

Evaluation einer Zugfernsteuerung mit Tablet im Modellbahnaufbau

Erstellung und Usability-Test einer vereinfachten Zugfernsteuerung mittels Tablet und App Z21 im Projekt ARTE

ANJA NAUMANN | BEKIR ARSLAN |
HEIKO HERHOLZ | STEFANIE SCHÖNE

Im Projekt ARTE (Automatisiert fahrende Regionalzüge in Niedersachsen) wird der fahrerlose Betrieb in GoA 3/4 auf Regionalstrecken ohne ETCS-Streckenausüstung erforscht [1]. Ein wichtiger Bestandteil ist die Entwicklung und Untersuchung von Remote Train Operation (RTO) als Rückfallebene bei Ausfall der Automatic Train Operation (ATO) oder anderen Störfällen. Im Projekt ARTE ist das Ziel, dafür eine vereinfachte Fernsteuerung umzusetzen, die beispielsweise durch Zugbegleitpersonal oder einen Zugfernsteuerer bedient werden kann. In einem Nutzertest wurde zunächst überprüft, ob eine Fernsteuerung mittels Tablet und der Modellbahn-App Z21 praktikabel ist und welcher Optimierungsbedarf besteht, um diese Tablet-Lösung für die Fernsteuerung eines realen Zuges einzusetzen.

Aus ARTE heraus wurden bereits erste Ansätze aufgezeigt, wie eine Zugfernsteuerung in der Rückfallebene beispielsweise von Zugbegleitpersonal oder einem Zugfernsteuerer (sog. Remote Operator, der im Störfall den Zug manuell steuert, z.B. aus einer Zentrale heraus) übernommen werden könnte, und wie moderne Technologien (z.B. Tablets) die Arbeitsumgebung flexibilisieren können [2]. Im Projekt ARTE

wurde entschieden, eine Fernsteuerung mittels Tablet umzusetzen. Diese wurde zunächst in einem Modellbahnaufbau getestet. Methode und Ergebnisse dieses Nutzertests werden im Folgenden vorgestellt.

Methode

Versuchsaufbau

Tabletsteuerung

Für die Lösung der Tabletsteuerung wird ein großes Tablet (12,9 Zoll) benötigt. Die Verbindung zwischen dem Zug und dem Tablet wird über einen RTO-Server ermöglicht, welcher im Zug installiert ist. Für die Implementierung der Tabletsteuerung dient das Subset 139 als Basis. In den europäischen Normentwürfen ist der Fernsteuerbetrieb als Rückfallebene für GoA 4 vorgesehen. Die Standardisierung befindet sich noch in den Anfängen. Die Umsetzung einer vereinfachten Fernsteuerung ist sehr komplex und wird hier nur minimal wiedergegeben. Für eine ausführliche Erklärung der Fernsteuerung wird auf [3] verwiesen.

Die Modellbahn-App Z21 der Modelleisenbahn GmbH ermöglicht die Steuerung des Zuges. Hier wurden einige Funktionen des Subsets 139 durch die Buttons und Regler umgesetzt. Für den Nutzertest wurden zwei Benutzeroberflächen, eine einfache und eine ausführliche Version, mit der App konfiguriert. Die einfache Version beinhaltet 14 Funktionen (Batteriehaupt-

schalter, Türgrüschleife, Fahrstufe höher & niedriger, Türrückmeldung, Feststellbremse, Störmeldung, Schleudern des Zuges, Feuermelder, Tür öffnen & schließen, Türfreigabe links & rechts sowie Türfreimeldung. Abb. 1 zeigt die beispielhafte Darstellung der Benutzeroberfläche, die für die Tabletsteuerung vorgesehen ist. Auf der linken Seite befinden sich die Tasten mit den Funktionen und auf der rechten Seite das Videobild. Der Zugfernsteuerer kann das Videobild auf die linke Seite und die Steuerung mit den Tasten und Regler auf die rechte Seite verschieben, wie in Abb. 1a und b zu sehen.

Modellbahnaufbau

Die Modellbahn im H0-Maßstab für den Versuchsaufbau inklusive der benötigten Technik wurde von der Priorter Modulgesellschaft e.V. (PMG) bereitgestellt. Alle Modelleisenbahnteile sind mit genormten Übergangsstücken ausgestattet, die es erlauben, bei jedem Aufbau ein komplett neues Modellbahnnetz zu erstellen. Die Planung erfolgte mit einem CAD-Programm. Kennzeichnend für die PMG ist die Nachbildung vorbildgerechter Betriebsszenarien. Daher wird für jede Veranstaltung ein Fahrplan erstellt. Für die Kommunikation zwischen den Zugmeldestellen und im Zugleitbetrieb wurde eine Telefonanlage auf IP-Basis mit Tischfernsprechern und ergänzenden Mobilgeräten installiert. Die Mitglieder der PMG besetzten in der Versuchsdurchführung Dienstposten wie Fahrdienstleiter (Fdl), Triebfahrzeugführer (Tf) und Zugleiter (Zlr).

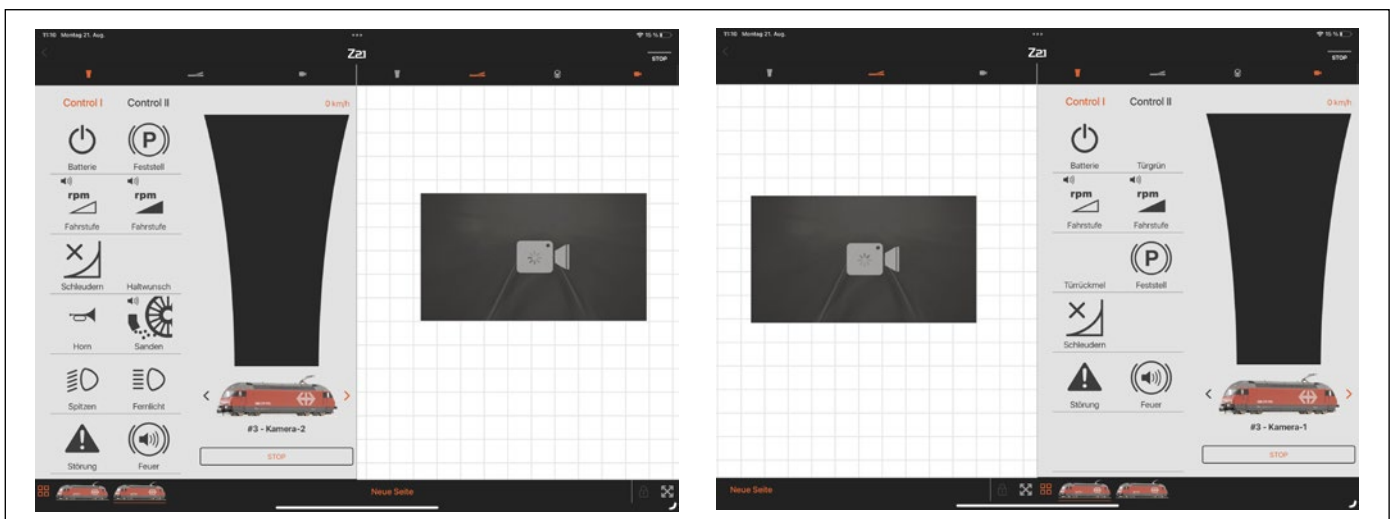


Abb. 1a u. b: Benutzeroberfläche der Z21 App

Quelle: eigene Darstellung / Modelleisenbahn AG

Viele der Vereinsmitglieder sind in der Bahnbranche tätig und bringen daher entsprechendes betriebliches Wissen mit. Insgesamt ergibt sich dadurch ein Umfeld, in dem sich betriebliche Fragestellungen aller Art hervorragend erproben lassen. Für den hier durchgeführten Versuch wurde auf einer Grundfläche von ca. 230 m² ein Netz mit fünf Zugmeldestellen (Zmst) und zwei zusätzlichen Bereitstellungsbahnhöfen aufgebaut. Der Takt-Fahrplan bestand aus vier Umläufen im Regionalverkehr und sieben Umläufen im Fernverkehr. Ergänzt wurde das durch Güterzüge unterschiedlicher Gattungen. Alle Betriebsstellen waren mit Signalen ausgestattet. Zum Einsatz kamen dabei die Signalsysteme H/V (sowohl Form- als auch Lichtsignale), HI und Ks. Als Modellbahndigitalzentrale kam die Z21 der Modelleisenbahn GmbH zum Einsatz. Von diesem Hersteller stammt ebenfalls das Versuchs-Tfz, eine Re 460 mit integrierter Videokamera (Abb. 2). Die Videobild-Übertragung erfolgte über ein WIFI-Modul in der Modelllokomotive auf das Tablet zur Fernsteuerung.

Alle Bahnhöfe waren mit vorbildgerechten Signalen ausgestattet. Abb. 3 zeigt den Bahnhof (Bf) Darss mit HI-Signalen.

Die feine Landschaftsgestaltung der PMG-Module bietet auch Szenarien wie das Befahren unbeschränkter Bahnübergänge (Abb. 4).

Arbeitsplatz des Remote Operators

In einem von der Modellbahnanlage abgetrennten Raum befand sich der provisorische Arbeitsplatz (Abb. 5) für den Zugfernsteuerer (Remote Operator), bestehend aus einem Stuhl und einem Tisch, auf dem sich das Tablet, das Telefon zur Kommunikation mit den Fdl, das Gerät „IB Control 2“ als Uhr, ein Walkie-Talkie zur Kommunikation mit der Versuchsleitung befand. Über dem Tisch war der Gleislageplan auf Papier angebracht.

Fragebögen

Es wurde der Standardfragebogen SUS (System Usability Scale [4]) zur Erfassung der subjektiv empfundenen Usability (Benutzerfreundlichkeit) einer technischen Anwendung verwendet. Der SUS besteht aus zehn jeweils leicht abgewandelten Aussagen über die Usability, von denen jeweils fünf positiv bzw. fünf negativ formuliert sind. Die Zustimmung bzw. Ablehnung zu allen Aussagen wird auf einer Likert-Skala mit fünf Optionen bewertet. Daraus wird der SUS-Score ermittelt, der als Prozentwert interpretiert werden kann, wobei 100 % einem perfekten System entsprechen.

Des Weiteren wurde ein vom DLR für den spezifischen Nutzertest selbst entwickelter zusätzlicher Fragebogen zur Tablet-Steuerung mit der App Z21 eingesetzt. Die enthaltenen Fragen sind in der Ergebnisdarstellung aufgeführt.

Versuchsteilnehmer

Am Nutzertest nahmen 13 Personen (alle männlich) teil. Dies waren zehn Tf, ein Fdl und ein Ausbilder für Fdl. Die Berufserfahrung betrug zwei



Abb. 2: Versuchsloks (Baureihe Re460 mit integrierter Videokamera) im Bereitstellungsbahnhof Wehda

Quelle: DLR/PMG



Abb. 3: Bf Darss mit HI-Signalen

Quelle: DLR/PMG



Abb. 4: Landschaftsgestaltung der FREMO-Module

Quelle: DLR/PMG

Frage	Ja	Nein	Anzahl Nennungen
Fanden Sie die zur Verfügung stehenden Funktionen ausreichend für die Steuerung des Zuges?	2	11	
Falls nein: Welche Funktionen hätten Sie unbedingt noch gebraucht?			
Bremsanzeigeeinrichtungen / Druckluftanzeige der Bremsen			5
Zugsicherungssystem (PZB / ETCS)			4
Zugkraft			3
Horn			3
separater Fahrbremshebel			2
Diagnoseeinrichtungen für Fahrmotoren, Lüfter, Hauptluftleitung, Hauptluftbehälter			2
separate Bremsen: E-Bremse, indirekte- u. Zusatzbremse			2
Notstopp			1
Leistungsanzeige			1
Scheibenwischer			1
Sifa-Taste			1
Hauptschalter			1
Stromabnehmer			1
Sandung			1
Türstatus			1
Abblendfunktion für Gegenlicht			1
BÜ-Sicherung			1
mehr hochauflösende Kameras zur Fahrtwegbeobachtung			1
Falls nein: Welche Funktionen hätten Sie gern noch zusätzlich gehabt (nicht zwingend notwendig)?			
Scheibenwischer			1
Fokus-Funktion des Kamerabildes			1
Zugseitenkamera (analog BR 484)			1
Waren alle zur Steuerung notwendigen Informationen auf dem Bildschirm verfügbar?	6	7	
Falls nein: Welche Informationen haben gefehlt?			
Statusmeldungen der Lok			1
Zugkraft			1
Fahrspannung			1
alle Anzeigen zur Bremse, Luft, Diagnose usw.			1
Fehlerspeicher			1
Streckeninformation relativ zum Zugstandort bspw. für Distanz zum nächsten Signal, aktueller Bf o.ä.			1
Farbtreue ungenau			1
Ton / Audiowiedergabe fehlt			1
Fahrplan, Langsamfahrstellen fehlen			1
War das Videobild ausreichend groß?	0	13	
Hat Ihnen das Videobild einen ausreichenden Überblick über die betriebliche Situation verschafft?	2	11	
Falls nein: Welche Informationen haben gefehlt?			
Signale erst sehr spät erkennbar wegen zu geringer Größe und schlechter Auflösung			4
keine klare Abschätzung der Entfernung möglich			1
Gegenlicht blendet zu stark			1
Signalnamen nicht lesbar			1
Bilder rechts und links aus den Seitenfenstern			1
bessere Auflösung und Erkennbarkeit der verschiedenen Farben notwendig			1
evtl. Einblendung von Fahrplaninformationen oder aktuell zulässiger Höchstgeschwindigkeit			1
Videobild muss deutlich größer, Videobild schärfer sein			1
Kontrast bei Gegenlicht zu gering			1
Farbe schwer differenzierbar (gelb vs. grün)			1
Rückansicht			1
Stromabnehmer			1
Kupplung fürs Rangieren			1
größerer Blickwinkel			1
Außenansicht für Wagen			1

Tab. 1: Fragebogen zur Tablet-Steuerung

Frage	Zu klein	Genau richtig	Zu groß
Wie beurteilen Sie die Größe der Symbole?	0	12	1
Wie beurteilen Sie die Größe der Beschriftung?	3	10	0
Wie beurteilen Sie die Größe des Tablets für die Steuerung des Zuges mit der App? (auf die Steuerung und die Größe des Bilds bezogen)	6	6	1
Frage	Ja	Nein	Anzahl Nennungen
Fanden Sie das Tablet handlich?	13	0	
Hatten Sie Probleme mit der Bedienung des Tablets bzw. der App?	5	7	
Falls ja: Welche?			
instabile Videoverbindung: Bild stockt (Standbild) bzw. stürzt ab, konnte teilweise nur durch Neustart der Funktionen behoben werden			4
Sprünge in der Antriebsleistung			1
Fenster verschiebbar bei ungenauer Bedienung			1
Haben die Kommunikationsprozesse gut funktioniert? (Telefon war in dem Moment kaputt)	12	1	1
Können Sie sich vorstellen, einen echten Zug mit einem Tablet zu steuern?	6	7	
Falls ja: In welcher betrieblichen Situation?			
Rangieren			4
nur in Notfällen, um die Strecke zu räumen bei niedriger Geschwindigkeit			2
Be- und Entladen			1
U- u. S-Bahn			1
in Anschlussgleisen			1
im Bahnbetriebswerk			1
Regelbetrieb, Betrieb nach Ril 408 ohne Störungen			1
keine BÜ			1
volle Streckenkunde, ggf. Person vor Ort			1
Bereitstellen ohne Fahrgäste bei langsamer Geschwindigkeit (<= 40 km/h)			1
bei Störungen			1
Falls ja: In welchem Geschäftsbereich?			
Nebenbahn / Nebenstrecke			2
Privatbahnhöfe			1
Stichstrecke ohne BÜ / Strecke 408 ohne BÜ			1
sehr gute Funkabdeckung			1
Personen- u. Güterverkehr			1
auf Strecken mit wenig Betriebsaufkommen			1
regulär im Rangierbereich			1
Notfälle und Bereitstellung bei Hauptbahnen			1
Reiseverkehre, Nahverkehr, bis max. 40 km/h			1
auf Strecken mit gesicherten BÜ			1
Falls nein: Warum nicht?			
keine Möglichkeit, in Problemsituationen einzugreifen			1
Informationen fehlten			1
Verbindung brach oft ab			1
der Touchscreen gibt zu wenig haptisches Feedback			1
Fahrpult würde Steuerung erleichtern			1
Störungen			1
fehlende Übung und der Umgang			1
man merkt nicht, was das Fahrzeug macht (Schleudern / Bremsen)			1
noch zu wenige Sicherheiten			1
wichtigste sicherheitsrelevante Funktionen noch nicht vorhanden (Loksteuerung, Sicherungen, Ansichten, Fahrplanangaben)			1
Müsste an der App noch etwas verändert werden, damit man einen echten Zug steuern kann?	13	0	
Falls ja: Was genau?			
Videobild deutlich größer, Videobild schärfer, z. B. 1,5-2x so groß			3
Anordnung der Bedienelemente / Bild anders arrangieren			2
präziser Fahr- / Bremsregler			1

Frage	Ja	Nein	Anzahl Nennungen
Anzeige Geschwindigkeit größer und möglichst in grün			1
mehr Infos notwendig			1
Bilder in Echtzeit sind ein sicherheitsrelevantes Element			1
beschriebene Funktionen ergänzen			1
klassische Bedienung (Hebel/Taster)			1
klassischer Tacho			1
Abblenden von Gegenlicht			1
Nachtsichtmodus bei Dunkelheit			1
Integration von live-Daten zur Strecke			1
ggf. overlay mit Hinweis / Einrahmung relevanter Objekte im Bild			1
Anzeige Geschwindigkeit größer			1
Implementierung sicherheitsrelevanter Funktionen			1
Welche Anmerkungen haben Sie noch zur Zugfernsteuerung mit einem Tablet?			
ordentliche / stabile Bildübertragung muss vorhanden sein			1
die Reaktionsgeschwindigkeit des Tablets ist zu langsam			1
Steuerung am besten nicht mit Tablet, sondern haptischen Elementen			1
in Verbindung mit einem Fahrpult wäre es eine gute Lösung			1
zum gefühlvollen Bremsen vielleicht Joystick zusätzlich			1
Welche Anmerkungen haben Sie noch zur Steuerung mit der verwendeten App?			
evtl. Symbole und Regler anders platzieren, damit man nicht aus Versehen drauf kommt			1



Abb. 5: Arbeitsplatz des Zugfernsteuerers

Quelle: DLR / PMG

bis 40 Jahre (MW 8,2 Jahre). Eine weitere Person hatte Bahnerfahrung, war aber in keinem der vorgenannten Berufe tätig. Die Verteilung über die Altersgruppen war die folgende: 5 x 21-29 Jahre, 3 x 30-39 Jahre, 3 x 40-49 Jahre, 2 x 50-59 Jahre.

Versuchsablauf

Zunächst erhielten die Teilnehmer eine kurze Erläuterung zum Projekt, dann eine Einweisung in die Tablet-Steuerung/App. Dann erfolgte die Durchführung der Fernsteuerung im Fahrplanbetrieb. Abschließend füllten die Versuchsteilnehmer den Fragebogen SUS und den selbst entwickelten Fragebogen zur Tablet-Steuerung mit der App Z21 aus. Der Versuch dauerte insgesamt individuell 1-2,5 Stunden, je nach Strecken-

kenntnis und WLAN-Qualität. Vier Teilnehmer haben dabei aus technischen bzw. zeitlichen Gründen nur die einfache Interfacevariante verwendet, neun Teilnehmer haben die Hin- und Rückfahrt mit jeweils einfacher (hin) und ausführlicher Interfacevariante (rück) durchgeführt.

Ergebnisse

Fragebögen

System Usability Scale (SUS)

Mit den in der App Z21 umgesetzten Funktionen wurde ein SUS-Score von 70,8 (Standardabweichung=10) erreicht. Ein Score von 100 wäre optimal, 80 entspräche sehr guter Usability. Die

App Z21 in unserem Anwendungsfall mit den sehr eingeschränkten Funktionen erzielte also eine mittlere bis gute Usability. Die Mehrheit der Versuchsteilnehmer fand die App Z21 einfach zu benutzen, nicht unnötig komplex und schnell erlernbar. Die Mehrheit der Versuchsteilnehmer fand die Funktionen in der App recht gut integriert und gab eine mittlere gefühlte Sicherheit bei der Bedienung an. Etwa die Hälfte der Versuchsteilnehmer meinte, sie bräuchte noch weitere Unterstützung (z.B. Handbuch), um die App nutzen zu können, und einige Versuchsteilnehmer empfanden Ungereimtheiten im Bedienkonzept.

Fragebogen zur Tablet-Steuerung mit der App Z21

In Tab. 1 sind alle Fragen des selbst erstellten Fragebogens mit den jeweiligen Antworten und der Anzahl der Nennungen dargestellt.

Sonstige Beobachtungen

Insgesamt fiel zum einen besonders der Einfluss der Streckenkenntnis auf: In einem Bogen der Strecke, in der sich ein Signal ohne Vorsignal befand, wurde dieses mehrmals übersehen und überfahren. Bei Versuchsteilnehmern, die sich vor der Fahrt einen groben Überblick über die Signalstandorte verschafft hatten, wurde in dem Bogen die Geschwindigkeit vermindert und das Signal im Videobild gesucht. Dieser Effekt verstärkte sich bei Ruckeln im Videobild, das durch Abbrüche in der WLAN-Verbindung verursacht wurde.

Zum anderen gingen Versuchsteilnehmer sehr unterschiedlich mit den erwähnten Aussetzern der Videoverbindung um. Während einige darauf vertrauten, dass das Bild nach kurzer Zeit

wieder einsetzen würde, wurde an Abschnitten, in denen keine Signale zu erwarten waren, die Geschwindigkeit nicht reduziert. Andere Versuchsteilnehmer brachten den Zug schon bei kurzen Aussetzern des Bildes zum Stehen und leiteten dann eine Störungsbehebung ein.

Fazit

Insgesamt konnte im Nutzertest festgestellt werden, dass die Fernsteuerung mittels Tablet und App Z21 eine praktikable Lösung darstellt. Zentrale Erkenntnisse waren, dass auch für die Fernsteuerung Streckenkenntnis erforderlich ist, dass das Videobild eine ausreichende Größe bzw. Auflösung und Qualität haben und ersichtlich sein muss, wann die Verbindung (WLAN) abgebrochen und das Videobild ein Standbild ist. Weitere Optimierungsansätze wurden aufgezeigt. In Folgeprojekten sollte betrachtet werden, welche von den Versuchsteilnehmern als wichtig erachteten Funktionen noch umgesetzt werden sollten und wie haptische Bedienelemente ggf. eine sinnvolle Ergänzung zur Tablet-Steuerung sein könnten. ■

Förderhinweis

Die hier vorgestellten Arbeiten werden durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) im Fachprogramm „Neue Fahrzeug- und Systemtechnologien“ gefördert. Die vorliegenden Inhalte sind im Rahmen des Projektes „ARTE – Automatisiert fahrende Regionalzüge in Niedersachsen“ entstanden.

QUELLEN

- [1] Specht, F.; Michels, A.; Adebahr, F.-A.; Meirich, C.; Hofstädter, R.; Milius, B.; Naumann, A.: Automatisiertes Fahren in Niedersachsen – ARTE. Automated driving in Lower Saxony – ARTE, SIGNAL+DRAHT (114) 09/2022, S. 10–16
 [2] Adebahr, F.-A.; Milius, B.; Naumann, A.: Flexible Arbeitsumgebungen für die ATO-Rückfallebene, EI – DER EISENBAHNINGENIEUR, 01/2023, S. 39–41. Tetzloff Verlag. ISSN 0013-2810
 [3] Bekehermes, T. et al.: ARTE – eine technische Lösung für fahrerlose Züge auf Nicht-ETCS-Strecken, SIGNAL+DRAHT 12/2023
 [4] Brooke, J.: SUS: A 'quick and dirty' usability scale. In Jordan, P.; Thomas, B.; Weerdmeester, B. & McClelland, I. L. (ed.) Usability Evaluation in Industry. S. 189–194, Taylor & Francis, 1996



Anja Naumann

Wissenschaftliche Mitarbeiterin
 Institut für Verkehrssystemtechnik
 Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Berlin
 anja.naumann@dlr.de



Bekir Arslan

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
 Fachgebiet Bahnbetrieb und Infrastruktur
 Technische Universität Berlin, Berlin
 barslan@railways.tu-berlin.de



Heiko Herholz

Technischer Mitarbeiter
 Fachgebiet Bahnbetrieb und Infrastruktur
 Technische Universität Berlin, Berlin
 heiko.herholz@tu-berlin.de



Stefanie Schöne

Wissenschaftliche Mitarbeiterin
 Institut für Verkehrssystemtechnik
 Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Braunschweig
 stefanie.schoene@dlr.de

Handbuch Bremstechnik von Eisenbahnfahrzeugen

Theorie – Konstruktion – Betriebseinsatz

Das **neue Referenzwerk** für die Bremstechnik stellt neue **gesetzliche Regelwerke** vor, die in den letzten Jahren zur **Herstellung der Interoperabilität im europäischen Eisenbahnverkehr** entstanden sind. Dabei werden die an die Bremskomponenten gestellten Anforderungen erläutert.



**Neuerscheinung –
jetzt zum Vorbestellpreis!**

1. Auflage Dez. 2023,
 Hrsg. Dieter Jaenichen,
 ca. 350 Seiten, Hardcover,
 ISBN 978-3-96245-259-9,
 Print mit E-Book Inside,
Vorbestellpreis € 75,-*
 (statt € 89,- ab 2.1.2024)
[www.trackomedia.com/
bremstechnik](http://www.trackomedia.com/bremstechnik)

MIT
E-BOOK
INSIDE

**Mehr Infos und Bestellung:
www.trackomedia.com**



MIT
E-BOOK
INSIDE

Handbuch Erdbauwerke
 Print mit E-Book Inside € 89,-*
[www.trackomedia.com/
erdbauwerke](http://www.trackomedia.com/erdbauwerke)



**Neuaufgabe
Oktober 2023!**

MIT
E-BOOK
INSIDE

**Kommentar zur Eisenbahn-
Bau- und Betriebsordnung (EBO)**
 Print mit E-Book Inside € 98,-*
[www.trackomedia.com/
ebokommentar](http://www.trackomedia.com/ebokommentar)

* Preise inkl. MwSt, zzgl. Versand

BESTELLUNGEN:
 Tel.: +49 7953 718-9092
 Fax: +49 40 228679-503
 E-Mail: office@trackomedia.com
 Online: www.trackomedia.com

PER POST:
 GRT Global Rail Academy and
 Media GmbH / Trackomedia
 Kundenservice
 D-74590 Blauffelden

Unsere Bücher erhalten Sie auch im gut sortierten Buchhandel.