

Lars Schnieder

European Train Control System (ETCS)

Einführung in das einheitliche
europäische Zugbeeinflussungssystem

3. Auflage

Inklusive
SN Flashcards
Lern-App

MOREMEDIA



Springer Vieweg

European Train Control System (ETCS)

Lars Schnieder

European Train Control System (ETCS)

Einführung in das einheitliche europäische Zugbeeinflussungssystem

3. Auflage

Lars Schnieder
ESE Engineering und
Software-Entwicklung GmbH
Braunschweig, Deutschland

ISBN 978-3-662-66054-6 ISBN 978-3-662-66055-3 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-66055-3>

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

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2020, 2021, 2022

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung/Lektorat: Alexander Gruen

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Vorwort zur 3. Auflage

Grenzüberschreitende Mobilität war im europäischen Schienenverkehr lange Zeit geprägt von technischen, betrieblichen und auch normativen Hemmnissen. Unterschiedliche Traktionsstromsysteme, verschiedene Spurweiten aber auch unterschiedliche Zugsteuerungs- und Zugsicherungssysteme sorgten dafür, dass die Eisenbahn gegenüber anderen Verkehrsträgern zunehmend weniger wettbewerbsfähig war. Im letzten Jahrzehnt des letzten Jahrhunderts wurde in der Europäischen Union der rechtliche Rahmen zum Aufbau eines einheitlichen Eisenbahnsystems geschaffen. Seither wurden umfassende technische Spezifikationen für das einheitliche Zugbeeinflussungssystem ETCS sowie harmonisierte Normen als Grundlage europaweit einheitlicher Zulassungsprozesse geschaffen. Im Ergebnis beseitigt dies ein zentrales technisches Hemmnis im grenzüberschreitenden Zugverkehr. ETCS steigert die Wettbewerbsfähigkeit der Eisenbahn durch die Erhöhung ihrer Sicherheit, Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit.

Meine berufliche Tätigkeit in der Eisenbahnzulieferindustrie, meine berufsbegleitende Lehre an wissenschaftlichen Hochschulen sowie die Praxis in meinen internationalen Beratungs- und Begutachtungsprojekten zeigt den Bedarf, die Grundsätze des Zugsteuerungs- und Zugsicherungssystems ETCS in einer deutschsprachigen Publikation prägnant zusammenzufassen. Dieses Buch soll Studierenden und Praktikern der Bahnbranche einen schnellen Einstieg in das Thema ermöglichen. Darüber hinaus soll es Anknüpfungspunkte für eine weitergehende Recherche bieten.

Den folgenden Herstellern der Eisenbahnsignaltechnik sei an dieser Stelle für die freundliche Abdruckgenehmigung von Bildern gedankt:

- Alstom S.A.
- Bombardier Transportation Signal Germany GmbH
- Deutawerke GmbH
- HASLERRAIL AG
- Lenord, Bauer & Co. GmbH
- Siemens Mobility GmbH

Ein Dank gebührt auch Herrn Dr. Alexander Grün vom Springer Verlag für die langjährige Zusammenarbeit. Zum Abschluss ist mir ein Hinweis zum Sprachgebrauch in diesem Buch wichtig. Die Begrifflichkeiten im ETCS sind generell englischsprachig. Aus Projekten im deutschsprachigen In- und Ausland werden von den Spezifikationsdokumenten abweichende deutschsprachige Begriffe verwendet.

Ich habe diese deutschen Begriffe aus didaktischen Gründen in diesem Buch verwendet.

Priv.-Doz. Dr.-Ing. habil. Lars Schnieder

Inhaltsverzeichnis

1	Historie und Motivation für das European Train Control System	1
1.1	Notwendigkeit der Harmonisierung von Zugbeeinflussungssystemen	1
1.2	Zielsetzung der Harmonisierung von Zugbeeinflussungssystemen	2
1.3	Umsetzung der Harmonisierung von Zugbeeinflussungssystemen	4
	Literatur	5
2	Regelungsrahmen des European Train Control Systems	7
2.1	Europäischer Rechtsrahmen	7
2.1.1	Primärrecht und Sekundärrecht	7
2.1.2	Harmonisierte Normen	10
2.1.3	Notifizierungsverfahren	11
2.2	Nationaler Rechtsrahmen	12
2.2.1	Nationale Gesetze und Verordnungen	12
2.2.2	Notifizierte nationale technische Regeln (NNTR)	13
2.3	Spezifikationen des European Train Control Systems	13
2.4	Zulassung des European Train Control Systems	15
2.4.1	Vorgehensweise der Zertifizierung	15
2.4.2	Anforderungen an die Zertifizierungsstelle	18
2.4.3	Voraussetzungen für eine Inbetriebnahmegenehmigung	18
	Literatur	21
3	Ausrüstungsstufen und technische Komponenten	23
3.1	Ausrüstungsstufen des European Train Control Systems	24
3.2	Komponenten der ETCS Streckeneinrichtung	27
3.2.1	Punktförmige Übertragungskomponente: Eurobalise	28
3.2.2	Quasi-kontinuierliche Übertragungskomponente: Euroloop	29
3.2.3	Lineside Electronic Unit (LEU)	30
3.2.4	Radio Block Center (RBC)	32
3.3	Komponenten der ETCS-Fahrzeugeinrichtung	37
3.3.1	Odometrie	38
3.3.2	Kommunikationsschnittstellen zur Streckeneinrichtung	43

3.3.3	Schnittstellen zu nationalen Zugbeeinflussungssystemen	43
3.3.4	Schnittstelle zur Fahrzeugsteuerung	45
3.3.5	Bedien- und Anzeigeschnittstelle	46
3.3.6	Fahrdatenrekorder	47
3.3.7	Fahrzeuggestützte Zugvollständigkeitskontrolle	49
3.4	Datenkommunikation zwischen Fahrzeug- und Streckeneinrichtungen	49
3.4.1	Global System for Mobile Communication Railway (GSM-R)	49
3.4.2	Future Railway Mobile Communication System (FRMCS)	52
3.4.3	Sicheres Datenübertragungsverfahren (EuroRadio)	54
3.4.4	Management digitaler kryptografischer Schlüssel	54
	Literatur	56
4	Funktionsweise des European Train Control Systems	59
4.1	Kommunikation zwischen ETCS-Fahrzeug- und Streckenausrüstung	59
4.1.1	Variablen	60
4.1.2	Pakete	61
4.1.3	Telegramme und Nachrichten	62
4.2	Übergänge zwischen den Ausrüstungsstufen	64
4.2.1	Aufnahme in Ausrüstungsstufe 1	64
4.2.2	Aufnahme in Ausrüstungsstufe 2	65
4.2.3	Entlassung in Ausrüstungsstufe 0	66
4.2.4	Aufnahme und Entlassung in Ausrüstungsstufe NTC	67
4.3	Betriebsarten des European Train Control Systems	70
4.3.1	Betriebsarten mit aktiver Überwachung durch das ETCS-Fahrzeuggerät	71
4.3.2	Betriebsarten ohne Überwachung durch das ETCS-Fahrzeuggerät	74
4.3.3	Betriebsarten bei inaktivem ETCS-Fahrzeuggerät	75
4.4	Beispielhafte Betriebsartenübergänge	75
4.4.1	Betriebsartenübergänge zwischen den Betriebsarten SR und FS	76
4.4.2	Einnahme und Verlassen der Betriebsart SH	78
4.5	Ende der Fahrterlaubnis und überwachter Gefahrenpunkt	79
4.6	Lokalisierung der Fahrzeuge	80
4.6.1	Koordinatensystem der Eurobalisen	81
4.6.2	Logische Verkettung von Eurobalisen (Linking)	82
4.6.3	Vereindeutigen der Fahrzeugposition (Repositioning)	84
4.7	Geschwindigkeitsüberwachung und Bremskurven	85
4.7.1	Übertragung des statischen Geschwindigkeitsprofils	85
4.7.2	Ermittlung des restriktivsten statischen Geschwindigkeitsprofils	87

4.7.3	Behandlung von vorübergehenden Langsamfahrstellen	88
4.7.4	Gradientenprofil	88
4.7.5	Ermittlung des dynamischen Geschwindigkeitsprofils (Bremskurven)	89
	Literatur	91
5	Umsetzung des European Train Control Systems	93
5.1	Umsetzung von ETCS in Deutschland	93
5.1.1	Ausrüstungsprojekte in Deutschland	93
5.1.2	Nationale Ausprägung von ETCS L1 LS („ETCS signalgeführt“)	95
5.2	Umsetzung von ETCS in Europa	99
5.3	Umsetzung von ETCS weltweit	101
5.3.1	Ausrüstungsprojekte im Nahen Osten und in Nordafrika	101
5.3.2	Ausrüstungsprojekte in Ostasien und Südostasien	102
5.3.3	Ausrüstungsprojekte in Nordamerika	103
5.3.4	ETCS-Projekte in Australien	104
	Literatur	104
6	Kapazitätswirkung des European Train Control Systems	107
6.1	Faktoren für Kapazitätssteigerungen mit ETCS	107
6.2	Kapazitätssteigerung durch Automatisierung (ATO over ETCS)	113
6.3	Kapazitätssteigerung durch Fahren im wandernden Raumabstand (ETCS Level 3)	118
	Literatur	121
	Sitchwortverzeichnis	123

Abkürzungsverzeichnis

ASCI	Advanced Speech Call Items
AssBo	Assessment Body (Bewertungsstelle)
ATO	Automatic Train Operation
ATP	Automatic Train Protection
BSC	Base Station Controller
BTM	Balise Transmission Module
BTS	Base Transceiver Station
CENELEC	Comité Européen de Normalisation Électrotechnique
CMD	Cold Movement Detection
CSD	Circuit Switched Data
CSM	Common Safety Methods
DeBo	Designated Body (Bestimmte Stelle)
DMI	Driver Machine Interface
eMLPP	enhanced Multi-Level Precedence and Preemption service
EoA	End of Authority
EOLM	End of Loop Marker
ERA	European Railway Agency
ERTMS	European Rail Traffic Management System
ESG	ETCS signalgeführt
ETCS	European Train Control System
EVC	European Vital Computer
FFFIS	Form Fit Function Interface Specification
FIS	Functional Interface Specification
FRMCS	Future Railway Mobile Communication System
GNSS	Global Navigation Satellite System
GSM-R	Global System for Mobile Communication Railway
KMC	Key Management Center
LEU	Lineside Electronic Unit
LoA	Limit of Authority
LZB	Linienförmige Zugbeeinflussung

MA	Movement Authority
MRSP	Most Restrictive Static Speed Profile
MSC	Mobile Services Switching Centre
NoBo	Notified Body (Benannte Stelle)
NNTR	notifizierte nationale technische Regeln
NTC	National Train Control
PSD	Packet Switched Data
PZB	Punktförmige Zugbeeinflussung
QoS	Quality of Service
RBC	Radio Block Center
SRS	System Requirements Specification
STM	Specific Transmission Module
SvL	Supervised Location
TIMS	Train Integrity Monitoring System
TSI	Technische Spezifikation für die Interoperabilität
TSR	Temporary Speed Restriction (Langsamfahrstelle)
TVM	Transmission Voie-Machine
VGCS	Voice Group Call Service
VBS	Voice Broadcast Service



Historie und Motivation für das European Train Control System

1

In den letzten mehr als hundert Jahren haben sich in Europa sehr stark national geprägte Eisenbahnsysteme herausgebildet. In der Vergangenheit erschwerten technische und betriebliche Hemmnisse einen grenzüberschreitenden Bahnverkehr oder machten diesen in der Praxis gar unmöglich. In der Folge war der Verkehrsträger Schiene im intermodalen Wettbewerb zunehmend nicht mehr wettbewerbsfähig. Dieses einführende Kapitel stellt dar, warum die Einführung eines einheitlichen Zugbeeinflussungssystems in Europa erforderlich ist (vgl. Abschn. 1.1). Darauf basierend werden die mit der Vereinheitlichung von Zugbeeinflussungssystemen verbundenen Ziele vorgestellt (Abschn. 1.2). Abschließend wird ein kurzer Abriss über die zeitliche Entwicklung der Harmonisierungsaktivitäten gegeben (Abschn. 1.3).

1.1 Notwendigkeit der Harmonisierung von Zugbeeinflussungssystemen

Aus historischen Gründen entwickelten die europäischen Eisenbahnen unterschiedliche Verfahren zur Zugsteuerung und Zugsicherung. Eisenbahninfrastruktur- und Eisenbahnverkehrsunternehmen nutzen bis heute vorwiegend eigene, nationale Systeme mit entsprechenden Außensignalen für den konventionellen Bahnverkehr oder eine nationale Ausprägung der Führerstandssignalisierung für den Hochgeschwindigkeitsverkehr. Teilweise werden bei einem Bahnbetreiber auch mehrere unterschiedliche Zugbeeinflussungssysteme eingesetzt. Aus diesem Grund existieren heute europaweit immer noch über 20 verschiedene Zugsteuerungs- und Zugsicherungssysteme. So kommen beispielsweise allein in Deutschland die Punktförmige Zugbeeinflussung (PZB), die Linienförmige Zugbeeinflussung (LZB) sowie die Geschwindigkeitsüberwachung für Neigetechnikzüge (GNT) zum Einsatz. Auch in Frankreich kommen mit dem „Crocodyle“, dem System Contrôle de vitesse par balises (KVB) und dem System

Transmission Voie-Machine (TVM) insgesamt drei nationale Systeme zum Einsatz. In der Schweiz wurden die vorhandenen nationalen Systeme Signum und ZUB 121 an die Datenübertragung mittels Eurobalise angepasst. Diese Vielfalt der Zugbeeinflussungssysteme hat die folgenden grundsätzlichen Nachteile:

- *Mehrfachausrüstung*: Die Mehrfachausrüstung von Fahrzeugen mit einer Vielzahl von Zugsteuerungs- und Zugsicherungssystemen führt zu erheblichen Mehrkosten für die erforderlichen Investitionen. Außerdem ist der in jedem Land für jedes Zugsteuerungs- und Zugsicherungssystem zu durchlaufende Zulassungsprozesse zeitaufwendig. Möglicherweise steht auf den Fahrzeugen auch nicht der jeweils benötigte Einbauraum für Fahrzeugrechner, Bedien- und Anzeigeräte im Führerstand, die erforderlichen Sensoren zur Weg- und Geschwindigkeitsmessung sowie Antennen zur Datenübertragung zwischen Fahrzeug und Strecke zur Verfügung.
- *Fahrzeugwechsel an der Landesgrenze*: Erforderliche Wechsel des Triebfahrzeugs an der Landesgrenze führen dort zu längeren Betriebshaltezeiten. Dies verlängert entsprechend die Reisezeiten. Hierdurch sinkt die Attraktivität der Bahn im verkehrsträgerübergreifenden Wettbewerb.

1.2 Zielsetzung der Harmonisierung von Zugbeeinflussungssystemen

Die bestehenden Probleme insbesondere im grenzüberschreitenden Verkehr mit fragmentierten Märkten waren Auslöser für das von der europäischen Eisenbahnindustrie vorangetriebene Gemeinschaftsprojekt European Rail Traffic Management System (ERTMS). Ziel dieses Vorhabens ist die Schaffung eines einheitlichen Zugsteuerungs- und Zugsicherungssystems sowie der zugehörigen Signalgebung. Die wesentlichen Bestandteile von ERTMS sind das europäische Zugsicherungssystem (European Train Control System – ETCS) sowie der Teil der Kommunikation (Global System for Mobile Communication – Railway – GSM-R). Mit der Einführung des europäischen Zugbeeinflussungssystems ETCS sind die folgenden Erwartungen verbunden:

- *ETCS zur Schaffung eines freien Marktzugangs*: Insbesondere für den öffentlichen Sektor sind die öffentliche Ausschreibung und die transparente diskriminierungsfreie Vergabe von Lieferungen und Leistungen grundlegende rechtliche Anforderungen. In der Vergangenheit war ein Wettbewerb unterschiedlicher Anbieter wegen proprietärer signaltechnischer Systemlösungen nahezu unmöglich. Durch technische Standards wird die Grundlage technisch einheitlicher Systeme (ERTMS) geschaffen. Darüber hinaus rücken auch transparente und diskriminierungsfreie Zulassungsprozesse in den Vordergrund. ETCS bettet sich in einen umfassenden europäischen Zulassungsprozess mit verbindlichen Aufgaben und Verantwortlichkeiten der verschiedenen Beteiligten ein. Die Grundlage der Zulassung im Sinne einheitlich anzuwendender Spezifikationen, zu berücksichtigender harmonisierter Normen und notifizierter nationaler