



Deutscher Bundestag Wissenschaftliche Dienste

•	1			1
Sa	Сh	ct	21	าก
Ja	UП	ισι	aı	ıч

European Train Control System – ETCS

Technische Herausforderungen

WD 5 - 3000 - 072/24

European Train Control System - ETCS

Technische Herausforderungen

Aktenzeichen: WD 5 - 3000 - 072/24

Abschluss der Arbeit: 14.06.2024

Fachbereich: WD 5: Wirtschaft, Energie und Umwelt

Die Wissenschaftlichen Dienste des Deutschen Bundestages unterstützen die Mitglieder des Deutschen Bundestages bei ihrer mandatsbezogenen Tätigkeit. Ihre Arbeiten geben nicht die Auffassung des Deutschen Bundestages, eines seiner Organe oder der Bundestagsverwaltung wieder. Vielmehr liegen sie in der fachlichen Verantwortung der Verfasserinnen und Verfasser sowie der Fachbereichsleitung. Arbeiten der Wissenschaftlichen Dienste geben nur den zum Zeitpunkt der Erstellung des Textes aktuellen Stand wieder und stellen eine individuelle Auftragsarbeit für einen Abgeordneten des Bundestages dar. Die Arbeiten können der Geheimschutzordnung des Bundestages unterliegende, geschützte oder andere nicht zur Veröffentlichung geeignete Informationen enthalten. Eine beabsichtigte Weitergabe oder Veröffentlichung ist vorab dem jeweiligen Fachbereich anzuzeigen und nur mit Angabe der Quelle zulässig. Der Fachbereich berät über die dabei zu berücksichtigenden Fragen.

Inhaltsverzeichnis

1.	Begriffe und Kontext	4
1.1.	Zugbeeinflussungssysteme	4
1.2.	Funktionsstufen des ETCS	4
2.	Technische Herausforderungen	7
2.1.	Interoperabilität	8
2.2.	Fahreigenschaften	10
2.3.	Positionen verschiedener Akteure	10

1. Begriffe und Kontext

1.1. Zugbeeinflussungssysteme

Züge können aufgrund ihres langen Bremswegs nicht auf Sicht fahren.¹ Sie erhalten deshalb explizit die Erlaubnis, einen freien Streckenabschnitt mit einer bestimmten Geschwindigkeit befahren zu dürfen. Mithilfe eines Zugbeeinflussungssystems werden die Züge überwacht und bei Bedarf abgebremst und gestoppt.² Ein solches digitales Zugbeeinflussungssystem ist das European Train Control System (ETCS). Das ETCS ist ein Baustein des European Rail Traffic Management System (ERTMS), ein europäisches Eisenbahnverkehrsleitsystem, das Standards für den Eisenbahnverkehr in Europa vereinheitlichen und normieren soll.³ Ziel des ERTMS ist es, "ein einheitliches Zugleit- und Zugsicherungssystem einzuführen, das grenzüberschreitenden Zugverkehr ohne den Einsatz weiterer nationaler Sicherungssysteme ermöglicht."⁴

Diese Arbeit gibt einen Überblick über Literatur, die sich mit den technischen Herausforderungen bei der Einführung von ETCS beschäftigt. Die rechtlichen Grundlagen der Einführung des ETCS und die Planungen auf EU-Ebene werden in früheren Arbeiten der Wissenschaftlichen Dienste dargelegt.⁵

1.2. Funktionsstufen des ETCS

ETCS kann in unterschiedlichen Funktionsstufen (Level) eingesetzt werden. **Level 1** entspricht in der Funktionsweise grundsätzlich dem in Deutschland vorhandenen System.⁶ Abbildung 1 zeigt eine Skizze der Funktionsweise von ETCS Level 1: Die (sich ändernden) Streckendaten, aus denen das Fahrzeug die zulässige Geschwindigkeit berechnet, werden punktuell von den Eurobalisen⁷ an das Fahrzeug übertragen.⁸ Die bereits vorhandenen, ortsfesten physischen Signale und das Gleisfreimeldesystem der Gleisinfrastruktur bleiben erhalten und dienen als Basis für ETCS

ETCS im Glossar der Allianz pro Schiene: https://www.allianz-pro-schiene.de/glossar/etcs-european-train-control-system/.

Ebd.

³ ERTMS auf der Homepage des Eisenbahnbundesamtes: https://www.eba.bund.de/DE/Themen/ERTMS/ertms_node.html.

⁴ Ebd.

Wissenschaftliche Dienste (2024): European Train Control System ETCS – Stand der Planung und Einführung in der EU, WD 5 – 3000 – 069/24; Wissenschaftliche Dienste (2024): Rechtliche Grundlagen des europäischen Zugbeeinflussungssystems (European Train Control System – ETCS), WD 5 – 3000 – 071/24.

⁶ ETCS im Glossar der Allianz pro Schiene: https://www.allianz-pro-schiene.de/glossar/etcs-european-train-con-trol-system/.

⁷ Im Gleisbett installierter, ortsfester Sender.

⁸ Schnieder (2022): European Train Control System (ETCS) – Einführung in das einheitliche europäische Zugbeeinflussungssystem, https://doi.org/10.1007/978-3-662-66055-3, Seite 24 f.

Level 1.9 Ein Gleisfreimeldesystem hat nicht nur die Aufgabe zu melden, ob ein Zug einen bestimmten Streckenabschnitt verlassen hat, sondern auch zu prüfen, ob der Zug noch vollständig ist oder Wagen sich etwa gelöst haben, die sich nun noch auf der Strecke befinden. Die Vollständigkeit des Zuges kann z. B. durch ein Achszählsystem geprüft werden.¹⁰

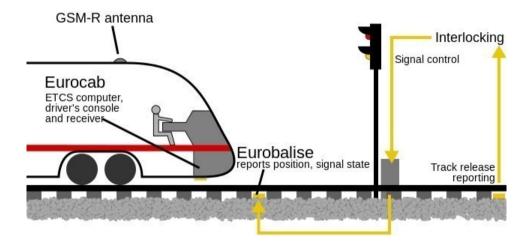


Abbildung 1: Systematische Darstellung der Funktionsweise von ETCS Level 1.11

Level 2 basiert auf einer kontinuierlichen Datenübertragung per Funk (siehe Abbildung 2). ¹² Das Gleisfreimeldesystem befindet sich weiterhin ortsfest in der Gleisinfrastruktur, die Eurobalisen dienen aber nur noch dazu, die (unveränderliche) Position der Balise an das Fahrzeug zu übermitteln. ¹³ Alle anderen Streckendaten werden per Funk an das Fahrzeug übertragen, das daraus dann z. B. die zulässige Geschwindigkeit berechnet. ¹⁴ Sofern die auf der Strecke verkehrende Fahrzeugflotte über eine entsprechende Ausrüstung verfügt, kann bei Level 2 auf physische Signale verzichtet werden. ¹⁵ ETCS Level 2 soll in Deutschland flächendeckend eingerichtet werden. ¹⁶

- 9 Ebd.
- 10 Ebd.
- 11 Abbildung entnommen: Homepage der Europäischen Kommission zu ETCS:

 https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/rail/ertms/what-ertms-and-how-does-it-work/etcs-levels-and-modes en.
- Schnieder (2022): European Train Control System (ETCS) Einführung in das einheitliche europäische Zugbeeinflussungssystem, https://doi.org/10.1007/978-3-662-66055-3, Seite 25.
- 13 Ebd.
- 14 Ebd., Seite 25 f.
- 15 Ebd., Seite 26.
- 16 Grundwissen ETCS der DB InfraGO: https://www.dbinfrago.com/web/schienennetz/etcs/grundlagen-etcs/grundwissen-etcs-12285634.

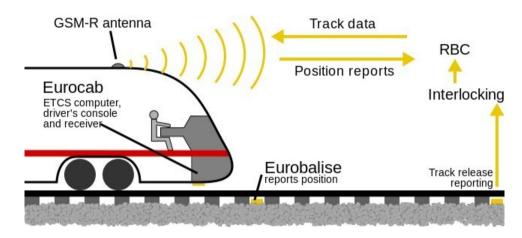


Abbildung 2: Systematische Darstellung der Funktionsweise von ETCS Level 2.17

Level 3 befindet sich derzeit noch in der Entwicklung und soll Level 2 weiter optimieren. ¹⁸ Weil bei Level 3 die Position und die Vollständigkeit des Zuges vom Fahrzeug selbst bestimmt und anschließend per Funk an die Infrastruktur gesendet werden, kann auf ein streckenseitiges Gleisfreimeldesystem verzichtet werden (siehe Abbildung 3). ^{19,20} Bei ETCS Level 3 sind die Streckenabschnitte, die ein Zug befahren darf, nicht mehr ortsfest, sondern bewegen sich mit dem Zug mit ("moving block"), was zu einer höheren Kapazität der Strecke führt. ²¹

Abbildung entnommen: Homepage der Europäischen Kommission zu ETCS: https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/rail/ertms/what-ertms-and-how-does-it-work/etcs-levels-and-modes_en.

¹⁸ ETCS im Glossar der Allianz pro Schiene: https://www.allianz-pro-schiene.de/glossar/etcs-european-train-control-system/.

Das setzt eine entsprechende Ausrüstung aller Fahrzeuge voraus, die auf diesem Streckenabschnitt verkehren.

Schnieder (2022): European Train Control System (ETCS) – Einführung in das einheitliche europäische Zugbeeinflussungssystem, https://doi.org/10.1007/978-3-662-66055-3, Seite 26.

²¹ Ebd.

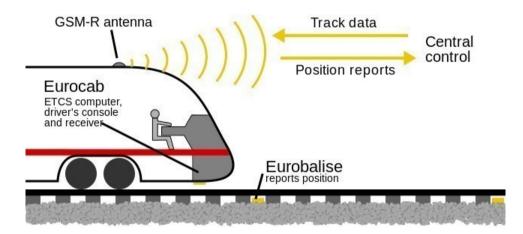


Abbildung 3: Systematische Darstellung der Funktionsweise von ETCS Level 3.²²

Schnieder weist darauf hin, dass kostenintensive technische Komponenten mit der Einführung von ETCS (insbesondere Level 3) von der Gleisinfrastruktur in die Fahrzeuge übergehen, wodurch sich die Lebenszykluskosten der Gleisinfrastruktur verringern, die der Fahrzeuge jedoch erhöhen.²³ Das wird aus Abbildung 3 deutlich.

Ausführlichere Informationen zur Funktionsweise von ETCS und zu den einzelnen Komponenten finden sich z. B. bei Schnieder²⁴, Maschek²⁵ oder Trinckauf et al.²⁶

2. Technische Herausforderungen

Im Folgenden wird Literatur aufgeführt, die die technischen Herausforderungen der Einführung von sowohl ETCS als auch ERTMS diskutiert. Es wird davon ausgegangen, dass die

²² Abbildung entnommen: Homepage der Europäischen Kommission zu ETCS:

https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/rail/ertms/what-ertms-and-how-does-it-work/etcs-levels-and-modes en.

Schnieder (2022): European Train Control System (ETCS) – Einführung in das einheitliche europäische Zugbeeinflussungssystem, https://doi.org/10.1007/978-3-662-66055-3.

²⁵ Maschek (2022): Sicherung des Schienenverkehrs – Grundlagen und Planung der Leit- und Sicherungstechnik, https://doi.org/10.1007/978-3-658-37633-8, Kapitel 7.5.

Trinckauf et al. (2020): ETCS in Deutschland, https://www.trackomedia.com/programm/rail/421/etcs-in-deutschland.

Herausforderungen bei ETCS ähnlich sind zu denen beim übergeordneten ERTMS. Der Fokus liegt dabei auf der Interoperabilität²⁷ beim Wechsel zwischen Teilsystemen, z. B. an Ländergrenzen.

Ranjbar und Olsson haben im Jahr 2020 anhand einer Literaturstudie untersucht, welche wesentlichen Herausforderungen bei der Einführung von ERTMS in der einschlägigen Fachliteratur behandelt werden. Die Hauptherausforderungen sehen sie darin

- die Komplexität des ERTMS zu reduzieren,
- klare und einheitliche Standards zu schaffen,
- Fahrzeugführerinnen bzw. Fahrzeugführer entsprechend den hohen Anforderungen des Systems auszubilden,
- den Mobilfunkstandard GSM-R, auf dem ERTMS derzeit basiert, durch das leistungsfähigere LTE zu ersetzen.²⁸

2.1. Interoperabilität

Schuitemaker und Rajabalinejad diskutieren Interoperabilitätsprobleme zwischen einzelnen Teilsystemen und -komponenten. ²⁹ Die technischen Spezifikationen von ERTMS sind in ihren Augen nicht präzise genug und mühevoll nachzuvollziehen. ³⁰ Unterschiedliche Herstellerfirmen und die bei jedem Infrastrukturprojekt wechselnden Beteiligten interpretieren diese technischen Spezifikationen unterschiedlich. ³¹ Das führt dazu, dass sich jedes individuell umgesetzte Teilprojekt von anderen Teilprojekten unterscheidet, was zu Problemen bei Übergängen zwischen den Teilsystemen führen kann. ³² Eigentlich sollte ERTMS eingeführt werden, um genau diese System-übergänge zwischen unterschiedlichen Teilsystemen zu vermeiden. ³³ Schuitemaker und Rajabalinejad sehen die Ursache für diese unterschiedliche Umsetzung der ERTMS-Spezifikationen auch

- 30 Ebd., Abschnitt V A.
- 31 Ebd.
- 32 Ebd.
- 33 Ebd.

Für eine Definition des Begriffs Interoperabilität und eine Abgrenzung zum Begriff Kompatibilität siehe z. B.: Homepage der Universität Stuttgart, Institut für Automatisierungstechnik und Softwaresysteme (2018): Die Bedeutung der Interoperabilität für das Internet der Dinge, https://www.ias.uni-stuttgart.de/service/begriffslexikon/bedeutung-der-interoperabilitaet-fuer-das-internet-der-dinge/.

²⁸ Ranjbar und Olsson (2020): Key challenges of European Rail traffic Management System, Proceedings of 8th Transport Research Arena TRA 2020, https://www.researchgate.net/profile/Vahid-R/publication/351854445 Key challenges of European Rail traffic Management System/links/6213a5e4f0228 6737cb295d5/Key-challenges-of-European-Rail-traffic-Management-System.pdf, Abschnitt 4.

²⁹ Schuitemaker und Rajabalinejad (2017): ERTMS Challenges for a Safe and Interoperable European Railway System, The Seventh International Conference on Performance, Safety and Robustness in Complex Systems and Applications 2017, https://research.utwente.nl/en/publications/ertms-challenges-for-a-safe-and-interoperable-european-railway-sy.

darin, dass es keine zentrale Instanz ("central designer") gibt, die den Überblick behält und auf eine einheitliche Umsetzung der ERTMS-Spezifikationen achtet.³⁴

Laut Ilczuk et al. führt der Spielraum, den die ERTMS-Spezifikationen bei der Umsetzung eines konkreten Projekts lassen, dazu, dass nicht vollständig gewährleistet werden kann, dass das Equipment der Lok mit dem der Infrastruktur interoperabel ist, auch wenn beide den ERTMS-Spezifikationen entsprechen.³⁵ Deshalb wird die Interoperabilität von Komponenten im Vorfeld von den Mitgliedsstaaten getestet. Allerdings zielen diese Tests in Regel darauf ab, die Interoperabilität mit den im eigenen Land verbauten Systemen und dessen nationalen Eigenheiten zu prüfen.³⁶ Die Tests unterscheiden sich deshalb von Land zu Land.³⁷ In Deutschland werden diese Tests vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt³⁸ oder vom Deutschen Zentrum für Schienenverkehrsforschung³⁹ beim Eisenbahnbundesamt durchgeführt.

Brune et al. führen in ihrer Untersuchung aus, dass die Weiterentwicklung von ETCS zwangsläufig zu einer Versionierung der technischen Spezifikationen von ETCS führt.⁴⁰ Hinzu kommen die oben genannten Spielräume, nationale Regelungen und eigene Konfigurationen der Eisenbahninfrastrukturunternehmen.⁴¹ Brune et al. stellen fest: "Die Anzahl der Systemübergänge (z. B. Levelwechsel) ist dabei begrenzt, die Variation der Systeme scheint jedoch unbegrenzt."⁴²

Ranjbar und Olsson weisen in einer zweiten Arbeit u. a. auf die Notwendigkeit hin, einzelne Komponenten des Systems aufwärts- und abwärtsinteroperabel zu gestalten.⁴³ Diese Notwendigkeit ergibt sich aus dem Umstand, dass ERTMS schrittweise eingeführt wird, die technischen

- 34 Ebd., Abschnit V B.
- Ilczuk et al. (2021): Analysis of the Possibility of Implementing Interoperability Tests on Polish Railways, Archives of Transport, https://doi.org/10.5604/01.3001.0015.5503, Abschnitt 2.
- 36 Ebd.
- 37 Ebd.
- Homepage des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt: https://www.dlr.de/de/ts/forschung-und-transfer/forschungsinfrastruktur/simulatoren/railsite.
- Homepage des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung: https://www.dzsf.bund.de/DZSF/DE/DasDZSF/Forschungsinfrastruktur/ETCS-Labor/etcs-labor inhalt.html.
- 40 Brune et al. (2021): ETCS an Landesgrenzen: Interoperabilität und Ausrüstungsvarianten, Signalling and Datacommunication, https://fahrweg.dbnetze.com/resource/blob/6355844/b17da390c35216b9c6fc8728d0a5be5a/ETCS-an-Landesgrenzen-Brune Kahnert Kalkreiber Lens--data.pdf, Abschnitt 1.2.
- 41 Ebd., Einleitung.
- 42 Ebd., Einleitung.
- Ranjbar und Olsson (2020): Towards Mobile and Intelligent Railway Transport: A Review of Recent ERTMS Relates Research, Computers and Railways XVII, https://www.witpress.com/elibrary/wit-transactions-on-the-built-environment/199/37679, Abschnitt 5.

Spezifikationen einer Versionierung unterliegen (s. o.) und das System anschließend über Jahrzehnte hinweg genutzt werden soll.

2.2. Fahreigenschaften

Rosberg et al. untersuchen anhand ihrer Literaturstudie⁴⁴ die Fahreigenschaften ("driveability") von Fahrzeugen unter ERTMS. Sie weisen darauf hin, dass die Anzahl und Art der vorgegebenen Geschwindigkeitsänderungen auf einem Streckenabschnitt die Fahreigenschaften negativ beeinflussen können, mit Konsequenzen bis hin zu einer möglichen Reduktion der Streckenkapazität.⁴⁵ Sie sehen deshalb die Notwendigkeit, eine Bewertung der Fahreigenschaften bereits in frühen Stadien der Netzplanung zu berücksichtigen.⁴⁶

2.3. Positionen verschiedener Akteure

Laut Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V. (VDV) kann die Umstellung auf ETCS einen Beitrag zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit der Eisenbahnen liefern.⁴⁷ Für eine erfolgreiche Umstellung muss laut VDV aber ein "einheitlicher Standard ohne nationale Sonderlösungen"⁴⁸ durchgesetzt werden, es dürfen keine "neuen technischen oder betriebliche Grenzen"⁴⁹ entstehen und die Finanzierung der Investitionen in die Eisenbahninfrastruktur muss sichergestellt werden.⁵⁰ Weil sich kostenintensive Technik vom Gleis in die Fahrzeuge verlagert,⁵¹ muss "politisch und regulatorisch [...] sichergestellt werden, dass die kostensenkenden Effekte für die Infrastruktur die Verkehrsmärkte erreichen."⁵²

Rosberg et al. (2021): Driveability analysis of the european rail transport management system (ERTMS) – A systematic literature review, Journal of Rail Transport Planning & Management, https://doi.org/10.1016/j.jrtpm.2021.100240.

⁴⁵ Ebd., Abschnitt 5.1.

⁴⁶ Ebd., Abschnitt 6.

Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V. (VDV) (2020): Modernisierung des deutschen Eisenbahnnetzes durch Digitalisierung und ETCS-Ausrüstung, Positionspapier, https://www.vdv.de/vdv-positionspapier-etcs-aktualisierung-september-2020.pdfx, Seite 3.

⁴⁸ Ebd.

⁴⁹ Ebd.

⁵⁰ Ebd.

⁵¹ Ebd., Seite 6.

⁵² Ebd., Seite 4.

Auch der Fahrgastverband Pro Bahn fordert in seinem Positionspapier "ETCS-Umrüstung"⁵³ u. a. eine schnelle und reibungslose Umrüstung,⁵⁴ eine "konsequente Ausrüstung mit ETCS Level 2"⁵⁵, eine "verpflichtende Ausrüstung aller Neuzuzulassender Fahrzeuge"⁵⁶ und einheitliche Lösungen für Grenzübergänge.⁵⁷

In einer für das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur 2018 erstellten "Machbarkeitsstudie zum Rollout von ETCS/DSTW"58 wird empfohlen, die flächendeckende Einführung von ETCS und digitaler Stellwerke (DSTW) kurzfristig zu beginnen.⁵⁹ Weiter wird empfohlen, "mit heute verfügbaren Technologien zu starten, diese jedoch in einem Zielbild einzusetzen, das für die Weiterentwicklung offen ist"⁶⁰, und diese Einführung bzw. Umrüstung mit einer entsprechenden Finanzierung sowohl der Infrastruktur als auch der Fahrzeuge zu unterstützen.⁶¹

* * *

Fahrgastverband Pro Bahn (2023): ETCS-Umrüstung, Positionspapier Fachausschuss Fernverkehr, https://www.pro-bahn.de/disk/pdf/Fachausschuss Fernverkehr - Positionspapier ETCS Umruestung.pdf.

⁵⁴ Ebd., Seite 2.

⁵⁵ Ebd.

⁵⁶ Ebd.

⁵⁷ Ebd.

McKinsey&Company (2018): Machbarkeitsstudie zum Rollout von ETCS/DSTW – Zusammenfassung der Ergebnisse, https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/E/machbarkeitsstudie-digitalisierung-schiene.pdf? blob=publicationFile.

⁵⁹ Ebd., Seite 7.

⁶⁰ Ebd., Seite 9.

Ebd., Abschnitt 4.2 f.