ETCS-Level/Ausrüstungsstufen.....</b>	<b>62</b>
1.3.1    ETCS Level 1 .....	62
1.3.2    ETCS Level 2 .....	64
1.3.3    ETCS Level 3 .....	65
1.3.4    ETCS Level NTC.....	66
1.3.5    ETCS Level 0 .....	67
1.3.6    Level-Überblick .....	67
1.3.7    Übergang in ein anderes ETCS-Level.....	68

<b>1.4</b>	<b>ETCS-Referenzarchitektur</b> .....	<b>70</b>
1.4.1	Systemaufbau.....	70
1.4.2	Systemumgebung und Schnittstellen .....	72
1.4.3	Übersicht zu Architekturdokumenten .....	73
<b>1.5</b>	<b>Infrastrukturseitiges Teilsystem</b> .....	<b>75</b>
1.5.1	Eurobalise.....	75
1.5.2	Euroloop .....	84
1.5.3	Lineside Electronic Unit.....	86
1.5.4	Radio Infill Unit .....	87
1.5.5	Radio Block Centre.....	88
1.5.6	Schlüsselmanagement.....	94
<b>1.6</b>	<b>Fahrzeugseitiges Teilsystem</b> .....	<b>101</b>
1.6.1	Überblick und Schnittstellen.....	101
1.6.2	European Vital Computer .....	102
1.6.3	Driver Machine Interface .....	103
1.6.4	Odometrie und Ortungsverfahren.....	104
1.6.5	GSM-R-Fahrzeugausrüstung .....	107
<b>1.7</b>	<b>Funksysteme – Railway Mobile Radio</b> .....	<b>109</b>
1.7.1	GSM-R .....	109
1.7.2	FRMCS.....	125
<b>1.8</b>	<b>Betriebsarten</b> .....	<b>153</b>
1.8.1	Betriebsarten für den Regelbetrieb.....	153
1.8.2	Betriebsart für die Rückfallebene: Staff Responsible.....	157
1.8.3	Betriebsarten für Gefahrensituationen .....	158
1.8.4	Betriebsarten für Mehrfachtraktion .....	159
1.8.5	Betriebsarten für nicht mit ETCS ausgerüstete Strecken .....	160
1.8.6	Betriebsarten für Ausschalt- und Störzustände .....	161
<b>1.9</b>	<b>Betriebliche Funktionalität</b> .....	<b>163</b>
1.9.1	Grundbegriffe.....	163
1.9.2	Systemdaten .....	168
1.9.3	Infrastrukturdaten.....	170
1.9.4	Spezielle Funktionen .....	172
1.9.5	Signalisierung bei ETCS .....	173
1.9.6	Definierte Prozeduren.....	175

<b>1.10</b>	<b>Überwachungsfunktionen .....</b>	<b>177</b>
1.10.1	Übersicht zur fahrzeugseitigen ETCS-Überwachung .....	177
1.10.2	Berechnung der Brems- und Überwachungskurven.....	181
1.10.3	CSM – Sollgeschwindigkeitsüberwachung .....	191
1.10.4	TSM – Zielgeschwindigkeitsüberwachung.....	192
1.10.5	RSM – Überwachung der Freigabegeschwindigkeit .....	194
1.10.6	Darstellung auf dem Driver Machine Interface .....	195
1.10.7	Überwachung unzulässiger Fahrzeugbewegungen.....	200
<b>1.11</b>	<b>Security .....</b>	<b>201</b>
1.11.1	Grundlagen.....	201
1.11.2	Safety und Security.....	204
1.11.3	Europäische Spezifizierung Security für ETCS.....	205
1.11.4	ETCS-Security .....	206
1.11.5	Ausblick.....	216
<b>1.12</b>	<b>Änderungen mit Baseline 4 .....</b>	<b>218</b>
1.12.1	Spezifikationsänderungen .....	218
1.12.2	Systemversionen .....	220
1.12.3	Erweiterung der Referenzarchitektur .....	221
1.12.4	Fahrzeugseitige Schnittstellen .....	222
1.12.5	Verschmelzung von ETCS Level 2 und 3.....	223
1.12.6	Weiterentwickelte Betriebsarten .....	225
1.12.7	Fristen .....	228
1.12.8	Sonstige Änderungen .....	229
<b>2</b>	<b>Deutsche Umsetzung von ETCS .....</b>	<b>231</b>
<b>2.1</b>	<b>Bestehende und geplante Streckenausrüstung.....</b>	<b>231</b>
2.1.1	ETCS-Einführung im europäischen Kontext.....	231
2.1.2	ETCS-Ausrüstungsstrategie .....	232
<b>2.2</b>	<b>Lastenhefte der DB.....</b>	<b>239</b>
2.2.1	Hintergrund und Zweck .....	239
2.2.2	Rechtlicher Rahmen und mitgeltende Dokumente.....	241
2.2.3	Von der Erstellung bis zur Freigabe .....	241
2.2.4	Fortschreibung der ETCS-Lastenhefte .....	243
2.2.5	Dokumentation der ETCS-Lastenhefte .....	244

## Inhaltsverzeichnis

---

2.2.6	Lastenheft BTSF3: Betrieblich-technische Systemfunktionen für ETCS SRS Baseline 3 .....	245
2.2.7	Lastenheft Zugbeeinflussungssystem „ETCS signalgeführt“ .....	247
<b>2.3</b>	<b>ETCS signalgeführt.....</b>	<b>249</b>
2.3.1	Grundlagen.....	249
2.3.2	Komponenten.....	250
2.3.3	Anwendungen .....	252
2.3.4	Nationale Werte .....	260
2.3.5	Fehlerreaktion bei Störung der Streckenausrüstung .....	260
<b>2.4</b>	<b>ETCS Level 2.....</b>	<b>262</b>
2.4.1	Grundlagen.....	262
2.4.2	Technische Anforderungen.....	272
2.4.3	Bewertung von Fahrzeugpositionen .....	277
2.4.4	Einstieg nach Level 2 .....	280
2.4.5	Beginn einer Fahrt.....	283
2.4.6	Durchführen einer Fahrt .....	287
2.4.7	Ausstieg aus Level 2 .....	297
<b>2.5</b>	<b>Transitionen.....</b>	<b>298</b>
2.5.1	Grundlagen.....	298
2.5.2	Transitionen zwischen ESG und PZB/LZB.....	300
2.5.3	Transitionen in Verbindung mit Level 2.....	304
2.5.4	Transitionen zwischen Klasse B-Systemen.....	314
<b>2.6</b>	<b>Betriebliche Regeln für ETCS Level 2.....</b>	<b>316</b>
2.6.1	Betriebliche Regelwerke.....	316
2.6.2	Beginn und Ende einer Zugfahrt.....	317
2.6.3	Signalisierung bei der Durchführung anzeigegeführter Zugfahrten .....	319
2.6.4	Rangieren .....	325
2.6.5	Spezielle betriebliche Szenarien .....	326
2.6.6	Rückfallebene .....	328
<b>2.7</b>	<b>Systementwicklung, Test und Inbetriebnahme .....</b>	<b>332</b>
2.7.1	Regulatorische Grundlagen für eine Inbetriebnahme .....	332
2.7.2	Entwicklung sowie Zulassungsbewertung des infrastrukturseitigen ETCS .....	334
2.7.3	Realisierung im Ausrüstungsprojekt .....	342

<b>2.8</b>	<b>ETCS an Landesgrenzen .....</b>	<b>346</b>
2.8.1	ETCS-Ausrüstungsprojekte an Landesgrenzen .....	346
2.8.2	Ausrüstungsvarianten an Landesgrenzen .....	350
2.8.3	Bilaterale Planung .....	353
<b>3</b>	<b>ETCS-Planung .....</b>	<b>359</b>
<b>3.1</b>	<b>Grundlagen für ETCS-Planungen.....</b>	<b>359</b>
3.1.1	Planungsablauf .....	359
3.1.2	Regelwerke.....	363
3.1.3	Planungsgrundlagen und Planungsergebnisse .....	366
3.1.4	Balisenplanung .....	367
<b>3.2</b>	<b>ETCS Level 2.....</b>	<b>370</b>
3.2.1	Grundsätze.....	370
3.2.2	Planungsvoraussetzungen .....	373
3.2.3	Datenpunktplanung .....	374
3.2.4	Planunterlagen.....	391
3.2.5	Kostenplanung .....	395
<b>3.3</b>	<b>Transitionen.....</b>	<b>396</b>
3.3.1	Grundlagen.....	396
3.3.2	Wechsel zwischen ESG und Level 2 .....	397
3.3.3	Transitionen zwischen Level 2 und PZB/LZB.....	399
<b>3.4</b>	<b>Digitale Planung.....</b>	<b>401</b>
3.4.1	Motivation.....	401
3.4.2	Entwicklung der Informationsmodelle.....	401
3.4.3	Das Projekt „PlanPro“ .....	402
3.4.4	Das Projekt „D3iP“ .....	404
3.4.5	Stand und Ausblick.....	404
<b>4</b>	<b>Zukünftige Entwicklungen .....</b>	<b>405</b>
<b>4.1</b>	<b>Strategie.....</b>	<b>405</b>
4.1.1	Ausgangssituation .....	405
4.1.2	Entwicklungsschwerpunkte aus Sicht der ERA .....	407
4.1.3	Europe's Rail.....	409

<b>4.2</b>	<b>Automatisches Fahren mit ETCS .....</b>	<b>414</b>
4.2.1	Grundlagen.....	414
4.2.2	Einbindung von ATO in ETCS.....	418
4.2.3	Status.....	421
4.2.4	ATO-Profile .....	423
4.2.5	Geschwindigkeitsberechnung .....	426
4.2.6	Darstellung im DMI.....	427
4.2.7	Umsetzung .....	429
<b>4.3</b>	<b>Betriebliche Umsetzung in Deutschland .....</b>	<b>431</b>
4.3.1	Anforderungsmanagement und Betriebliches Zielbild .....	431
4.3.2	Fahrdienstvorschrift für den Digitalen Bahnbetrieb.....	434
4.3.3	Betriebliche Regeln für ATO .....	442
<b>4.4</b>	<b>Zugintegrität.....</b>	<b>443</b>
4.4.1	Voraussetzungen für die Fahrtzulassung .....	443
4.4.2	TIMS aus Sicht von ETCS .....	444
4.4.3	Sicherheitsanforderungen .....	447
4.4.4	Techniken .....	448
<b>4.5</b>	<b>Alternative Ortungssysteme.....</b>	<b>450</b>
4.5.1	Ausgangslage .....	450
4.5.2	Rahmenbedingungen und Zulassung.....	451
4.5.3	Satellitenortung .....	453
4.5.4	Faseroptische Ortung .....	458
<b>4.6</b>	<b>Umsetzungsmöglichkeiten für ETCS Level 3 .....</b>	<b>461</b>
4.6.1	ETCS Level 3-Varianten .....	461
4.6.2	Motivation und erste Umsetzung von ETCS Hybrid Level 3 .....	463
4.6.3	Funktionsprinzip von ETCS Hybrid Level 3 .....	464
4.6.4	Technische Ausrüstung .....	469
4.6.5	Chancen und Herausforderungen von ETCS Hybrid Level 3.....	469
<b>4.7</b>	<b>Zugorientierte und geometrische Sicherungslogik.....</b>	<b>471</b>
4.7.1	Einleitung .....	471
4.7.2	Schutzfunktionen .....	472
4.7.3	Voraussetzungen .....	473
4.7.4	RCA-Schichtenarchitektur.....	474
4.7.5	Topologische Objekte und Abstraktionen .....	475

4.7.6	Schutzfunktionen in der Sicherungslogik .....	480
4.7.7	Migration .....	481
4.7.8	Zusammenfassung .....	482
<b>4.8</b>	<b>Technologieerprobung.....</b>	<b>483</b>
4.8.1	Erprobung im Digitalen Testfeld Bahn.....	483
4.8.2	Erprobungsgegenstand .....	484
<b>4.9</b>	<b>ETCS für schwach belastete Strecken .....</b>	<b>491</b>
4.9.1	Motivation.....	491
4.9.2	Systembeschreibung .....	491
4.9.3	Bewertung der Lösung .....	493
<b>Anhänge</b>	<b>.....</b>	<b>494</b>
<b>Quellenverzeichnis</b>	<b>.....</b>	<b>497</b>
<b>Autorenvitae</b>	<b>.....</b>	<b>514</b>
<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>.....</b>	<b>522</b>
<b>Inserentenverzeichnis</b>	<b>.....</b>	<b>532</b>

**Nutzungshinweis:**

Aus Gründen der Lesbarkeit und der Kompatibilität zu Regelwerken wird in diesem Werk bei Personen- und Funktionsbeschreibungen nur die männliche Form verwendet, auch wenn alle Geschlechter gemeint sind.

## Abkürzungsverzeichnis

<b>2G</b>	2. Generation der Mobilfunksysteme (GSM mit GPRS)
3DES	Triple-Data Encryption Standard
3G	3. Generation der Mobilfunksysteme (UMTS mit HSPA und HSPA+)
3GPP	3rd Generation Partnership Project
4G	4. Generation der Mobilfunksysteme (LTE und LTE-Advanced)
5G	5. Generation der Mobilfunksysteme
6G	6. Generation der Mobilfunksysteme
$\gamma$ -Zug	Gammazugmodell
$\lambda$ -Zug	Lambdazugmodell
<b>A-DP</b>	Ankündigungsdatenpunkt
A-GNSS	Assisted GNSS
ABS	Ausbaustrecke
AD	Automatic Driving
ADC	Assured Data Communication
ADF	Augmentation and Dissemination Function
AEG	Allgemeines Eisenbahngesetz
AFB	automatische Fahr- und Bremssteuerung
ALE	Autonome Lokomotivführer-Gewerkschaften Europas
ALLRAIL	Alliance of Passenger Rail New Entrants
AP	Ausführungsplanung
API	Application Programming Interface
APS	Advanced Protection System
AS	Allocation Section
AsBo	Assessment Body
ASP	Axle load Speed Profile
ATC	Automatic Train Control
ATO	Automatic Train Operation
ATO-OB	ATO on-board
ATO-TS	ATO trackside
ATP	Automatic Train Protection
ATS	Automatic Train Supervision
ATSM	Automatic Train Stopping Management
AVC	Assured Voice Communication
AWS	Automatic Warning System

<b>BAst</b>	Betriebliche Aufgabenstellung
BAV	Balisenanschlussverteiler
BBS	Balisenbefestigungssystem
BBU	Baseband Unit
BE	Belgien
BeSt	Bewertungsstelle
BEVA	Bahnenergieversorgungsanlagen
Bf	Bahnhof
BG	Balise Group, Balisengruppe
bGA	betriebliche Gefährdungsanalyse
BHS	Balisenhalterungssystem
BIM	Building Information Modelling
BIU	Break Interface Unit
Bkz	Blockkennzeichen
BKW	(LZB-)Bereichskennungswechsel
BL	Baseline
BLST	Betriebsleitstelle
BMM	Big Metal Masses
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BRA	Bremsart
Brh	Bremshundertstel
BRH	Einstellwert für Bremshundertstel
BSC	Base Station Controller
BSI	Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik
BSO	Betriebsstandort
BSS	Base Station System
BTM	Balise Transmission Module
BTS	Base Transceiver Station
BTSF	Lastenheft für betrieblich-technische Systemfunktionen
BTZ	Betrieblich-Technisches Zielbild
BÜ	Bahnübergang
BÜSA	Bahnübergangssicherungsanlage
BZ	Betriebszentrale
<b>CA</b>	Certificate Authority (auch: Certification Authority)
CAD	Computer-Aided Design
CAN	Controller Area Network
Cb	Kontroll-Bit
CBTC	Communications-Based Train Control

## Abkürzungsverzeichnis

---

CCM	Change Control Management
CCS	Control Command and Signalling (Leit- und Sicherungstechnik)
CDMA	Code Division Multiple Access
CENELEC	Comité Européen de Normalisation Électrotechnique
CER	Communauté européenne du rail
CES	Conditional Emergency Stop
CINEA	Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency
CLUG	Certifiable Localisation Unit with GNSS in the Railway Environment
CMD	Cold Movement Detection
CMP	Certificate Management Protocol
COMPASS	chinesisches GNSS Beidou
COTS	commercial off-the-shelves
CR	Change Request
CRC	Cyclic Redundancy Check
CRL	Certificate Revocation List
CS	Circuit Switched (Kommunikationsmodus)
CS	Cold-Standby (Zustand des STM)
CSM	Ceiling Speed Monitoring
CSM	Common Safety Methods
CSM-RA	Common Safety Methods – Risk Assessment
CSM-VO	Common Safety Methods-Verordnung 402/2013 über die gemeinsame Sicherheitsmethode für die Evaluierung und Bewertung von Risiken
CST	Common Safety Targets
CTA	Contiguous Track Area
CTMS	Capacity and Traffic Management System
CYSIS	Cyber-Security für sicherheitskritische Infrastrukturen
<b>D3iP</b>	durchgängige digitale Datenhaltung im LST-Planungsprozess
DA	Data-Available
DAK	Digitale Automatische Kupplung
DB	Deutsche Bahn
DC	Data Confidentiality
DE	Deutschland
DeBo	Designated Body
DIN	Deutsches Institut für Normung
DKS	Digitaler Knoten Stuttgart
DKW	Doppelkreuzungsweiche
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
DMI	Driver Machine Interface

DOS	Denial of Service
DP	Danger Point
DP	Datenpunkt
DPS	Drive Protection Section
DSB	Danske Statsbaner
DSD	Digitale Schiene Deutschland
DSTW	Digitales Stellwerk
DZSF	Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung
<b>E-GSM</b>	Extended GSM
E-UIC	Extended UIC GSM-R
EBA	Eisenbahn-Bundesamt
EBCL	Emergency Brake Confidence Level
EBD	Emergency Brake Deceleration Curve
EBI	Emergency Brake Intervention Curve
EBO	Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung
EBuLa	elektronischer Buchfahrplan und Langsamfahrstellen
ECC	Electronic Communications Committee
EdB	Eisenbahnen des Bundes
EDGE	Enhanced Datarates for GSM-Evolution
EDOR	ETCS data only radio
EDP	European Deployment Plan
EDV	elektronische Datenverarbeitung
EEA	Elektrische Energieanlagen
EfeS	EULYNX field element Subsystem
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay Service
EIBV	Eisenbahninfrastruktur-Benutzungsverordnung
EIGV	Eisenbahn-Inbetriebnahmegenehmigungsverordnung
EIM	European Rail Infrastructure Managers
EIRENE	European Integrated Radio Enhanced Network
EIU	Eisenbahninfrastrukturunternehmen
ELC	European Leaky Cable
eMLPP	Enhanced Multi-Level Precedence and Pre-emption
EMV	elektromagnetische Verträglichkeit
EN	Europäische Norm
ENIF	ERTMS National Integration Facility
EOA	End of Authority
EOLM	End of Loop Marker
EOM	End of Mission

## Abkürzungsverzeichnis

---

EOW	elektrisch ortsgestellte Weiche
EPC	Evolved Packet Core
EPTTOLA	European Passengers Train and Traction Operating Lessors' Association
ERA	European Union Agency for Railways
ERADIS	European Railway Agency Database of Interoperability and Safety
ERFA	European Rail Freight Association
ERfW	elektrische Rückfallweiche
ERJU	Europe's Rail Joint Undertaking
ERRI	European Railway Research Institute
ERTMS	European Rail Traffic Management System
ES	erhöhte Seitenbeschleunigung
Esb	Extra-Shaping-Bit
ESCG	ERTMS Security Core Group
ESG	ETCS signalgeführt
ESO	Eisenbahn-Signalordnung
ESTW	Elektronisches Stellwerk
ESTW-A	abgesetzter Bestandteil eines ESTW
ETA	eisenbahntechnische Ausrüstung
ETCS	European Train Control System
ETCS MT	ETCS Mobile Terminals
ETF	European Transport Workers' Federation
ETML	European Traffic Management Layer
ETRS89	Europäisches Terrestrisches Referenzsystem 1989
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
EU	Europäische Union
EUG	ERTMS Users Group
EULYNX	Organisation westeuropäischer Eisenbahninfrastrukturbetreiber zur Entwicklung und Bereitstellung einheitlicher Industriestandards für neue modulare Stellwerkstechnik
EVC	European Vital Computer
EVU	Eisenbahnverkehrsunternehmen
EWG	Europäische Wirtschaftsgemeinschaft
<b>FA</b>	Flagship Area
FB	Fixed Block
Fdl	Fahrdienstleiter
FDMA	Frequency Division Multiple Access Verfahren
FEDECRAIL	European Federation of Museum & Tourist Railways
FFFIS	Form Fit Functional Interface Specifications

FGV	Freigabeverantwortlicher
FIS	Functional Interface Specifications
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis
FOS	faseroptischer Sensor
FRMCS	Future Railway Mobile Communication System
FRS	Functional Requirement Specification
FS	Ferrovie dello Stato Italiane
FS	Full Supervision
FSK	Frequency Shift Keying
FSÜ	Fahrstraßenüberwachung
Fü	Fernüberwachung
FV	Fahrdienstvorschrift
FVdB	Fahrdienstvorschrift für den digitalen Bahnbetrieb
<b>GA</b>	Gefährdungsanalyse
GBAS	Ground Based Augmentation System
GCR	Group Call Register
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GLONASS	Global Navigation Satellite System
GluV	Genehmigung zum Inverkehrbringen und Verwenden
GNSS	Global Navigation Satellite System
GN	Geschwindigkeitsüberwachung für Neigetechnik
GOA	Grade of Automation
GPE	Geschwindigkeitsprüfeinrichtung
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GSL	geometrische Sicherungslogik
GSM	Global System for Mobile Communication
GSM-R	Global System for Mobile Communication – Rail(way)
GUI	Guidance Curve
<b>HAS</b>	High Accuracy Service
HiL	Hardware-in-the-Loop
HL3	ETCS Hybrid Level 3
HLR	Home Location Register
HOAI	Honorarordnung für Architekten und Ingenieure
Hp	Hauptsignal
HSM	Hardware Security Module
HTD	Hybrid Train Detection
HW	Hardware

## Abkürzungsverzeichnis

---

<b>I</b>	Indication Supervision Limit
IAC	Identification and Authentication Control
IACS	Industrielle Automatisierungs- und Steuerungssysteme
IAM	Identity Access Management
IBG	Inbetriebnahmegenehmigung
IBN	Inbetriebnahme
ICE	InterCityExpress
ID	Identifikator
IEC	International Electrotechnical Commission
IIM	Infrastructure Information Modelling
iLBS	integriertes Leit- und Bediensystem
INA	Induktive Sicherung anfahrender Züge (mittels PZB)
IndS	Indication Status
INEA	Innovation and Networks Executive Agency
INESS	Integrated European Signalling System
IntS	Intervention Status
IP	Internet Protocol
IPSec	Internet Protocol Security
IS	Isolation
ISMS	Informationssicherheitmanagementsystem
ISO	International Organization for Standardization
IT	Informationstechnologie
ITD	Integrated Technology Demonstrator
iUZ	integrierte Unterzentrale
<b>JRU</b>	Juridical Recording Unit
<b>K-KMC</b>	Inter KMC Key
KDC	Key Distribution Centre
KM	Key Management
KMAC	Authentication Key
KMC	Key Management Centre
KMG	EUG Key Management Group
KMS	Key Management System
KoRil	Konzernrichtlinie (der DB)
KRITIS	Kritische Infrastruktur
KSMAC	Session Key
KTB	Kabeltiefbau
KTRANS	Transport Key

<b>L0</b>	ETCS Level 0
L1	ETCS Level 1
L2	ETCS Level 2
L2-A2	ETCS Level 2 mit ATO GOA2
L2/NTC	Doppelausrüstung L2 und ein Klasse B-System
L2/PZB	Doppelausrüstung L2 und PZB
L2H	ETCS Level 2 hybrid
L2I	ETCS Level 2 mit TIMS
L2oS	ETCS Level 2 ohne Signale
L3	ETCS Level 3
LC	loose-coupled
LCTA	Linear Contiguous Track Area
LDA	Local Depending Addressing
LEU	Lineside Electronic Unit
LH	Lastenheft
LH ESG	Lastenheft Zugbeeinflussungssystem ETCS signalgeführt
LMB	Location Marker Board
LNTC	ETCS Level NTC
LOA	Limit of Authority
LOOMO	Loop Modem
LRBC	Limited Radio Block Centre
LRBG	Last Relevant Balise Group
LS	Limited Supervision
LSSMA	Lowest Supervised Speed within the Movement Authority
LST	Leit- und Sicherungstechnik
LTE	Long Term Evolution
LTM	Loop Transmission Module
LTO	Level Transition Order
LWL	Lichtwellenleiter
LZB	Linienförmige Zugbeeinflussung (bis 1993: Linienzugbeeinflussung)
 <b>MA</b>	 Movement Authority
MA LS	Fahrerlaubnis ohne Restriktionen in der Betriebsart LS
MAC	Message Authentication Code
MB	Moving Block
MCG	Mobile Communication Gateway
MCPTT	Mission Critical Push to Talk
MCx	Mission Critical Services
MDM	Maintenance and Data Management

## Abkürzungsverzeichnis

---

MGW	Media Gateway
MOB	Movable Object
MORANE	Mobile Oriented Radio Network
MP	Movement Permission
MR	Maintenance Release
MRSP	Most Restrictive Speed Profile
MS	Mobile Station
MSC	Mobile Switching Centre
MSC-S	MSC-Server
MuKa	ETCS Melde- und Kommandoschaltung
MVB	Multifunction Vehicle Bus
<b>NBN</b>	Nutzungsbedingungen Netz
NBS	Neubaustrecke
NE	Nichtbundeseigene Eisenbahn
NeuPro	Neuausrichtung der Produktionssteuerung
NGTC	Forschungsprojekt „Next Generation Train Control“
NIP	National Implementation Plan
NIS	Netzwerk- und Informationssicherheit
NIST	National Institute of Standards and Technology
NL	Non Leading
NMBG	Next Main Signal Balise Group
NMC	Network Management Centre
NoBo	Notified Body
NoS	Normal Status
NP	No Power
NRBC	Nachbar-RBC
NS	Nederlandse Spoorwegen
NSA	National Safety Authority
NSS	Network Switching System
NTC	National Train Control
NTP	Network Time Protocol
NTR	National Technical Rules
NTV	notifizierte technische Vorschriften
NV	National Value
<b>ÖBB</b>	Österreichische Bundesbahnen
OBU	On-board Unit
OCORA	Open CCS On-board Reference Architecture

OCSP	Online Certificate Status Protocol
OdLw	Ort des Levelwechsels
OL	Overlap
OLA	Oberleitungsanlagen
OMC	Operation and Maintenance Centre
ÖPV	öffentlicher Personenverkehr
ORBG	Other Reference Balise Group
ORD	On-board Recording Device
OS	On Sight
OSI	Open Systems Interconnection
OTIF	Organisation intergouvernementale pour les transports internationaux ferroviaires
OvS	Overspeed Status
<b>P</b>	Permitted Speed Supervision Limit
P-GSM	Primary GSM
PASP	Planning Area Speed Profile
PAV	PZB-Anschlussverteiler
PBD	Permitted Braking Distance
PBDSR	Entfernung bis zum Erreichen der PBD
PCU	Packet Control Unit
PDF	Portable Document Format
PKI	Public Key Infrastructure
PL	Polen
PlanPro	durchgängige elektronische Datenhaltung im ESTW-Planungsprozess
PlaZ	Plausibilitäts- und Zulässigkeitsprüfung
PMNO	Public Mobile Network Operator
POS	ETCS Ausrüstungsprojekt Paris – Ostfrankreich – Südwestdeutschland
PS	Packet Switched (Kommunikationsmodus)
PS	Passive Shunting (ETCS-Modus)
PSK	Pre-Shared-Key
PSV	Prüfsachverständiger
PT	Post Trip
PT 1	Planteil 1
PT 2	Planteil 2
PZB	Punktförmige Zugbeeinflussung
<b>QoS</b>	Quality of Service

<b>R-Vst</b>	Railway-Vermittlungsstelle
RA	Resource Availability
RA	Risikoanalyse
Rail2X	Rail-to-Everything-Kommunikation
RailSiTe	Railway Simulation and Testing
RAMS	Reliability, Availability, Maintainability, Safety
RAN	Radio Access Network
RAP	Roll Away Protection
RaSTA	Rail Safe Transport Application
RBC	Radio Block Centre
RCA	Reference CCS Architecture
RDD	Reference Documents Database
RDF	Restricted Data Flow
RE	Requirement Enhancements
REC	Railway Emergency Call (Bahnnotruf bei GSM-R)
REC	Railway Emergency Communication (Bahnnotruf bei FRMCS)
Rf	Rückfallweiche
RFC	Request for Comments
RFID	Radio Frequency Identification
Ril	Richtlinie der Deutschen Bahn
RINF	Registers of Infrastructure
RISC	Railway Interoperability and Safety Committee
RIU	Radio Infill Unit
RMP	Reverse Movement Protection
RMR	Railway Mobile Radio
RNE	RailNetEurope
RRH	Remote Radio Head
RRI	Route Related Information
RS	Regelseitenbeschleunigung
RS	Release Speed
RSEG	Rail Security Expert Group
RSM	Release Speed Monitoring
RSU	Road Site Units
RV	Reversing
<b>S2R JU</b>	Shift to Rail Joint Undertaking
SAC	sicherheitsbezogene Anwendungsbedingungen
SAHARA	Safe, Highly Available and Redundant
SATCOM	Satellitenkommunikationssystem

SAV	sicherheitsbezogene Anwendungsvorschriften
Sb	Scrambling-Bit
SB	Stand By
SBAS	Satellite Based Augmentation System
SBB	Schweizerische Bundesbahnen
SBD	Service Brake Deceleration Curve
SBI	Service Brake Intervention Curve
ScanMed	Scandinavian–Mediterranean
SCI	Standard Communication Interface
SCI-CC	Standard Communication Interface – Command Control
SCI-CMD	Standard Communication Interface – Command (TMS zu APS)
SCI-ILS	Standard Communication Interface – Interlocking
SCI-IO	Standard Communication Interface – Input/Output
SCI-LS	Standard Communication Interface – Light Signal
SCI-LX	Standard Communication Interface – Level Crossing
SCI-P	Standard Communication Interface – Point
SCI-RBC	Standard Communication Interface – Radio Block Centre
SCI-TDS	Standard Communication Interface – Track Detection System
SCMT	Sistema Controllo Marcia Treno
SCS	Subsystem – Communication System
SE	STM European
SektLL	Sektorleitlinie
SERA	Single European Railway Area
SF	System Failure
SFS KRM	Schnellfahrstrecke Köln – Rhein/Main
SGSN	Serving GPRS Support Node
SGV	Schienengüterverkehr
SH	Shunting
SI	System Integrity
SiBeBe	Sicherheitsbewertungsbericht
SiL	Software-in-the-Loop
SIL	Safety Integrity Level
SIM	Subscriber Identity Module
SIP	Session Initiation Protocol
SK	Schaltkasten
SL	Security Level
SL	Sleeping
SL-A	Security Level – Achieved
SL-C	Security Level – Capability

## Abkürzungsverzeichnis

---

SL-T	Security Level – Target
SLA	Service Level Agreement
SLC	super-loose-coupled
SLP	Schnellläuferprogramm
SM	Supervised Manoeuvre
SMB	Stop Marker Board
SMI	Standard Maintenance Interface
SMS	Safety Management System
SN	National System
SNCF	Société Nationale des Chemins de Fer français
SOC	Security Operations Centre
SoL	Safety of Life
SOLR	Single On-board Location Reference
SOM	Start of Mission
SPD	System Platform Demonstrator
SPFV	Schienenpersonenfernverkehr
SR	Staff Responsible
SR	System Requirements
SRAC	Safety Releated Application Conditions
SRD	Single Rules Database
SRS	System Requirement Specification
SSEM	Supervised Speed Envelope Management
SSP	Static Speed Profile
SSS	Shared Security Services
STM	Specific Transmission Module
STRIDE	Spoofing Identity – Tampering with Data – Repudiation – Information Disclosure – Denial of Service – Elevation of Privileges
Stw	Stellwerk
SV	Systemversion
SvL	Supervised Location
SW	Software
SWOC	Smart Wayside Object Controller
SysML	Systems Modeling Language
<b>TA</b>	Track Area
TC	tight-coupled
TC-RT	ETSI Technical Committee for Rail Telecommunications
TCMS	Train Control Management System
TCN	Train Control Network

TCO	Traction Cut Off
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
TCS	Traffic Control System
TD	Technology Demonstrator
TDMA	Time Division Multiple Access
TE	Track Edge
TEIV	Transeuropäische Eisenbahn-Interoperabilitätsverordnung
TEN	Trans-European Networks
TEN-T	Trans-European Networks for Traffic
TEN-V	Transeuropäisches Netz – Verkehr
TEP	Technologie- und Entwicklungsplan
TEP	Track Edge Point
TES	Track Edge Section
Tf	Triebfahrzeugführer
Tfz	Triebfahrzeug
THR	Tolerable Hazard Rate
TIM	Train Integrity Monitoring
TIMS	Train Integrity Monitoring System
TIU	Train Interface Unit
TK	Telekommunikationsanlagen
TLH	Teillistenheft
TLS	Transport Layer Security
TMS	Traffic Management System
TN	Track Node
TOBA	Telekommunikations-On-board-Architektur
TR	Trip
TR-DP	Transitionsdatenpunkt
TRE	Timely Response to Events
TRL	Technology Readiness Level (Technologie-Reifegrad)
TSI	Technische Spezifikation für die Interoperabilität
TSI CCS	TSI Control Command and Signalling
TSI LOC&PAS	TSI Locomotives and Passengers
TSM	Target Speed Monitoring
TSR	Temporary Speed Restriction
TTD	Trackside Train Detection
TTSM	Time Table Speed Management
TV	technische Vorschriften
TVM	Transmission Voie-Machine

## Abkürzungsverzeichnis

---

<b>UC</b>	Use Control
UDMP	Unauthorised Direction Movement Protection
UES	Unconditional Emergency Stop
ÜGR	Übergangsregelung
UIC	Union Internationale des Chemins de fer
UiG	unternehmensinterne Genehmigung
UIP	Union Internationale des Wagons Privés
UIRR	Union Internationale pour le Transport Combiné Rail-Route
UITP	Union Internationale des Transports Publics
UMTS	Universal Mobile Communications System
UN	Unfitted
UNIFE	Union des Industries Ferroviaires Européennes
UNISIG	Union Industry of Signalling
URA	Usage Restriction Area
URS	User Requirement Specification
ÜS	Überwachungssignal
USB	Universal Serial Bus
ÜS <sub>OE</sub>	optimierte Einschaltung mit Überwachungssignal
USV	unterbrechungsfreie Stromversorgung
ÜSW	Überwachungssignal-Wiederholer
UTC	koordinierte Weltzeit
UZ	Unterzentrale
 <b>VB</b>	 Virtual Block
VBC	Virtual Balise Cover
VBF	Virtual Block Function
VBR	Virtual Balise Reader
VBS	Voice Broadcast Service
VDE	Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik
VDE	Verkehrsprojekte Deutsche Einheit
VDV	Verband Deutscher Verkehrsunternehmen
VGCS	Voice Group Call Service
VLR	Visitor Location Register
VMZ	maximal zulässige Geschwindigkeit des Zugs
VSS	Virtual Sub Sections
VV BAU-STE	Verwaltungsvorschrift für die Bauaufsicht über Signal-, Telekommunikations- und Elektrotechnische Anlagen
VV IBG-F	Verwaltungsvorschrift für die Genehmigung der Inbetriebnahme von Eisenbahnfahrzeugen gemäß §§ 6ff. TEIV im Zuständigkeitsbereich des Eisenbahn-Bundesamtes

VV IBG-I	Verwaltungsvorschrift zur Anwendung der Verordnung über die Erteilung von Inbetriebnahmegenehmigungen für das Eisenbahnsystem (Eisenbahn-Inbetriebnahmegenehmigungsverordnung – EIGV) in Bezug auf die Teilsysteme Infrastruktur, Energie, streckenseitige Zugsteuerung, Zugsicherung und Signalgebung sowie für die übrige Eisenbahninfrastruktur
VV NTZ	Verwaltungsvorschrift „Neue Typzulassung von Signal-, Telekommunikations- und Elektrotechnischen Anlagen“
VzG	Verzeichnis der örtlich zulässigen Geschwindigkeiten
<b>W</b>	Warning Supervision Limit
WA	Warning Area
WaS	Warning Status
WLAN	Wireless Local Area Network
WLAN5	WLAN-Standard 802.11ac
WLANp	WLAN-Standard 802.11p
<b>XML</b>	Extensible Markup Language
<b>ZDS</b>	Zugdeckungssignal
ZE	Zielentfernung
ZIE	Zustimmung im Einzelfall
ZL	Zuglenkung
ZN	Zugnummernmeldeanlage
ZSTW	Zugorientiertes Stellwerk
ZVS	Zugvollständigkeitsüberwachung
ZZS	Zugsteuerung, Zugsicherung und Signalgebung (Leit- und Sicherungstechnik)

## Symbolverzeichnis

Die in diesem Buch verwendeten Symbole entstammen der „Signalschablone“, entwickelt mit Visio. Sie beinhaltet die wichtigsten Symbole für sicherungstechnische Lage- und Übersichtspläne gemäß DB-Richtlinie 819.9002; allerdings sind sie in der Größe etwas verkleinert und teilweise vereinfacht. Die Signalschablone von Ulrich Maschek ist lizenziert unter einer Creative Commons Namensnennung – Keine Bearbeitungen 4.0 International Lizenz (CC BY-ND 4.0). Sie kann kostenfrei heruntergeladen werden unter [signalschablone.maschexx.de](http://signalschablone.maschexx.de).

### 1 Signale

	Vorsignal
	Hauptsignal
	Mehrabschnittssignal
	Geschwindigkeitsanzeiger (Licht)
	Geschwindigkeitsanzeiger (Form)
	Geschwindigkeitsvoranzeiger (Licht)
	Geschwindigkeitsvoranzeiger (Form)
	Sperrsignal
	Rangierhalttafel
	Geschwindigkeits-Ankündesignal
	Geschwindigkeitssignal
	Kenn-/Zusatzlicht
	Haltetafel (H-Tafel)
	Zugdeckungssignal
	Bahnübergangsüberwachungssignal
	Blockkennzeichen (ETCS Location Marker Board)
	ETCS-Halt-Tafel (ETCS Stop Marker Board)

## 2 Weichen und Gleissperren

	Weiche, fernbedient oder elektrisch ortsbedient
	Doppelte Kreuzungsweiche, fernbedient oder elektrisch ortsbedient
	Gleissperre, fernbedient, Auswurfrichtung rechts

## 3 Ortung

	Radsensor (Achszählpunkt, richtungsselektiv)
	Radsensor für BÜ (richtungsselektiv)

## 4 Zugbeeinflussung

	PZB-Gleismagnet 500/1000/2000 Hz
	PZB-Gleismagnet 1000 und 2000 Hz
	PZB-Gleismagnet, ständig wirksam
	Balise (auch Datenpunkt), ungesteuert/gesteuert
	Balisengruppe (auch Datenpunkt), ungesteuert/gesteuert

## 5 Sonstiges

	Zug, Fahrtrichtung nach rechts
	Bahnsteig

# 1 ETCS nach europäischer Spezifikation

Zur Beschreibung der Anwendung von ETCS in Deutschland sollen zunächst die generischen Grundlagen des Systems auf Basis der Systemversion 2.1 erläutert werden. Zuerst werden Hintergründe und Ziele der Entwicklung eines europäischen Standards aufgezeigt sowie in den Stand der europäischen Harmonisierung eingeführt. Anschließend wird ETCS in seiner technischen Ausprägung (Architektur, Teilsysteme, Funktionen) vorgestellt. Betriebliche Funktionalitäten, Aspekte der Security sowie die Neuerungen der Baseline 4 komplettieren das Kapitel.

## 1.1 Motivation

Michael Dieter Kunze

Einleitend wird auf die Hintergründe für die Einführung des europäischen Eisenbahnverkehrsleitsystems (European Rail Traffic Management System – ERTMS) eingegangen. Ausgehend von den vorhandenen Problemen beim klassischen Verkehrsmanagement im Eisenbahnwesen werden die Notwendigkeit der Einführung und wesentliche Zielstellungen erläutert.

### 1.1.1 Harmonisierung der Eisenbahnverkehrssteuerung

#### 1.1.1.1 Aufbau und Struktur

Für die koordinierte Betriebsabwicklung werden bei allen Verkehrsträgern Systeme für Steuerung und Management des Verkehrs eingesetzt. Ohne moderne, in der Regel rechnergestützte Leittechnik wäre die zur Koordinierung und Steuerung komplexer Verkehrssysteme notwendige Informationsverarbeitung nicht umsetzbar.

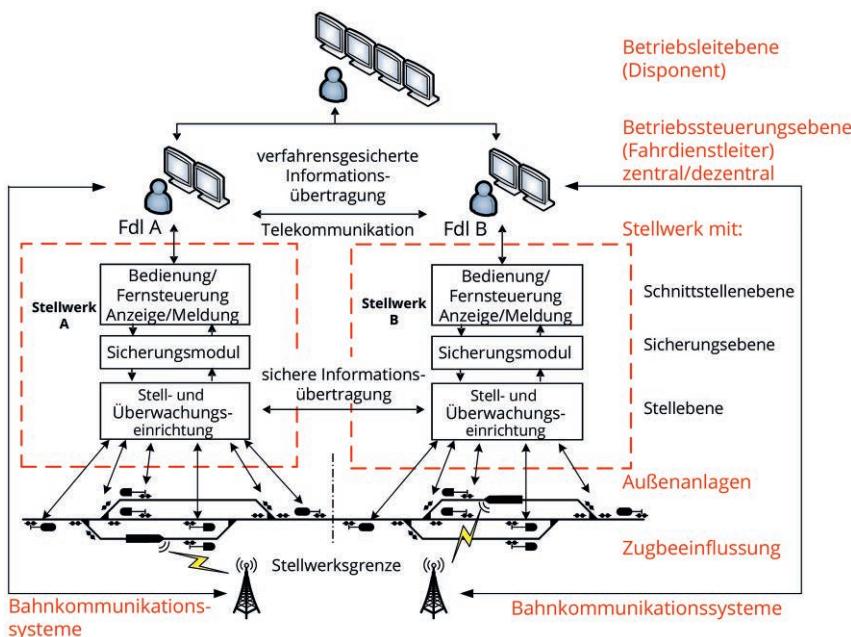


Abb. 1.1-1: Konventionelles System für die Steuerung des Eisenbahnbetriebs

Auch im Eisenbahnwesen sind solche Systeme unerlässlich. Hier gilt es, Fahrpläne einzuhalten, Anschlüsse zu gewährleisten, den Fahrweg einzustellen und Fahrzeugbewegungen zu sichern. Dazu werden unterschiedliche Komponenten innerhalb des Management- und Steuerungssystems benötigt. Der prinzipielle Aufbau und die Struktur der konventionellen Steuerung des Eisenbahnverkehrs ist in einer allgemeinen und vereinfachten Form in Abb. 1.1-1 dargestellt. Dabei lassen sich mehrere Ebenen voneinander unterscheiden, die im Folgenden vorgestellt werden.

### 1.1.1.2 Betriebsleitebene – Disponent

Die Aufgaben der Betriebsleitebene betreffen kurzfristige Fragen der Betriebsleitung wie Disposition von Zügen sowie vorrausschauende Konflikterkennung und -lösung. Diese Arbeit wird durch einen Disponenten für einen geografisch abgegrenzten Bereich übernommen.

Ursprünglich erfolgte die Überwachung des Bahnbetriebs in den Betriebsstellen. Durch die dezentrale Struktur der Fahrdienstleitung waren die Fahrdienstleiter (Fdl) auch für die Disposition der Züge in ihrem Bereich zuständig. Für größere Knotenbereiche und höher belastete Strecken ist aber eine betriebsstellenübergreifende Disposition erforderlich. Daher wurden später Betriebsleitstellen (BLST) eingerichtet (Abb. 1.1-2). Sie erhalten die Informationen über die aktuelle Betriebssituation auf den Strecken durch technische Meldeeinrichtungen (Zuglaufverfolgung) oder fernmündliche Meldungen der jeweiligen Betriebsstellen. Die Ausgabe von Anweisungen an die Fahrdienstleiter (z.B. Festlegung von Überholungen) erfolgt ebenfalls fernmündlich über die Bahnkommunikationssysteme. Disponenten führen selbst keine Bedienhandlungen an der Sicherungstechnik durch, sofern sie nicht gleichzeitig als Fahrdienstleiter für einen örtlichen Bereich zuständig sind.

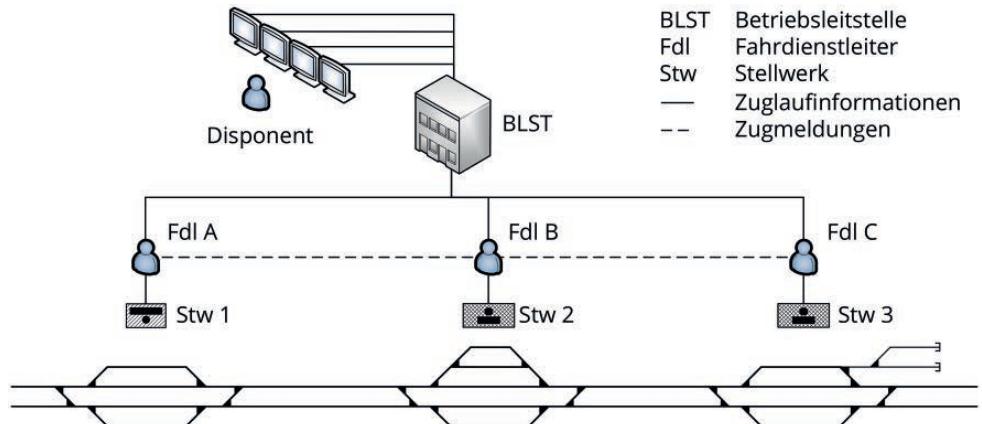


Abb. 1.1-2: Betriebsleitung und -steuerung mit technischer Unterstützung

Anfangs nahmen die Disponenten die übermittelten Daten handschriftlich auf und zeichneten die Zeit-Weg-Linien in einen Ist-Fahrplan ein. Heute ersetzen Zugnummernmeldeanlagen und die automatische Zuglaufverfolgung die Papierunterlagen. Fahrdienstleiter von Betriebsstellen, die keine derartigen Systeme besitzen, übermitteln die Zuglaufdaten nach manueller Eingabe EDV-gestützt an die Betriebsleitstelle. Disponenten arbeiten heute rechnergestützt mit mehreren Bildschirmen zur Darstellung von Bildfahrplänen, Streckenübersichten, Anschlussüberwachung und Ähnlichem (Abb. 1.1-3).

Die eingesetzten Methoden und Werkzeuge sind nicht bahnspezifisch. Entscheidungen dieser Ebene wirken sich nicht direkt auf die Sicherheit im Bahnbetrieb aus, daher muss die Leittechnik auch nicht die hohen Sicherheitsanforderungen der Sicherungstechnik erfüllen. Trotzdem muss im Sinne eines möglichst reibungslosen Betriebsablaufs eine hohe Verfügbarkeit gegeben sein.

Bisher wurden diese Systeme lediglich national beschafft und eingesetzt. Trotzdem wird eine internationale Zusammenarbeit auf dieser Ebene durch die weitgehende Vereinheitlichung wichtiger Fahrplanparameter über Vorgaben des Internationalen Eisenbahnverbands UIC (z.B. Gestaltung der Zugnummern) ermöglicht.



Abb. 1.1-3: Disponent am Arbeitsplatz

#### 1.1.1.3 Betriebssteuerungsebene – Fahrdienstleiter

In der Betriebssteuerungsebene befinden sich die Fahrdienstleiter, die die kurzfristige, operative Betriebsführung realisieren. Sie setzen die Vorgaben des Fahrplans und der Disponenten in Befehle und Bedienhandlungen um und sind verantwortlich für die Zulassung von Fahrten in ihrem Zuständigkeitsbereich. Je nach Anlagenart erfolgt die Betriebssteuerung von einer zentralen Stelle oder von mehreren dezentralen Stellen aus. Die Fahrdienstleiter benachbarter Stellwerke tauschen untereinander Informationen über nicht sichere Telekommunikation aus.

Die historisch ältere Form ist die dezentrale Betriebsführung mit einer Vielzahl örtlich besetzter Betriebsstellen. Durch Fortschritte in der Automatisierungs- und Stellwerkstechnik wurde die Betriebsführung von einer zentralen Stelle aus ermöglicht (Fernsteuerung). Dieses Konzept wird heute auch bei den Betriebszentralen (BZ) und zukünftig bei den Bedienstandorten (BSO) der DB InfraGO umgesetzt. Dabei werden die örtlich besetzten durch unbesetzte Stellwerke (Unterzentralen – UZ, bzw. integrierte Unterzentralen – iUZ) ersetzt, die von der Betriebszentrale aus gesteuert werden und über die abgesetzten Bestandteile der elektronischen Stellwerke (ESTW-A) die Feldelemente anbinden (Abb. 1.1-4).

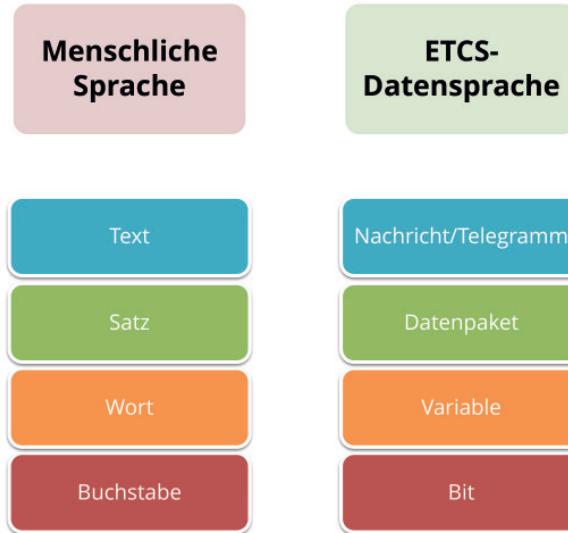


Abb. 1.5-8: Vergleich von menschlicher und ETCS-Sprache

Durch diese Gestaltung ist die Datenstruktur zwar flexibel, es müssen aber auch einheitliche Vorgaben für die Bestandteile festgelegt werden, damit ETCS tatsächlich interoperabel sein kann.

Bits bilden die physikalische Grundlage der ETCS-Datensprache. Mit ihnen lassen sich durch Kodierung konkrete Werte den jeweiligen Variablen zuordnen. Die Variable bildet dann die kleinste funktionale Einheit, die eine Information über einen bestimmten Sachverhalt (z. B. Geschwindigkeit, Entfernung etc.) enthält. Dabei bleiben Variablenbezeichnungen immer gleich, nur die Werte sind veränderlich. Beispielsweise enthält die Variable *L\_TRAIN* den Wert für die Länge eines Zugs, wobei das erste Zeichen die Art der Variable definiert (Tab. 1.5-2, hier: L für „length“ – Länge). Eine Auflistung und Erläuterung aller Variablen enthält [SUB026] Kapitel 7.

Präfix der Variable	Bedeutung
A_	Beschleunigung/Verzögerung
D_	Entfernung
G_	Gradiente
L_	Länge
M_	Verschiedenes
N_	Nummer
NC_	Nummer zur Klassifizierung
NID_	ID-Nummer
Q_	Kennzeichner
T_	Zeit/Datum
V_	Geschwindigkeit
X_	Text

Tab. 1.5-2: Variablen-Präfixe und deren Bedeutung

Als Datenpaket wird eine Struktur mehrerer Variablen bezeichnet, die in einer definierten Folge zusammengefasst wurden. Solch ein Datenpaket besteht immer auch aus einem Paketkopf, der wichtige Informationen enthält (Abb. 1.5-9):

1. ID des Pakets
2. Geltungsrichtung bei Nachrichten zum Fahrzeug
3. Länge des Datenpakets
4. Skalierungsinformation für Distanzangaben

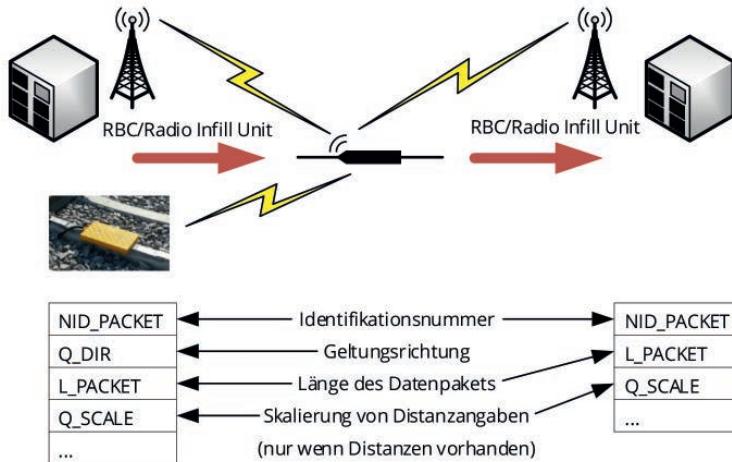


Abb. 1.5-9: Inhalte des Paketkopfs von Datenpaketen für verschiedene Senderichtungen

Bei Eurobalisen wird die aus Nachrichtenkopf und Datenpaketen bestehende übermittelte Information einer Balise Telegramm genannt. Die übermittelte Information einer Balisengruppe besteht aus einem oder mehreren Telegrammen und wird Nachricht genannt. Ein Telegrammkopf hat dabei eine vorgegebene Struktur, die in Tab. 1.5-3 dargestellt ist.

Feld Nr.	Variable	Länge [bit]	Erläuterung
1	Q_UPDOWN	1	Richtung der Information: down-link (0), up-link (1)
2	M_VERSION	7	ERTMS/ETCS-Systemversion
3	Q_MEDIA	1	Medientyp: Balise (0), Loop (1)
4	N_PIG	3	Position in der Balisengruppe
5	N_TOTAL	3	Anzahl der Balisen in der Gruppe
6	M_DUP	2	Angabe, ob die Balise ein Duplikat einer anderen Balise ist
7	M_MCOUNT	8	Nachrichtenzähler zur Erkennung von Wechseln des Dateninhalts während der Überfahrt einer Balisengruppe
8	NID_C	10	Land/Region
9	NID_BG	14	ID der Balisengruppe
10	Q_LINK	1	Kennzeichnung der Balisengruppe als verkettet (1) oder nicht verkettet (0)
	Information	variabel	Datenpakete; abschließend Paket 255

Tab. 1.5-3: Aufbau eines Balisen-Telegrammkopfs

In Abb. 1.10-5 sind die fahrzeugseitigen Einflussgrößen (siehe Abschnitt 1.10.2.1) im blauen Bereich dargestellt. Infrastrukturseitige Einflussgrößen (siehe Abschnitt 1.10.2.2) sind orange gekennzeichnet. Sie werden im European Vital Computer (EVC, Abb. 1.10-5, Mitte) bei den Berechnungen für die Geschwindigkeits- und Entfernungsüberwachung verarbeitet (siehe Abschnitt 1.10.2.3).

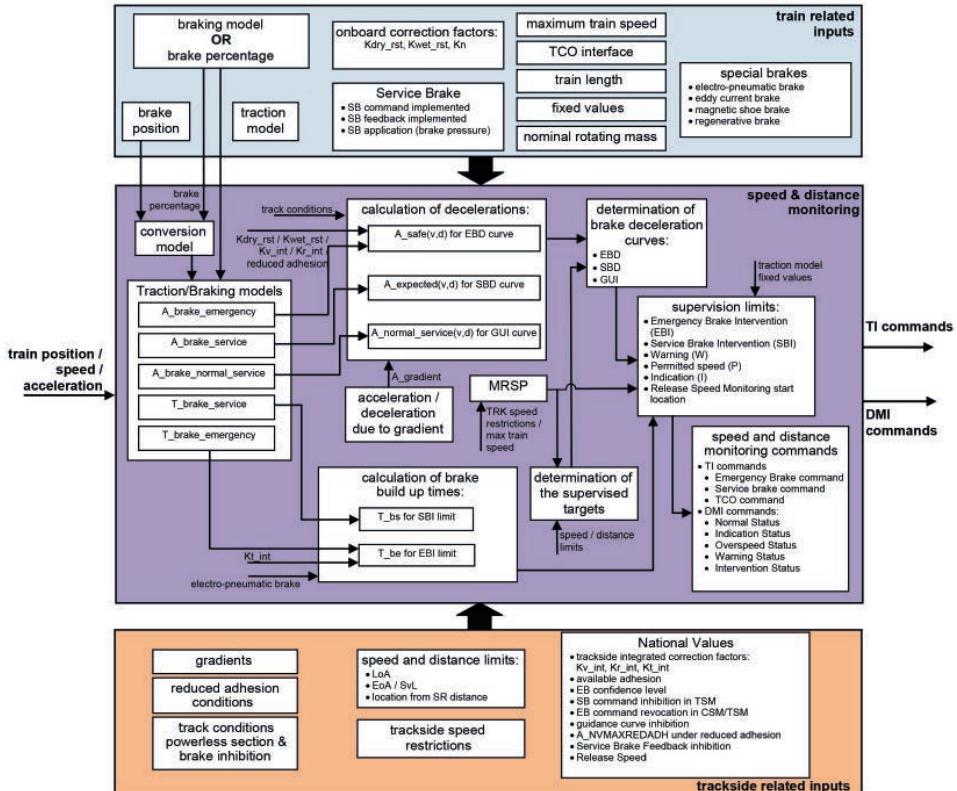


Abb. 1.10-5: Berechnung der Überwachungsfunktionen im EVC ([SUB026] Kapitel 3)

### 1.10.2.1 Fahrzeugseitige Einflussgrößen

Nur mit den bekannten Eigenschaften der Fahrzeuge können realistische Bremswege und somit der Ort für den notwendigen Bremsbeginn berechnet werden, um das Überfahren von maßgebenden Gefahrstellen oder Durchrutschwegen zu vermeiden (siehe auch [Feh18]).

### Antriebs- und Bremsmodell

Ein wesentlicher Bestandteil zur Berechnung von Bremskurven ist ein Modell zur Beschreibung von Beschleunigungen und Verzögerungen (Abb. 1.10-6) durch die Abbildung einer Verzögerungszeit  $T_{traction\_cut\_off}$  zwischen Abschaltkommando TCO des Antriebs (Zeitpunkt  $t_0$ ) und dem garantierten Abschalten der Antriebsbeschleunigung (Zeitpunkt  $t_{tc,1}$ ). Für die Zeitdauer von  $T_{traction\_cut\_off}$  wird die geschätzte Beschleunigung des Fahrzeugs (estimated acceleration) zur Berechnung genutzt. Im ETCS-Fahrzeuggerät ist hinterlegt, ob eine TCO-Schnittstelle zur automatischen Abschaltung des Antriebs vorhanden ist und über die TIU angesteuert wird.

Außerdem wird ein Bremsaufbau durch Bremsaufbauzeiten in die Berechnungen einbezogen, sodass die Bremsverzögerung  $A_{brake}$  nicht unmittelbar mit Bremseingriff wirksam wird. Die Bestandteile der Modellierung sind:

- die Berücksichtigung einer Totzeit  $T_{brake\_react}$  zwischen Bremsansteuerung zum Zeitpunkt  $t_{b,0}$  und dem Beginn des Aufbaus einer Verzögerung zum Zeitpunkt  $t_{b,1}$
- die Verwendung einer Zeit für den Bremskraftaufbau  $T_{brake\_increase}$  zwischen Zeitpunkt  $t_{b,1}$  und dem Erreichen von 95 % der Bremskraft zum Zeitpunkt  $t_{b,2}$
- Abbildung der äquivalenten Bremsaufbauzeit  $T_{brake\_build\_up}$  als Stufenfunktion zwischen Zeitpunkt  $t_{b,0}$  und Zeitpunkt  $t_{b,3}$ , mit

$$t_{b,3} = t_{b,1} + \frac{t_{b,2} - t_{b,1}}{2} \quad (1.10-1)$$

$$T_{brake\_build\_up} = T_{brake\_react} + 0,5 \cdot T_{brake\_increase} \quad (1.10-2)$$

Das Modell wird für die Berechnung der Schnellbremsaufbauzeit  $T_{brake\_emergency}$  und der Vollbremsaufbauzeit  $T_{brake\_service}$  genutzt (siehe Abschnitt 1.10.2.3). Für jede Kombination von verschiedenen Bremstypen (z. B. Magnetschienenbremse und generatorische Bremse) müssen sich unterschiedliche Aufbauzeiten definieren lassen ([SUB026] Kapitel 3.13.2.2.3.2).

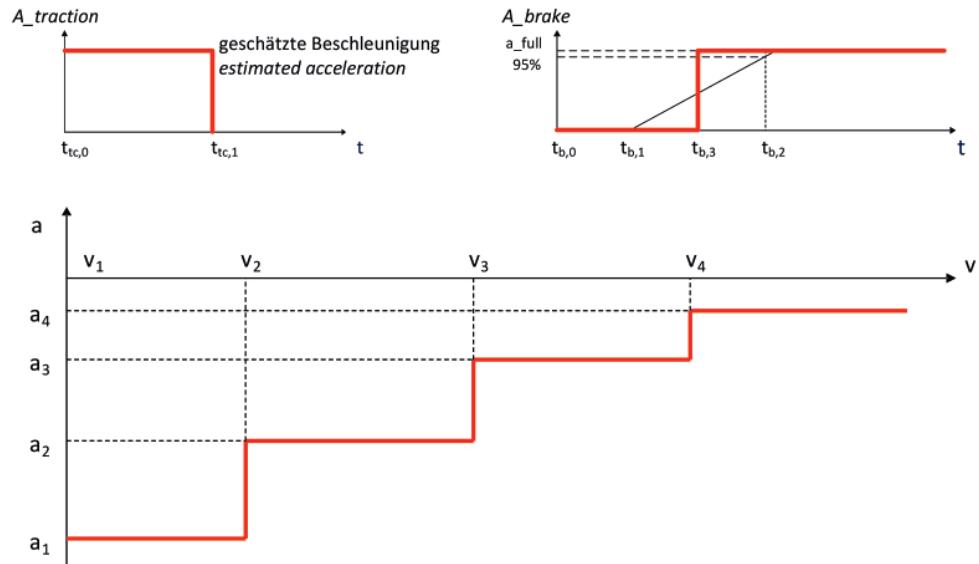


Abb. 1.10-6: Einflüsse im ETCS-Beschleunigungsmodell

Des Weiteren wird die mögliche Bremsverzögerung durch eine geschwindigkeitsabhängige Stufenfunktion  $a(v)$  mit maximal sieben Stufen abgebildet (Abb. 1.10-6). Die Stufenfunktion wird für die Abbildung der nominalen Schnellbremsverzögerung  $A_{brake\_emergency}(V)$ , der Vollbremsverzögerung  $A_{brake\_service}(V)$  und der Betriebsbremsverzögerung  $A_{brake\_normal\_service}(V)$  genutzt (siehe Abschnitt 1.10.2.3). Auch diese können individuell für jede Kombination von Bremstypen hinterlegt werden.

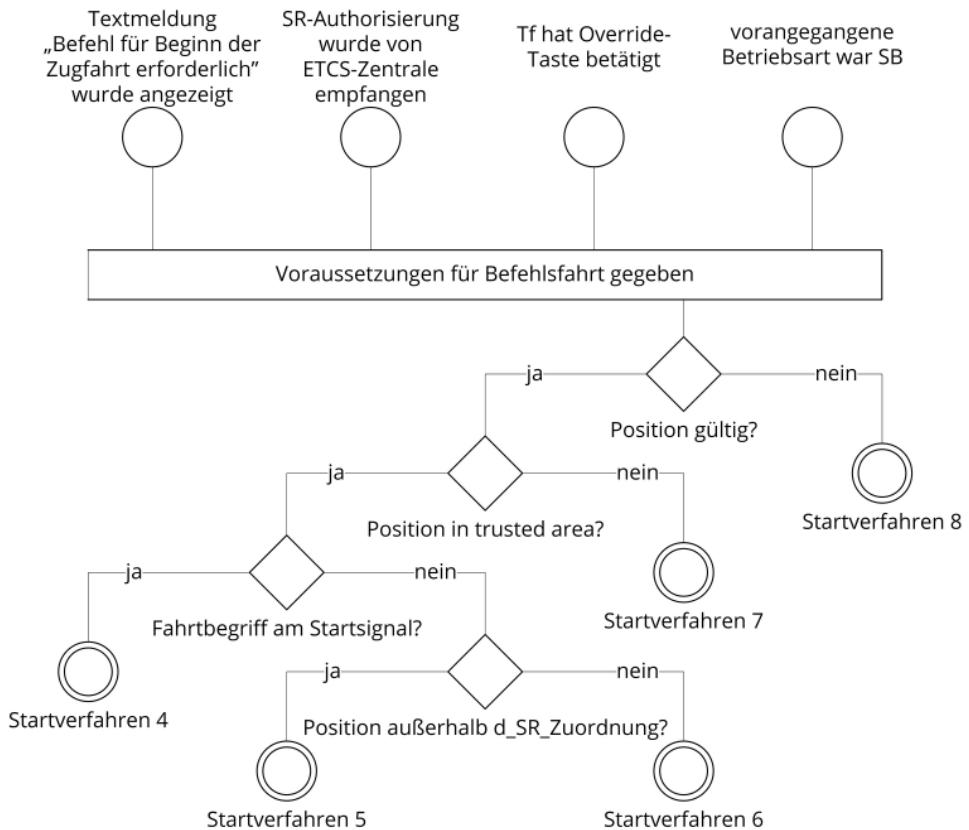


Abb. 2.4-10: Entscheidungsdiagramm für das Verfahren „Start mit Befehl“

#### Startverfahren 4

Da beim Startverfahren 4 alle Voraussetzungen für eine Fahrt in FS gegeben sind, ist trotz aktiviertem Override EOA keine Fahrt in der Betriebsart SR notwendig. Das Fahrzeug erhält aufgrund seiner gültigen sowie vertrauenswürdigen Position eine FS-Fahrerlaubnis mit einer maximalen Geschwindigkeit, die der Höchstgeschwindigkeit einer (signalgeführten) Befehlsfahrt entspricht. Diese beträgt 40 km/h [DB408] im anschließenden Weichenbereich gemäß [DB301] und anschließend 160 km/h bis zur nächsten, durch Signal Ne 14 gekennzeichneten Ganzblockgrenze [BTSF3]. Wird der Datenpunkt am Startsignal überfahren, erhält das Fahrzeug eine FS-Fahrerlaubnis mit Berücksichtigung der Streckeneigenschaften.

#### Startverfahren 5

Meldet das Fahrzeug eine gültige und vertrauenswürdige Position und das Startsignal zeigt noch keinen Fahrbegriff, ist die Entfernung des Fahrzeugs zum Startsignal von Bedeutung für die weitere Verfahrensweise. Steht das Fahrzeug **mehr als 400 m** vor dem Startsignal ( $d_{SR\_Zuordnung}$ ), erhält es ebenfalls eine FS-Fahrerlaubnis mit einer maximalen Geschwindigkeit von 160 km/h, die am Startsignal endet. So kann ein zügiges Aufrücken zum Signal ermöglicht werden.

## Startverfahren 6

Das Startverfahren 6 findet unter ähnlichen Bedingungen wie Verfahren 5 statt, allerdings steht das Fahrzeug **weniger als 400 m** (*d\_SR\_Zuordnung*) vom Startsignal entfernt. In dem Fall kann keine Fahrerlaubnis durch die ETCS-Zentrale erteilt werden. Eine Fahrt ist nur in der Betriebsart SR und mit maximal 40 km/h zulässig, um an das Startsignal vorzurücken. Erst nach Signalisierung eines Fahrtbegriffs kann eine Weiterfahrt erfolgen, was dann dem Startverfahren 4 entspricht.

## Startverfahren 7

Das Fahrzeug meldet eine gültige Position, die allerdings nicht als vertrauenswürdig bewertet wird, da sich das Fahrzeug nicht in einer „trusted area“ befindet. Da die Fahrzeugposition nicht sicher zugeordnet werden kann, darf auch keine Fahrerlaubnis gesendet werden. Daher ist nur eine Fahrt in SR mit einer maximalen Geschwindigkeit von 40 km/h zulässig.

## Startverfahren 8

Meldet das Fahrzeug keine gültige Position, ist nur eine Befehlsfahrt in Betriebsart SR mit maximal 40 km/h möglich. Erst nach Überfahrt eines Datenpunkts mit Ortungsfunktion und Zuordnung als LRBG kann eine Zuordnung der Position geschehen und eine Fahrerlaubnis generiert werden.

### 2.4.6 Durchführen einer Fahrt

#### 2.4.6.1 Verlängerung der Fahrerlaubnis

Um die Fahrt behinderungsfrei fortzusetzen, muss die übersendete Fahrerlaubnis regelmäßig verlängert werden. Das geschieht durch Übertragung von Paket 15, das die notwendigen Parameter enthält. Bei einer Fahrerlaubnisverlängerung ist es notwendig, dass vor dem Senden von Paket 15 alle Informationen über den bevorstehenden Fahrweg vorliegen und auf dem aktuellen Stand sind, um bei eventuellem Ausfall der Funkverbindung keine Informationslücken entstehen zu lassen. In der Regel werden die benötigten Informationen in der Fahrerlaubnis integriert oder vorher durch ein entsprechendes Paket übertragen. Hierbei sind besonders Informationen über temporäre Langsamfahrstellen, Streckeneigenschaften und Textmeldungen zu berücksichtigen.

Bevor eine neue Fahrerlaubnis gesendet werden darf, muss die ETCS-Zentrale prüfen, ob bereits ein anderes Fahrzeug eine Fahrerlaubnis in diesen Bereich erhalten hat. Weiterhin sind alle dem vorgesehenen Fahrweg zugeordneten Signalbegriffe und Weichenlagen auf Korrektheit zu prüfen.

#### 2.4.6.2 Flankenschutz

Eine grundlegende Schutzfunktion ist der Flankenschutz, der das Eindringen feindlicher Fahrten in den freigegebenen Fahrweg an Fahrwegverzweigungen verhindern soll. Dabei wird zwischen mittelbarem Flankenschutz durch organisatorische Regelungen und unmittelbarem Flankenschutz durch technische Maßnahmen unterschieden. Letztgenannter unterscheidet sich in den direkt wirkenden (Flankenschutzweiche oder Gleissperre) und den indirekt wirkenden Flankenschutz (Halt zeigendes Signal). Halt zeigende Signale werden betrieblich auch als Lichtschutz bezeichnet. [Mas22]

Der direkt wirkende Flankenschutz bei L2oS wird analog zu anderen Systemen realisiert und bedarf daher unter ETCS keiner besonderen Betrachtung. Gleiches gilt für Abstellverbote (mit-

## 3.2 ETCS Level 2

Richard Kahl

Die Funktionen von ETCS Level 2 wurden bereits in Abschnitt 2.4 beschrieben. Im folgenden Abschnitt werden Schwerpunkte der planerischen Umsetzung vorgestellt, wie sie nach [DB1344] vorgesehen sind. An dieser Stelle sei noch einmal darauf hingewiesen, dass für das Planungsregelwerk für ETCS (siehe Abschnitt 3.1) zwar aktuell eine freigegebene Version vorliegt, sich dieses aber in vielen Einzelheiten noch in der Erstellung bzw. Überarbeitung befindet und zukünftig noch inhaltliche Änderungen zu erwarten sind. Weiterhin stellt der nachfolgende Abschnitt keine vollständige Darstellung aller, sondern nur eine Auswahl der bedeutendsten Planungsregeln für L2 dar.

### 3.2.1 Grundsätze

#### 3.2.1.1 Begriffe

##### Ein- und Ausstieg

Der Einstieg wurde ausführlich in Abschnitt 2.4.4 beschrieben und bezeichnet den Beginn des L2-Ausrüstungsbereichs. Dem entgegen steht der Ausstieg, der das Ende des Ausrüstungsbereichs beschreibt (siehe Abschnitt 2.4.7). Hier ist jeweils ein Levelwechsel vorzusehen. Das Ein- bzw. Ausstiegssignal markiert dabei in der Regel die Ausrüstungsgrenze und ist entsprechend zu berücksichtigen. Die planerischen Vorgaben werden in Abschnitt 3.3.3 erläutert.

##### Datenpunkt

Die Bezeichnung Datenpunkt (DP) (siehe Abschnitt 2.4.2.1) gilt für Einzelbalisen und Balisengruppen gleichermaßen. Die Bezeichnung der in einem Datenpunkt enthaltenen Datenpunkttypen erfolgt durch Zahlen (z.B. Datenpunkt Typ 20) und einer zusätzlichen Angabe der Wirkrichtung mit einer spitzen Klammer. Eine Auflistung aller nach [DB1344] möglichen Datenpunkttypen enthält Anhang 2. Datenpunkttypen für L2 können miteinander kombiniert und in einem Datenpunkt hinterlegt werden, wenn diese am gleichen Ort vorzusehen sind. In den nachfolgenden Abschnitten wird die Planung von Datenpunkttypen vorgestellt.

##### Signal

In den folgenden Ausführungen werden

- Hauptsignale,
- alleinstehende ETCS-Halt-Tafeln,
- Blockkennzeichen und
- Sperrsignale (sofern an diesen Zugfahrten beginnen oder enden)

vereinfacht mit dem Begriff Signal bezeichnet. Der jeweilige Signalstandort ist üblicherweise der Stellwerksplanung zu entnehmen. Vorsignale werden in der Regel unter L2 nicht berücksichtigt.

## ETCS-Gefahrpunkt

Der ETCS-Gefahrpunkt ist die maßgebende Gefahrstelle und beschreibt den Punkt in der Infrastruktur, an dem es nach dem Überfahren des EOA zuerst zu einer Gefährdung (meist Zusammenstoß) kommen kann. Nach [DB1344] sind darunter

- Grenzzeichen bzw. Spitzen von Weichen,
- Zugschluss oder –spitze eines am gewöhnlichen Halteplatz stehenden Zugs,
- Rangier- und Schutzsignale der Gegenrichtung und
- Gefahrstellen hinter Deckungssignalen

zu verstehen. Der ETCS-Gefahrpunkt wird zur Dimensionierung verschiedener DP herangezogen.

### 3.2.1.2 Variablen

#### Mindestabstände an Datenpunkten

Zwei aufeinanderfolgende Balisen müssen einen Mindestabstand zueinander einhalten, damit das Fahrzeuggerät beide unterscheiden kann und kein Lesefehler auftritt. Der Abstand zwischen der letzten Baise eines Datenpunkts und der ersten Baise des nachfolgenden Datenpunkts wird als  $d_{Min-DP}$  bezeichnet. Dieser hängt von der infrastrukturell zulässigen Geschwindigkeit ( $v_{max}$ ) ab und berechnet sich wie folgt:

$$d_{Min-DP} = 2,6 \text{ m} + 0,2 \text{ s} \cdot v_{max} \quad (3.2-1)$$

Für den DP vom Typ 28 und 39 gelten aufgrund der besonderen Bedingungen bei der Verlegung gesonderte Abstände (siehe Abschnitt 3.2.3.2). Hierbei werden die in  $d_{Min-DP}$  enthaltenen Reserven genutzt.

Weiterhin muss an Balisen ein Mindestabstand von 1,4 m zu einer Balisenantenne sichergestellt werden, wenn diese **nicht** im vorgesehenen Fahrweg des Fahrzeugs liegt. Dies kann beispielsweise an Weichenverbindungen auftreten (Abb. 3.2-1, a)). An Balisen, die durch eine Antenne angeregt werden, muss ein Mindestabstand von 3 m zu einer anderen Balisenantenne sichergestellt werden, um eine gegenseitige Beeinflussung zu vermeiden (Abb. 3.2-1, b)). Einen solchen Anwendungsfall stellen beispielsweise parallel verlaufende Gleise dar.

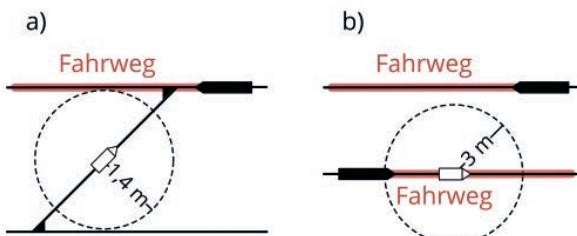


Abb. 3.2-1: Mindestabstände zwischen Balise und Balisenantenne nach [DB1344]

Weiterhin sind für Balisen innerhalb eines Datenpunkts ebenfalls definierte Abstände vorzusehen. Diese müssen mindestens 3 m und maximal 12 m betragen; dabei gelten 3 m als Standard.

Auch zu Ein- bzw. Ausschaltschleifen ist ein Mindestabstand von 3 m einzuhalten, um eine Beeinflussung der Balisentelegramme zu vermeiden. Erforderliche Mindestabstände zu großen Metallteilen thematisiert Abschnitt 3.2.3.3.

## 4.7.4 RCA-Schichtenarchitektur

Wesentliches Ergebnis der europäischen Standardisierungsbemühungen der Eisenbahninfrastrukturbetreiber im Rahmen von EUG und EULYNX Reference CCS Architecture (RCA) [RCA10] war die Definition einer Referenzarchitektur für zukünftige CCS-Systeme im europäischen Kontext.

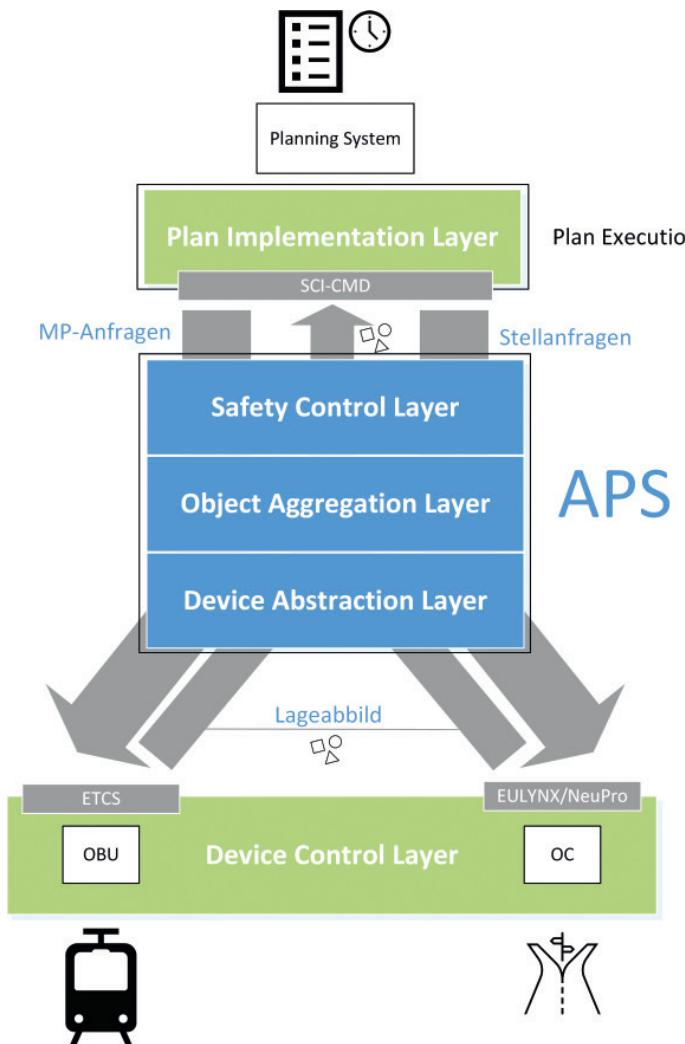


Abb. 4.7-1: APS in der RCA-Referenzarchitektur

Vereinfachend werden in Abb. 4.7-1 nur die drei wesentlichen Schnittstellen von APS dargestellt:

1. Über die neu zu definierende SCI-CMD (Standard Communication Interface – Command: TMS zu APS) werden vom TMS (Planning System) einerseits Anforderungen zum Stellen beweglicher Fahrwegelemente entgegengenommen, durch APS geprüft und bei erfolgreicher Prüfung über EULYNX-/NeuPro-Schnittstellen (z. B. SCI-P) zu den Object Controllern der Fahrwegelemente übertragen.
2. Andererseits werden Anfragen zur Erteilung von MP vom TMS erhalten, die ebenfalls durch APS auf Zulässigkeit geprüft werden und im Erfolgsfall zur Bildung entsprechender ETCS-Movement Authoritys führen, die über ETCS-Schnittstellen zum Fahrzeug übertragen werden.
3. In die Gegenrichtung wird ein Lageabbild sowohl über Fahrzeuge als auch stellbare Fahrwegelemente sowie Gleisfreimeldezustände übertragen, sodass das TMS jederzeit die richtigen dispositiven Entscheidungen treffen kann.

Nicht dargestellt sind Wartungs- und Diagnoseschnittstellen sowie Schnittstellen zu Nachbarsystemen. Schlüsselement der Architektur ist der Aufbau in Schichten:

- Spezifika zu ETCS und Fahrwegelementen in APS sind im Device Abstraction Layer gekapselt; entsprechend sind etwaige Anpassungen nur in dieser Schicht notwendig.
- Der Object Aggregation Layer hat hauptsächlich den Zweck, Information über Fahrzeugpositionen aus verschiedenen Quellen zu einem **Movable Object** (siehe Abschnitt 4.7.5.2) zu aggregieren.
- Der Safety Control Layer schließlich trifft ausschließlich sicherheitsrelevante Entscheidungen auf Basis von abstrakten Objekten (siehe Abschnitt 4.7.5.2), überwacht die Einhaltung zu gesicherter Bedingungen und ist strikt minimal gehalten.

## 4.7.5 Topologische Objekte und Abstraktionen

### 4.7.5.1 Topologische Objekte

#### Knoten-Kanten-Modell und Gleiseigenschaften

Um eine GSL einzuführen, wird zunächst ein Knoten-Kanten-Modell benutzt, das die eigentliche Topologie abbildet (Tab. 4.7-1). Der Lageplan aus Abb. 4.7-2 würde, ohne Fahrzeuge und begrenzende Nachbarknoten, wie in Abb. 4.7-3 dargestellt.

Element	Erläuterung
Track Node (TN)	Punkt der Topologie, an dem eine Gleisverzweigung auftritt oder der die Topologie begrenzt.
Track Edge (TE)	Verbindung genau zweier Track Nodes. Eine TE hat insbesondere eine Länge.

Tab. 4.7-1: Knoten und Kanten

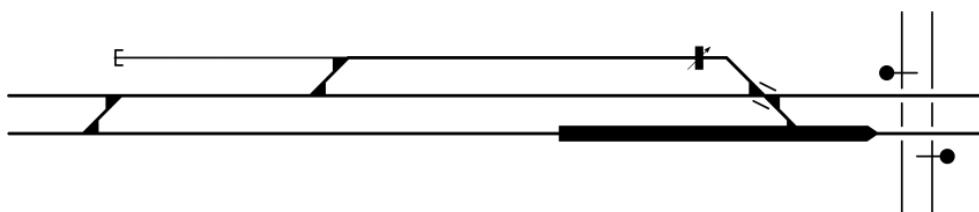


Abb. 4.7-2: Beispielhafter Lageplan

## Die Herausgeber

### Prof. Dr.-Ing. Jochen Trinckau



Nach dem Studium des Verkehringenieurwesens an der Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List“ in Dresden bekleidete er seit 1979 verschiedene Positionen in der Wissenschaft, bei einem Bahnunternehmen, in der Bahnindustrie und in bahnaffinen Ingenieurbüros. Er promovierte 1984 und wurde 1998 als Professor für Verkehrssicherungstechnik an die TU Dresden berufen. Mit seinen vielfältigen Erfahrungen als System- und Software-Entwickler, Planer, Dozent, Gutachter und Unternehmer gründete er im Jahr 2007 das CERSS Kompetenzzentrum Bahnsicherungstechnik. Ungezählte Absolventen haben ihre Abschlussarbeiten bei ihm verteidigt. Bis-her 21 Doktoranden hat er bis zur Promotion begleitet; einige weitere streben unter seiner Betreuung ein erfolgreiches Verfahren an. In vielen Fachbeiträgen in Zeitschriften, Vorträgen auf Fachtagungen und als Mitautor von Standardwerken hat er über Stand und Entwicklung von Stellwerks-, Bahnübergangs- und Zugbeeinflussungsbzw. Zugsicherungstechnik berichtet. In den Jahren 2011 bis 2019 hat er als Systemgutachter und bis 2023 als anerkannter Planprüfer wesentlich zur Einführung von ETCS in Deutschland beigetragen. Nach Übergabe seiner Führungsverantwortung 2022 ist er als Gutachter, Initiator und Ratgeber fachlich aktiv.

### PD Dr.-Ing. habil. Ulrich Maschek (EURAIL-ING)



Nach einer Lehre zum Elektrosignalmechaniker mit Abitur bei der Deutschen Reichsbahn studierte er Elektrotechnik an der Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List“/TU Dresden mit dem Studienschwerpunkt Verkehrssicherungstechnik. Der Berufseinstieg begann 1996 als LST-Planungsingenieur. Ab 1999 war er wissenschaftlicher Mitarbeiter an der TU Braunschweig, wo er 2002 promovierte. Seitdem arbeitet er als wissenschaftlicher Oberassistent und seit 2023 als kommissarischer Leiter an der Professur für Verkehrssicherungstechnik der TU Dresden und ist in Forschung und Lehre im Bereich des spurgeführten Verkehrs tätig. Parallel ist er wissenschaftlicher Leiter vieler Weiterbildungskurse sowie Studienleiter an der Wilhelm-Büchner-Hochschule Darmstadt. Zahlreiche Veröffentlichungen, darunter das Grundlagenwerk „Sicherung des Schienenverkehrs“, sind in den letzten zwei Jahrzehnten entstanden. 2017 erfolgte die Habilitation, kurz darauf wurde ihm von der Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“ der Titel Privatdozent (PD) verliehen.

Weitere Informationen unter [maschekx.de](http://maschekx.de).

**Dr.-Ing. Richard Kahl**

Nach einer Berufsausbildung zum Elektroinstallateur studierte er im Diplomstudiengang Elektrotechnik mit der Vertiefung Automatisierungstechnik an der Staatlichen Studienakademie Bautzen. Parallel war er als Elektroplaner tätig und unterstützte in der Bauüberwachung von Verkehrsprojekten. Anschließend folgte das Studium der Mechatronik mit der Vertiefung Schienenfahrzeugtechnik an der TU Dresden, wobei sich die Diplomarbeit bereits mit der Simulation von ETCS befasste. Seit 2014 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur für Verkehrssicherungstechnik der TU Dresden. Neben Forschung und Lehre im Bereich des spurgeführten Verkehrs befasst er sich im Rahmen von Forschungsprojekten mit der Modellbildung und Simulation von Zugbeeinflussungssystemen, vorrangig ETCS, worüber er im Jahr 2023 zum Dr.-Ing. promovierte. Zudem ist er Dozent für Leit- und Sicherungstechnik der Dresden International University und der Wilhelm-Büchner-Hochschule Darmstadt. In Aufsätzen und Vorträgen veröffentlichte er bereits zum Thema ETCS, wobei „ETCS in Deutschland“ das bisher umfangreichste Werk darstellt.

**Die Autoren****Sascha Baumhacker**

Nach dem Abitur absolvierte er erfolgreich die Ausbildung zum Eisenbahner im Betriebsdienst, Fachrichtung Fahrweg bei DB Netz. Zum Berufseinstieg begann er als Fahrdienstleiter im Betriebsbezirk Hamm. Zusätzlich bildete er sich als Fachwirt für den Bahnbetrieb weiter und arbeitete nach bestandener IHK-Prüfung in verschiedenen betrieblichen Funktionen im Betriebsbezirk Regensburg unter anderem als Bezirksleiter Betrieb. Seit 2019 ist er in der Zentrale der DB Netz (jetzt DB InfraGO) in Frankfurt am Main tätig. Zunächst widmete er sich als Fachautor dem Aufgabengebiet der Betriebszentralen und den dazugehörigen Schnittstellen zum Fahrplan. Heute ist er bei der Digitalen Schiene der DB InfraGO tätig. Sein Aufgabengebiet umfasst die Optimierung von bestehenden Prozessen und Regelwerken, zusätzlich entwickelt er neue Prozesse und Regelwerke zu Digitalisierungs- und Automatisierungsthemen bis hin zur Umsetzung inklusive der erforderlichen Sicherheitshinweise.



**Wolfgang Braun M. Sc.**



Nach dem Abitur studierte er zunächst Wirtschaftsinformatik (B. Sc.) an der Universität Regensburg und am University College Dublin. Anschließend absolvierte er an der Fakultät „Friedrich List“ der TU Dresden den Masterstudiengang Bahnsystemingenieurwesen mit dem Schwerpunkt Bahnbetrieb. In seiner darauffolgenden Tätigkeit bei DB Netz (jetzt DB InfraGO) gestaltete er im Rahmen des Betrieblichen Zielbilds die künftigen Betriebsprozesse unter ETCS Level 2 ohne Signale mit. Dabei ist die Schnittstelle zu anderen Eisenbahninfrastrukturunternehmen von besonderer Bedeutung, um beim anstehenden ETCS-Rollout Lösungen zu finden, die für die gesamte Eisenbahnbranche passfähig sind. In Zusammenarbeit mit dem Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) erarbeitete er neben Planungsregeln für ETCS Level 1 FS auch standardisierte Betriebsverfahren an der Schnittstelle der DB-Infrastruktur zu nichtbundeseigenen Eisenbahnen. Heute ist er bei DB Fernverkehr im Bereich Angebotsmanagement beschäftigt.

**Lars Brune M. Sc.**



Nach einer Ausbildung zum Energieelektroniker und dem Abschluss als staatlich geprüfter Techniker der Fachrichtung Energietechnik studierte er Elektrotechnik an der TH Köln. Bei der DB Engineering & Consulting war er von 2013 bis 2017 als LST-Fachplaner und LST-Abnahmeassistent tätig. Seit 2017 ist er Projektleiter im Rahmen des Zulassungsmanagements für den Innovationsanteil der ETCS-Streckenausrüstung. Als Mitglied der Engineering Support Group bei der ERTMS Users Group ist die ETCS-Gremientätigkeit eine wesentliche Säule, um die notwendigen Innovationen auf europäischer Ebene voranzutreiben. Seit 2019 hat er zudem einen Lehrauftrag an der Dualen Hochschule Baden-Württemberg. Seit 2021 promoviert er nebenberuflich an der TU Dresden zum Thema „Interoperable Lösungen für die ETCS-Streckenausrüstung an Landesgrenzen“. Mit seiner Ausbildung zum systemischen Coach an der Universität zu Köln und als Mitbegründer von [www.coachquartier.de](http://www.coachquartier.de) unterstützt er insbesondere Studierende und Doktoranden in ihrer Entwicklung.

**Dr.-Ing. Jens Budner**

Nach dem Abitur studierte er an der Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“ der TU Dresden Verkehrssingenieurwesen mit dem Schwerpunkt Eisenbahn- und ÖPN-Verkehr. Zum Berufseinstieg 2011 war er als LST-Planungingenieur tätig, bevor sich im selben Jahr die Chance als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur für Verkehrssicherungstechnik der TU Dresden in Verbindung mit einem Promotionsstudium ergab. Neben der Forschung und Lehre im Bereich des spurgeführten Verkehrs beschäftigte er sich im Rahmen eines interdisziplinären Forschungsprojekts mit der Einführung der durchgängigen elektronischen Datenhaltung im ESTW-Planungsprozess und promovierte 2017 zu diesem Thema. Seit 2018 ist er beim CERSS Kompetenzzentrum Bahnsicherungstechnik in Dresden als Ingenieur für Bahnsicherungstechnik sowie seit 2023 als vom EBA anerkannter Planprüfer, u. a. für ETCS, tätig. Parallel dazu ist er Lehrbeauftragter und Referent in zahlreichen Weiterbildungskursen sowie an der Wilhelm-Büchner-Hochschule. Nach einigen Veröffentlichungen in Form von Aufsätzen in Fachzeitschriften und Vorträgen stellt „ETCS in Deutschland“ seinen ersten wesentlichen Buchbeitrag dar.

**Moritz Cichos M. Sc.**

2015 begann er im Zuge eines Dualen Studiums bei DB Netz die Ausbildung zum Eisenbahner im Betriebsdienst, Fachrichtung Fahrweg, sowie den Bachelorstudiengang Wirtschaftsingenieur für Eisenbahnwesen (B. Eng.) an der FH Erfurt mit der Vertiefung Bahnbetrieb und Infrastruktur. Währenddessen arbeitete er als Fahrdienstleiter im Bereich Schwerin sowie als studentische Hilfskraft an der Fachschule Gotha. Mit Abschluss 2019 folgte das Masterstudium Bahnsystemingenieurwesen mit der Vertiefung Bahnbetrieb an der Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“ der TU Dresden. Zudem führte er im Rahmen seiner Tätigkeit in der Zentrale der DB Netz eisenbahnbetriebswissenschaftliche Untersuchungen (EBWU) durch. Seit 2022 arbeitet er als Referent digitale Prozesse im Bahnbetrieb im Bereich der Digitalen Schiene Deutschland (DSD) der DB Netz (jetzt DB InfraGO). Dort gestaltet er neue betriebliche Regelwerke und begleitet das zugehörige IT-Projekt. Weiterhin promoviert er an der Professur für Verkehrssicherungstechnik der TU Dresden und nimmt Lehrtätigkeiten als freier Mitarbeiter wahr.



**Yadi Han M. Sc.**



Sie studierte den Masterstudiengang Bahnsystemingenieurwesen mit dem Schwerpunkt Bahnsicherung und -telematik an der Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“ der TU Dresden. Anschließend war sie wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Professur für Verkehrssicherungstechnik und dabei mit verschiedenen Forschungsthemen der Leit- und Sicherungstechnik befasst. Danach arbeitete sie als wissenschaftliche Mitarbeiterin am CERSS Kompetenzzentrum Bahnsicherungstechnik in Dresden und bearbeitete hauptsächlich ETCS-Projekte, Verifizierungsprozesse sowie Sicherheitsnachweise nach CENELEC. Seit März 2021 ist sie in der Systementwicklung ETCS bei der Zentrale der DB Netz (jetzt DB InfraGO) beschäftigt und beteiligt sich an der Erarbeitung projektspezifischer Themen, an der Lastenheftentwicklung und an den dazugehörigen Nachweisführungsprozessen und -aktivitäten.

**Dipl.-Ing. Matthias Kopitzki**



Er studierte allgemeinen Maschinenbau an der TU Darmstadt. Zum Berufseinstieg war er beim EBL der DB Regio tätig und übernahm im Jahr 2014 die Projektleitung zur Rezertifizierung des Sicherheitsmanagementsystems. Anschließend wurde er zum Start-up Regionalverkehre Start Deutschland GmbH entsandt, das er als EVU maßgeblich mit aufbaute. 2018 wechselte er zur DB Netz und war zunächst für den konventionellen Bahnbetrieb, u.a. für die Fahrdienstvorschrift Ril 408, verantwortlich. Seit 2020 ist er Leiter der Abteilungen „Transformation digitaler Bahnbetrieb“ und „Entwicklung betriebliche Prozesse und Regelwerke DSD“ innerhalb der Digitalen Schiene Deutschland. Zu seinen Aufgaben zählen u.a. die Gestaltung des betrieblichen Zielbilds als Grundlage für die Betriebsprozesse unter ETCS L2 ohne Signale. Des Weiteren ist er verantwortlich für die Entwicklung der Fahrdienstvorschrift für den Digitalen Bahnbetrieb (Ril 400), den Aufbau der digitalen Befehlsübermittlung, betriebliche Ausgestaltung des Automatischen Fahrens (ATO) oder die Erstellung einer Konzeption für Disposition und Steuerung. Heute ist er bei der DB InfraGO als Leiter im Netz Karlsruhe tätig.

**Dipl.-Ing. Elisabeth Kretschmer**

Bis 2020 studierte sie Verkehringenieurwesen mit dem Schwerpunkt Eisenbahn- und ÖPNV-Verkehr an der Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“ der TU Dresden. Ihr besonderes fachliches Interesse galt dabei der Leit- und Sicherungstechnik mit dem Fokus ETCS. In ihrer Studienarbeit mit der DB Netz als Praxispartner beschäftigte sie sich mit den Anforderungen von ETCS Level 3 an die Planung sowie Möglichkeiten für Praxistests. Parallel dazu war sie als Werkstudentin beim CERSS Kompetenzzentrum für Bahnsicherungstechnik in Dresden tätig. Seit 2020 ist sie bei der DB Netz (jetzt DB InfraGO) als ETCS-Planerin tätig. Bei der Digitalen Schiene Deutschland betreut sie Projekte in der Anwendung der digitalen Planungsmethode und wirkt an der Weiterentwicklung des PlanPro-Standards sowie der zugehörigen Werkzeuglandschaft mit.

**Dr.-Ing. Michael Dieter Kunze**

Er studierte Verkehringenieurwesen an der Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“ der TU Dresden mit dem Studienschwerpunkt Verkehrstelematik. Von 2009 bis 2015 war er wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur für Verkehrssicherungstechnik, wo er unter anderem an Projekten zu Zugbeeinflussungssystemen, Stellwerksenergieversorgung und Sicherheitsanalysen von Bahnsteigtüren arbeitete. Mit Abschluss des Promotionsverfahrens im Jahr 2015 wechselte er als leitender Ingenieur zum CERSS Kompetenzzentrum Bahnsicherungstechnik in Dresden, dessen alleiniger Geschäftsführer er seit 2021 ist.

Weiterhin ist er als Lehrbeauftragter im Bereich der Leit- und Sicherungstechnik für die TU Dresden, die Wilhelm-Büchner-Hochschule Darmstadt und als Dozent in Weiterbildungsveranstaltungen der Thales University, DB Training und Dresden International University tätig. Neben regelmäßigen Veröffentlichungen in Fachzeitschriften ist er Mitautor des internationalen Standardwerks „Railway Signalling and Interlocking“.



**Jan O. Lübs M. Sc.**



Nach der Ausbildung zum Eisenbahner im Betriebsdienst, Fachrichtung Fahrweg bei der Deutschen Bahn, ist er seit 2016 als Fahrdienstleiter auf Stellwerken verschiedenster Bauformen tätig. Seine akademische Ausbildung führte ihn über die Fachhochschule Erfurt (Wirtschaftsingenieur für Eisenbahnen) mit betrieblichem Schwerpunkt an die Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“ der TU Dresden, wo er das Masterstudium zum Bahnsystemingenieur mit der Vertiefung Bahnsicherung und -telematik abschloss. Seitdem ist er am CERSS Kompetenzzentrum Bahnsicherungstechnik tätig und wirkt an Planprüfungen von ETCS-Ausführungsplanungen mit. Parallel dazu forscht und lehrt er an der Professur für Verkehrssicherungstechnik und widmet sich insbesondere den Themen Betriebsverfahren und betrieblich-sicherheitliche Aspekte von ETCS. Sein Wissen vermittelt er auch als Dozent für Bahnbetrieb, Bedienung von Stellwerken und Sicherungstechnik.

**Richard Frhr. Poschinger von Frauenau M. Sc.**



Er studierte an der OTH Regensburg und der Ludwig-Maximilians-Universität München Informatik und spezialisierte sich während des Studiums auf den Fachbereich Cyber-Security. Berufliche Erfahrungen sammelte er unter anderem in der Abteilung für Cyber-Security von PricewaterhouseCoopers. Seit 2020 ist er für die auf die Cyber-Security von Industriesystemen spezialisierten Firma INCYDE – Industrial Cyber Defense tätig. Dort fokussiert er sich auf die Cyber-Security von Bahnsystemen und verantwortet den Bereich Standardisierung. Im Rahmen dieser Arbeit ist er Mitglied der Security-Gruppen verschiedener Standardisierungsprojekte (unter anderem ERTMS Users Group, EULYNX, EU-Rail, OCORA) und dort teilweise in leitender Funktion tätig. Im Rahmen der EULYNX Academy ist er für Ausbildungsinhalte hinsichtlich Cyber-Security verantwortlich.

**Dipl.-Inf. Frank Skowron**

Nach dem Studium der Informatik an der TU Chemnitz begann sein beruflicher Werdegang im Telekommunikationsbereich der Alcatel SEL AG (später Thales, heute Hitachi) in Berlin. 2002 wechselte er in den Bereich Transport Automation, wo zunächst die Zugnummernmeldeanlage, später das Radio Block Centre den Tätigkeits- schwerpunkt bildeten. Ein Höhepunkt für ihn war die Vorbereitung der Demonstrationsfahrten von Hybrid Level 3 in der ETCS National Integration Facility in Hitchin/UK. Mit Wechsel zur DB 2020 lernte er die Reference CCS Architecture (RCA) mit dem zugorientierten Advanced Protection System (APS) kennen. Sowohl in RCA, bei der Digitalen Schiene Deutschland der DB InfraGO als auch Europe's Rail Joint Undertaking begleitet er seither die Konzept- und Spezifikationsarbeiten zu APS. Er ist überzeugt, dass darin die Zukunft deutscher und europäischer Leit- und Sicherungstechnik liegt.

**Dipl.-Ing. Martin Erik Sommer**

Nach dem Studium der Architektur und des Verkehrsingenieurwesens mit der Studienrichtung Verkehrstelematik an der TU Dresden arbeitete er seit 2013 als Projektleiter am CERSS Kompetenzzentrum Bahnsicherungstechnik und ist seit 2024 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur für Verkehrssicherungstechnik der TU Dresden. Schwerpunkte seiner Tätigkeit sind Ingenieurberatung, Sicherheitsanalysen und Entwicklung für nationale und internationale Projekte im Bereich ETCS sowie Forschung in den Bereichen Zugintegrität und Sicherungstechnik für regionale Anwendungen. Für die Professur für Verkehrssicherungstechnik war er von 2015 bis 2018 als Projektleiter für den Aufbau eines Studiengangs Bahnsystemingenieurwesen in Hanoi, Vietnam tätig. Neben der Konzeption und Durchführung von Lehre und Weiterbildungen im internationalen Bereich ist er auch national als Dozent für Leit- und Sicherungstechnik tätig. Sein Wissen um ETCS floss auch in das Buch „Railway Signalling and Interlocking“ ein.



# Stichwortverzeichnis

## Symbol

3DES-Verfahren 96

5G-RACOM 490

5G-Rail 489

## A

Achslastprofil 163

Advanced Protection System 472

Aktualisierungsbalise 80

Aktualisierungsinformation 84, 87

Allocation Section 479

Analogfunk 37

Ankündigungsbalise 68, 315

Ankündigungskurve 153, 181

Anmeldung im Funknetz 107

Annehmende Zentrale 292

Anzeigeführung 320

Assisted GNSS 454

Asymmetrische Verschlüsselungsverfahren  
95

ATO 442

ATO Engagement 421

ATO Operational 420

Aufenthaltsregister 122

Ausführungsbereich 299

Ausrüstungsbereich 372

Ausrüstungsstufe 62

Außenanlagen 35

Ausstieg am Hauptsignal 312

Authentifizierungsschlüssel 98

Authentizität 95

Automatic Driving 226

Automatic Train Operation 210

Automatisches Fahren 414

Autonomes Fahren 414

Axle load Speed Profile 163

## B

Bahnkommunikationssystem 37

Bahnnotruf 116

Bahnstromsystem 348

Bahnübergang 172, 293, 383

Balise 75, 79, 273

Balise Transmission Module 71

Balisen-Koordinatensystem 104

Balisengestützte Klasse B-Transition 314

Balisengruppe 79

Balisenkonsistenzprüfung 80, 277

Balisenlesefehler 277

Balisenliste 284

Balisenverkettung 79

Base Station System 118

Baseline 51

Basisstation 119

Basisstationssteuerung 120

Bedingter Nothalt 172

Befehlsfahrt 157

Benannte Stelle 48

Beschleunigung durch die Gradienten 188

Betreiber-Teilsystem 118

Betrieblich-Technisches Zielbild 433

Betriebliche Gefährdungsanalyse 241

Betrieblicher Entwicklungsplan 433

Betriebliches Zielbild 431, 433

Betriebs- und Wartungszentrale 124

Betriebsart 153

Betriebsartenwechsel 153

Betriebsbremsverzögerung 183

- Betriebsleitebene 32  
Betriebssteuerungsebene 33  
Bits 81  
Blockkennzeichen 378  
Brake Interface Unit 71  
Bremsart 184  
Bremsaufbauzeit 183  
Bremshundertstel 185  
Bremskurvenparameter 349  
Bremsstellung 184  
Bremsverzögerung 183  
Bremswegsicherheit 187  
Building Information Modelling 403
- C**  
Ceiling Speed Monitoring 191  
Certificate Management Protocol 212  
Certificate Revocation List 212  
Change Control Management 54  
Change Request 54  
Checksummen-Bits 78  
Cold Movement Detection 162, 229  
Common Safety Methods 45, 55  
Common Safety Targets 45  
Conditional Emergency Stop 172  
Consist 447  
Contiguous Track Area 476  
Coordination Function 149
- D**  
Dämpfung 453  
Danger Point 166, 168, 264  
Datenfunkverbindung 87  
Datenpaket 83  
Datenpunkt 273, 370  
Datenpunktplanung 374  
Datenpunkttafel 394  
Datenpunkttyp 370  
Datenrekorder 101  
Datensprache 81  
Dezentrale LEU 86  
Dienstgüte 139  
Digitale Planung 402  
Digitaler Befehl 434  
Digitales Testfeld Bahn 483  
Digitalfunksystem 109  
Disposition 32  
Down-link 75  
Drive Protection Section 478  
Driver Machine Interface 63, 71, 102  
Dunkelschaltung 290, 321  
Duplikat 79  
Durchfahren gestörter Funkbereiche 294  
Durchrutschweg 166, 168, 264  
Dynamisches Geschwindigkeitsprofil 165
- E**  
EDOR 118  
Einheitlicher Spezifikationssatz 218  
Einstieg 280, 396  
Einstieg ohne bekanntes rückwärtiges Signal 311  
EIRENE Cab radio 107  
Eisenbahn-Bundesamt 332  
Eisenbahntechnische Ausrüstung 359  
Eisenbahnverkehrssteuerung 31  
Eisenbahnverkehrsunternehmen 336  
Emergency Brake Deceleration Curve 153, 179  
Emergency Brake Intervention Curve 153, 179  
End of Authority 264  
End of Loop Marker 84  
End of Mission 176, 319

- End of Movement Authority 167  
Entwurfsphase 50  
ERTMS-Entwicklung 407  
ERTMS-Funktionsumfang 53  
ERTMS-Stabilität 407  
ERTMS-Verbreitung 405  
Erwartungsfenster 79  
Estimated acceleration 182  
Estimated front end 106  
ETCS data only radio 107  
ETCS Hybrid Level 3 65, 463  
ETCS L2 Hybrid Train Detection 463  
ETCS L2 mit TIMS 486  
ETCS Level 0 67  
ETCS Level 1 62  
ETCS Level 2 64  
ETCS Level 2 ohne Signale 65  
ETCS Level 3 65  
ETCS Level 3 Hybrid 89, 106, 224  
ETCS Level NTC 66  
ETCS On-board Unit 101  
ETCS signalgeführt 249  
ETCS-Ausrüstungsstrategie 358  
ETCS-Datensprache 82  
ETCS-Entitys 97  
ETCS-Gefahrpunkt 264, 371, 379  
ETCS-Gleiskante 392  
ETCS-Halt-Tafel 174  
ETCS-Lastenheft 240  
ETCS-Melde- und Kommandoanschaltung 394  
ETCS-Nothalt 172  
ETCS-Positions-Tafel 174  
ETCS-Ready 275, 374  
ETCS-Sperre 266  
ETCS-Startlauf 317  
ETCS-Teilblock 175  
ETCS-Übersichtsplan 391  
ETCS-Zentrale 88  
ETCS-Zusatzschalter 318  
Ethernet CCS Consist Network 223  
Eurobalise 75  
Euroloop 63, 84  
Europe's Rail Joint Undertaking 409  
European Deployment Plan 231  
European Geostationary Navigation Overlay Service 454  
European Integrated Radio Enhanced Network 109  
European Leaky Cable 84  
European Traffic Management Layer 58  
European Union Agency for Railways 43, 46  
European Vital Computer 63, 71, 102  
Extra-Shaping-Bits 78
- F**
- Fahrdienstvorschrift 316, 434  
Fahrdienstvorschrift für den digitalen Bahnbetrieb 435  
Fahren im festen Raumabstand 39, 66  
Fahren im wandernden Raumabstand 39  
Fahrende Transition 314  
Fahrstraßenüberwachung 294  
Fahrt in Nebengleis 297, 400  
Fahrtbeginn in L2 FS 283  
Fahrerlaubnis 166  
Fahrtrichtungswechsel 176  
Fahrzeugantenne 76  
Fahrzeugausrustung 101  
Fahrzeughöchstgeschwindigkeit 163  
Fahrzeugseitiger Korrekturfaktor 184  
Fahrzeugseitiges Teilsystem 101  
Faseroptische Sensoren 458  
Feldtest 340

- Festdatenbalise 63, 75  
Fixed Block 39  
Fixed Values 168  
Flankenschutz 287  
Form Fit Functional Interface Specifications 72  
Freigabegeschwindigkeit 265  
Frequency Division Multiple Access 112  
FRMCS 110, 125, 489  
FRMCS FFFIS 135  
FRMCS FIS 135  
FRMCS FRS 132  
FRMCS SRS 134  
FRMCS TOBA FRS 134  
FRMCS URS 131  
FRMCS-Testinstallation 489  
Führerraumsignalisierung 63, 65, 175  
Führungsgrößen 103, 154  
Führungskurve 181  
Full Supervision 62, 153, 266  
Functional Interface Specifications 72  
Funk-Nachrichtenkopf 90  
Funk-Teilsystem 117  
Funkaufbaubalise 87, 396  
Funkloch 294, 295  
Funkschnittstelle 118  
Funksendepegel 274  
Funktionale Adressierung 115  
Funktionsrufnummer 115  
Funküberwachung 91, 107  
Funküberwachungszeit 91
- G**  
Gammazugmodell 184  
Geisterzug 466  
Gemeinsame Sicherheitsmethoden 332  
Genehmigung Inverkehrbringen und Verwenden 333
- General Packet Radio Service 100, 111  
Generische Funktionsblöcke 138  
Geschwindigkeitsabhängiger Korrekturfaktor 187  
Geschwindigkeitsband 393  
Geschwindigkeitsüberwachung für Neigetechnik 298  
Gleisfreimeldung 443  
Gleisfreiprüfung durch den Tf 173  
Gleiskantengeschwindigkeit 392  
GPRS 113  
Gradienten 170  
Gradienten-Korrekturfaktor 186, 190  
Grenzbalisengruppe 92  
Grenzbetriebsstrecke 346  
Grenzsignal 299  
Großes Metallteil 76, 292, 382  
Ground Based Augmentation System 454  
Gruppenruf 116  
GSM-R 88, 109, 117  
GSM-R-Frequenzen 112  
Guidance Curve 181
- H**  
Hardware-in-the-Loop 340  
Harter Ausstieg 297  
Hauptsignal 375  
Heimatregister 122
- I**  
Identity Access Management 213  
Inbetriebnahmegenehmigung 332, 344  
Inbetriebnahmeverantwortlicher 345  
Indication Status 197  
Indication Supervision Limit 153, 181  
Individuelles statisches Geschwindigkeitsprofil 164

- Infill 87  
Infill-Balise 80  
Infill-Information 63  
Information zu Bahnübergang 172  
Infrastructure Information Modelling 403  
Infrastrukturdaten 170  
Integrated European Signalling System 58  
Integrationstest 342  
Interconnection 111, 150  
Interoperabilität 38  
Intervention Status 197  
Ionosphärenfehler 454  
Ionosphärenkorrektur 454  
IP-Datennetz 100  
Isolation 162, 268
- J**  
Jamming 138, 454  
Journey Profile 420, 425
- K**  
Kanalteilung 113  
Key Management System 94, 97  
Kodierung 78  
Kommunikationssitzung 91, 107  
Komponententest 341  
Konformitätstest 341  
Kontroll-Bits 78  
Konventionelle Signalisierung 174  
Konvertierungsmodell 185  
Kooperative MA-Kürzung 328  
Koordinatensystem 79  
Korrekturfaktor 187  
Kostenberechnung 395  
Kostenschätzung 395  
Kryptografische Schlüssel 94  
Kurztelegramm 77
- L**  
Labortest 340  
Lambdazugmodell 185  
Langtelegramm 77  
Last Relevant Balise Group 104  
Lastenheft ESG 240  
LC mode 146  
Leckwellenleiter 84, 120  
Leistungsphase 360  
Leitungsvermittlung 112  
Level 1 FS-Gateway 353  
Level Transition Order 68  
Levelgrenze 299  
Levelwechsel 68  
Lichtschutz 288  
Lichtwellenleiter 458  
Limit of Movement Authority 167  
Limited Radio Block Centre 492  
Limited Supervision 63, 154  
Lineside Electronic Unit 62, 86, 274  
Local Binding 145  
Location Marker Board 174  
Loop Modem 84, 85  
Loop Transmission Module 71  
Luftschnittstelle „A“ 76, 85, 86
- M**  
MA-Anforderungszyklus 166  
Maintenance and Data Management 213  
Maintenance Release 52  
Maßgebende Gefahrstelle 168, 264  
Max safe front end 105  
Max safe rear end 106  
Maximale Position der Zugspitze 105  
Media Gateway 123  
Mehrwegeausbreitung 453  
Metallwarndatenpunkt 382

- Migrationsphase 38  
 Migrationssystem 49  
 Min safe front end 105  
 Min safe rear end 106, 444  
 Mindestabstand Datenpunkte 371  
 Minimale Position der Zugspitze 105  
 Mischbetrieb 174  
 Mission Critical Services 126, 141  
 Mobile Communication Gateway 148  
 Mobile Oriented Radio Network 109  
 Mobile Station 118  
 Mobilfunkgerät 118  
 Mode Profile 172  
 Movable Object 477  
 Movement Authority 62, 88, 166  
 Movement Permission 477  
 Moving Block 39, 65, 462, 486  
 MSC-Server 123
- N**  
 Nachricht 83  
 Nachrichtenkonsistenz 80  
 Nachrichtenkopf 86  
 National System 160, 268  
 National Technical Rules 51  
 National Value 67, 168  
 Nationale Technische Regeln 333  
 Nationaler Umsetzungsplan 231  
 Nationaler Wert 168  
 Neigetechnik 276  
 Neigungsband 393  
 Neigungsprofil 170  
 Network Slicing 137  
 Network Switching System 121  
 Network Time Protocol 212  
 Netzeinwahldatenpunkt 396  
 Netzmanagementzentrale 124
- Netzscheiben 137  
 No Power 162, 269  
 Non Leading 159  
 Normal Status 197  
 Notifizierte technische Vorschriften 332  
 Notifizierung 46
- O**  
 Obsoleszenzphase 124  
 OCORA 223  
 OCSP Must-Staple 96  
 OCSP Stapling 96  
 Odometrie 104  
 Offline Key Management 98, 99  
 On Sight 155, 267  
 On-board Recording Device 71  
 On-board-Referenzarchitektur 223  
 Online Certificate Status Protocol 95, 212  
 Online Key Management 98  
 Open CCS On-board Reference Architecture 208  
 Optomanuelle Schnittstelle 401  
 Ort des Levelwechsels 299  
 Ortsabhängige Adressierung 115  
 Ortungsdatenpunkt vor dem Einstieg 396  
 Ortungsgenauigkeit 105  
 Ortungsverfahren 104  
 Over-reading 444  
 Overlap 168, 264  
 Overlay 462  
 Override 157, 265  
 Overspeed Status 197
- P**  
 Paketkopf 83  
 Paketvermittlung 113  
 Passing Point 425

- Passive Shunting 159  
Pegelschwankungen 113  
Pegelverlauf 113  
Permissivhalt 174  
Permitted Braking Distance 163  
Permitted Speed Supervision Limit 153, 181  
Perturbation Location 167  
PKI-Architektur 95  
Planning Area 198  
Planning Area Speed Profile 199  
PlanPro 402  
PlanPro-Werkzeugkoffer 403  
Planungsablauf 359  
Planungstoleranz 372  
Planungsvoraussetzungen 373  
Plausibilitäts- und Zulässigkeitsprüfung 403  
Position der Zugspitze 106  
Position des Fahrzeugs 278  
Position Report 106  
Positionsmeldungen 106  
Post Trip 158, 268  
Priorisierung 117  
Prioritätenliste 298  
Produktionsphase 50  
Projektphasen 360  
Prozedur 175  
Pseudoliten 454  
Public Key Infrastructure 95, 98  
Punktförmige Zugbeeinflussung 37
- R**
- Radio Access Network 127  
Radio Block Centre 64, 65, 88  
Radio Infill Unit 63, 87  
Rail2X 484  
Railway Mobile Radio 49, 58, 109  
Railway-Vermittlungsstelle 122
- Rangierbereichsgrenze 156  
Rangiersperrdatenpunkt 156  
RBC-RBC-Übergang 92, 385  
Referenzposition 105  
Regulärer Ausstieg 297, 312, 399  
Release Speed 265  
Release Speed Monitoring 194  
Reverse Movement Protection 200  
Reversing 158, 269  
Risikoanalyse 241  
Road Site Units 484  
Roaming 111, 138  
Roll Away Protection 200  
Rotierende Massen 186, 188  
Rückfallebene 328, 331  
Rückwärtsschutz 200
- S**
- Safety 204  
Safety of Life 454  
Sammelruf 116  
Satellite Based Augmentation System 454  
Satellitenortung 453  
Schattenzug 466  
Schlüsselaustausch 98  
Schnellbrems-Ablaufkurve 153, 179  
Schnellbrems-Einsatzkurve 153, 179  
Schnellbremsaufbauzeit 183  
Schnellbremsvertrauensintervall 184, 187  
Schnellbremsverzögerung 183  
Schnittstelle „C“ 76, 84, 86  
Schnittstelle „C<sub>L</sub>“ 86  
Schnittstelle „S“ 76, 86  
Schutzziel 438  
Schwächen 176, 291  
Scrambling-Bits 78  
Security 204

- Security-Level 203  
Segment Profile 420, 423  
Sektorleitlinie 333  
Serious Gaming 441  
Service Brake Deceleration Curve 153, 179  
Service Brake Intervention Curve 153, 179  
Sessionschlüssel 98  
Shaping-Bits 78  
Shared Security Services 212  
Shunting 156  
Sichere Funkverbindung 107  
Sichere Schnellbremsverzögerung 188  
Sicherheitsbewertungsbericht 339  
Sicherheitsbezogene Anwendungsbedingungen 338  
Sicherheitsmanagementsystem 56  
Signalsystem 35  
Single European Railway Area 46  
SLC mode 147  
Sleeping 159  
Software-in-the-Loop 340  
Sollgeschwindigkeitskurve 153, 181  
Sollgeschwindigkeitsüberwachung 191  
Später Einstieg 281, 377  
Specific Transmission Module 66  
Spezifikationsgruppen 52  
Spoofing 454  
SR-Autorisierung 158  
SR-Geschwindigkeit 157  
Staff Responsible 157, 267  
Stand By 161  
Standard Communication Interface 95  
Standard Maintenance Interface 213  
Standardablauf 175  
Standardisierung 38  
Standardwert 169  
Standstill Supervision 200  
Stärken 176, 291  
Start mit Befehl 285  
Start of Mission 167, 176, 317  
Startlauf 167  
Static Speed Profile 163  
Statische Streckeneigenschaften 394  
Statisches Geschwindigkeitsprofil der Strecke 163  
Stellwerk 34  
Stillstandsüberwachung 200  
STM European 160  
Stop Marker Board 174  
Stopping Point 425  
Streckenbedingungen 171  
Streckenzugangskriterien 171  
Subscriber Identity Module 118  
SUBSET 51, 72  
Supervised Location 168  
Supervised Manoeuvre 226  
System Failure 162, 269  
System Requirement Specification 50  
Systemanforderungsspezifikation 50  
Systemtest 342  
Systemversion 51, 351, 220
- T**  
Tabelle der Ein- und Ausstiege 394  
Target Speed Monitoring 192  
TC mode 145  
Technical Specifications for Interoperability 47  
Technische Spezifikationen für die Interoperabilität 332  
Technische Vorschriften 332, 333  
Technisches Zielbild 433  
Technologie- und Entwicklungsplan 433  
Teillastenheft 240

- Telegramm 83  
Telegrammaufbau 86  
TEN-Kernnetzkorridor 231  
Textnachricht 171  
Time Division Multiple Access 112  
Timing Point 423  
Track ahead free request 173  
Track Edge Section 476  
Traction Cut Off 181  
Trägerflexibilität 137  
Train Integrity Monitoring System 443  
Train Interface Unit 71  
Transeuropäische Netze für Verkehr 56  
Transition 68, 298  
Transitionsdatenpunkt 69, 299, 315  
Transparentdatenbalise 63, 75  
Transport- und Anwendungsprotokolle 95  
Transportschlüssel 98  
Trip 158, 268  
Trusted area 279, 378  
TSI Locomotives and Passengers 333  
TSI – offener Punkt 51  
TSI-Anwendung 50  
TSI-Konformität 50
- U**  
Übergabe-RBC 92  
Übergangsregelung 228  
Übernahme-RBC 92  
Übertragung Nationaler Werte 388  
Übertragungsverfahren 77  
Überwachung der Funkverbindung 276  
Überwachungsarten 178  
Unbedingter Nothalt 172  
Unconditional Emergency Stop 172  
Under-reading 444  
Unfitted 161, 269
- Union Industry of Signalling 61  
Untergewerk 359  
Unterhaltskosten 39  
Up-link 75, 76  
Ursprünglicher Bewertungsrahmen 50  
Usage Restriction Area 479
- V**  
Variable 82  
Verfügbarkeit 274  
Verkettung 79  
Verkettungsinformation 79  
Verkettungskonsistenz 80  
Verlegetoleranz 372  
Vermittlungs-Teilsystem 117, 121  
Vermittlungsstelle 122  
Vertrauensintervall 105  
Vertrauenswürdiger Bereich 279  
Verzögerung durch die Gradienten 188  
Virtual Balise Cover 173, 343  
Virtual Balise Reader 455  
Virtual Block 462  
Virtuelle Balisen 455  
Virtuelle Blockfunktion 487  
Virtuelle Kupplung 485  
Vollbrems-Ablaufkurve 153, 179  
Vollbrems-Einsatzkurve 153, 179  
Vollbremsaufbauzeit 183  
Vollbremsverzögerung 183  
Vorschaubereich 103, 198  
Vorübergehende Langsamfahrstelle 163
- W**  
Wandernder Raumabstand 65  
Warning Area 480  
Warning Status 197  
Warning Supervision Limit 153, 181

- Warnkurve 153, 181  
Wegmessfehler 105  
Wegrollschutz 200  
WLANp 484
- Z**  
Zeitüberschreitung 166  
Zentrale LEU 86  
Zertifizierungsrahmen 50  
Zielgeschwindigkeitsüberwachung 192  
Zufahrtsicherungssignal 281, 330
- Zugdaten 169, 318  
Zugdeckungssignal 291  
Zugfunkgerät 107, 118  
Zugintegritätsprüfung 65  
Zugintegritätsstatus 444  
Zuglängenabhängiger Korrekturfaktor 187  
Zusatz-Bremssystem 185  
Zwangsbremsung 268

## Inserentenverzeichnis

CERSS Kompetenzzentrum Bahnsicherungstechnik GmbH, Dresden .....	U2
DWV Media Group GmbH, Hamburg .....	U3
GRT Global Rail Academy and Media GmbH, Leverkusen .....	4, 381, 419, 439
Knick Elektronische Messgeräte GmbH & Co. KG, Berlin.....	103
MTM Messtechnik Mellenbach GmbH, Schwarzatal .....	337

**Das European Train Control System (ETCS) wird das vorherrschende Zugbeeinflussungssystem der Zukunft.** Dieses Buch bietet einen umfassenden Einblick in das System allgemein sowie dessen Realisierung in Deutschland. Es spannt den Bogen von den europäischen Spezifikationen über die deutschen Lastenhefte bis zur Planung von ETCS. Ein Blick in die Zukunft rundet den Inhalt ab. So bietet das Werk die bisher umfassendste geschlossene Darstellung von ETCS in Deutschland.

Schwerpunkte des Werks sind:

- ETCS-Referenzarchitektur
- Betriebliche Funktionalitäten und Überwachungsfunktionen
- Deutsche Umsetzung von ETCS
- Planung von ETCS L2 in Deutschland
- Technologische Innovationen

Die 2. Auflage wurde vollständig überarbeitet und bietet jetzt auch Informationen zur zukünftig angewendeten Baseline 4 sowie dem neuen Funkstandard FRMCS. Die deutsche Umsetzung sowie die Planung wurden auf die aktuellen Versionen von Lastenheften und Richtlinien angepasst. Einige Aspekte, die in der ersten Auflage noch unter „Technologische Innovationen“ geführt wurden, gingen in die reguläre Beschreibung über; dafür wurden neue Themen in den Ausblick aufgenommen, wie ATO mit ETCS, Zugintegrität, zugorientierte Sicherungslogik und die zukünftige betriebliche Umsetzung.

Die meisten Autoren sind in der Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“ der TU Dresden oder ihrem Umfeld tätig und beschäftigen sich seit vielen Jahren in Forschung und Lehre mit ETCS. Weitere Autoren sind Mitarbeiter der Deutschen Bahn. Der Leser erhält somit einen praxisorientierten Stand von Wissenschaft und Technik.

Das Werk richtet sich an alle Fachleute, die sich jetzt oder zukünftig mit ETCS beschäftigen – in Entwicklung, Planung, Ausführung und Betrieb, egal, ob es sich dabei um operative Arbeit, Bildung, Aufsicht oder Management handelt. Es bietet nicht nur dem Einsteiger das ganze Wissensgebiet als ingenieurwissenschaftliches Lehrbuch, sondern eignet sich durch die modulare Struktur auch als Kompendium für Fortgeschrittene.

**EXTRA:** Dank des kostenlosen enthaltenen E-Books stehen Nutzern eines Endgeräts mit PDF-Reader (PC, Tablet, Smartphone) die Inhalte des Werks auch elektronisch und mit Suchfunktion zur Verfügung.

**ISBN** 978-3-96245-263-6



9 783962 452636