



MUSTER

DER **EI** EISENBAHN INGENIEUR

INTERNATIONALE FACHZEITSCHRIFT
FÜR SCHIENENVERKEHR & TECHNIK

HERAUSGEBER:
VERBAND DEUTSCHER
EISENBAHN-INGENIEURE E.V.

VDEI

Projekt ARTE –

Wie eine Modellbahn-App ein
reales Triebfahrzeug steuert

Fahrzeuginstandhaltung –

Effizienzsteigerungen durch den
Digitalen Regelwerksassistenten

Digitaler Zwilling –

Monitoring von Radsatzlagern
mittels Langzeitmessungen

DAC4EU –

Bisherige Ergebnisse und geplante
Aktivitäten im Projektverlauf

Alternative Antriebe –

Untersuchungen zum
klimaneutralen Rangierbetrieb

VDEI

**5. VDEI Geotechnik-
Kolloquium 2025**

18. März 2025
in Neustadt a. d. Weinstraße

MUSTER



Foto: Axel Hartmann

Expertise auf Spur

Der VDEI

Im Verband Deutscher Eisenbahn-Ingenieure e.V. – VDEI – haben sich rund 4.000 Fachleute aus verschiedenen Bereichen der Bahnbranche zusammengeschlossen, um ein Netzwerk aus Kompetenz und Wissen zu schaffen. Hierdurch stärken wir das moderne Berufsbild der Eisenbahn-Ingenieure und -Ingenieurinnen in der Gesellschaft und innerhalb der Unternehmen.

Professionelles Netzwerk

Treffen Sie sich zum Austausch auf Augenhöhe: VDEI-Mitglieder sind bei namhaften Unternehmen der Bahnbranche, bei Behörden, bei Bildungs- und Forschungsträgern tätig. Dieses starke Netzwerk bietet fachlichen Austausch und Beratung zu allen Themen des spurgeführten Verkehrs – mit regionalen Fortbildungsveranstaltungen und Exkursionen sowie bundesweiten digitalen Fachvorträgen.

Persönliche Weiterentwicklung

Die VDEI-Akademie für Bahnsysteme bietet Ihnen attraktive Fachtagungen, Seminare und Workshops zu aktuellen Themen. Der VDEI veranstaltet außerdem den iaf Kongress BahnBau in Münster und die weltweit größte internationale Ausstellung für Fahrweg-technik (iaf). Die iaf vom 20.-22. Mai 2025 wieder in Münster statt. Infos unter iaf-messe.com

Fachliche News

„DER EISENBAHNINGENIEUR“ sowie das Jahrbuch „EISENBAHN INGENIEUR KOMPENDIUM“ (EIK) sind für Mitglieder inklusive.

Die Mitgliedschaft steht allen Ingenieuren, Ingenieurinnen und Mitarbeitenden mit verwandten Qualifikationen offen, die in den Systemen des spurgeführten Verkehrs tätig sind.



MUSTER

» Die Verkehrsverlagerung auf die Schiene ist ein ‚no-brainer‘. «

Neele Wesseln, Geschäftsführerin,
DIE GÜTERBAHNEN (Netzwerk Europäischer Eisenbahnen (NEE) e.V.)



Warum die Politik den Güterverkehr nicht länger ignorieren kann

In den 366 Seiten der Wahlprogrammentwürfe von SPD, BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN, FDP, Union, AfD und BSW taucht das Wort „Güterverkehr“ lediglich vier Mal auf – „Schienengüterverkehr“ sogar nur ein einziges Mal. Diese Zahlen zeigen ein erschreckendes Desinteresse an einem Thema, das für Stabilität und Kooperation in Europa entscheidend ist. Ohne Güterverkehr würde der internationale Handel ins Wanken geraten. Umso befremdlicher ist es, dass die Parteien hierzu nahezu sprachlos bleiben, da das Thema für Wähler:innen auf den ersten Blick nicht wahlentscheidend scheint. Eine leistungsfähige Infrastruktur ist die Grundlage für jede Beförderung. Zusammen mit den Transportunternehmen bildet sie das Rückgrat der deutschen Industrie, die auf schnelle und zuverlässige Lieferungen angewiesen ist. Die Stärkung von Infrastruktur und die Verlagerung relevanter Gütermengen auf die Schiene sind daher essenzielle Maßnahmen, um wirtschaftliche, ökologische und soziale Ziele zu erreichen. Aus Sicht der Güterbahnen in Deutschland sind für die nächste Legislaturperiode drei Ziele entscheidend:

1. Reorganisation der Eisenbahn

Die Deutsche Bahn AG (DB) verfehlt seit vielen Jahren ihre Ziele. Auch trotz der Gründung der DB InfraGO AG hat sich die Situation der Schieneninfrastruktur weiter verschlechtert. Ungeachtet der unzureichenden Mittelausstattung seitens des Bundes ist die DB für die schlechte Performance des Verkehrsträgers Schiene maßgeblich mitverantwortlich. Die Erfahrungen der letzten Jahrzehnte zeigen: Eine echte Trennung von Netz und Betrieb ist alternativlos, um das natürliche Monopol Infrastruktur kunden- und gemeinwohlorientiert aufzustellen und fairen Wettbewerb auf der Schiene zu gewährleisten. Dafür müssen alle Schieneninfrastrukturen aus dem DB-Konzern herausgelöst und in einem effizient gesteuerten, gemeinwohlorientierten Bundesunternehmen gebündelt werden.

2. Investitionen in die Schieneninfrastruktur stabil mit einem Fonds finanzieren

Das Reden über Sanierung und Ausbau des überalterten und zu kleinen Schienennetzes muss auch Konsequenzen haben. Nur mit einem überjährig gesicherten Schieneninfrastrukturfonds mit festgelegten Finanzierungsquellen können die notwendige Planungssicherheit, Umsetzungsgeschwindigkeit und wirtschaftliche Effizienz erreicht werden. Vor allem beim Neu- und Ausbau muss endlich mehr in die Schiene als in die Straße investiert werden und keine „Entweder-Oder“-Politik im Zusammenhang mit der genauso wichtigen Sanierung stattfinden.

3. Trassenpreissystem reformieren

Durch den Haushaltstrick „Eigenkapitalerhöhungen“ drohen wegen des hierfür nicht gedachten Mechanismus im Eisenbahnregulierungsgesetz die Trassenpreise ohne Verbesserung der Qualität sprunghaft anzusteigen. Darunter leiden nicht nur die Eisenbahnverkehrsunternehmen, sondern im Fall des Schienengüterverkehrs vor allem auch die verladende Industrie. Das Trassenpreissystem muss grundlegend reformiert und damit planbar und transparent gestaltet werden. Eine Studentin brachte es in einem meiner Gastvorträge kürzlich treffend auf den Punkt: „Die Verkehrsverlagerung auf die Schiene ist ein ‚no-brainer‘“. Es bleibt zu hoffen, dass die Politiker:innen des nächsten Bundestages dies genauso sehen und die genannten Ziele konsequent verfolgen.

EDITORIAL



Marcel Jelitto, Chefredakteur

Liebe Leserinnen, liebe Leser,

ich hoffe, Sie sind gut und entspannt ins neue Jahr gestartet!

Das Jahr 2025 wird – nicht nur eisenbahntechnisch – wieder interessant. So findet direkt in diesem Monat am 23. Februar die vorgezogene Neuwahl des deutschen Bundestages statt. Wir sind gespannt, wie sich die Ergebnisse auf die Schiene auswirken werden.

Auch geht es 2025 mit den Generalsanierungen wichtiger Streckenabschnitte weiter, u.a. mit der Zielsetzung, langfristig die Zuverlässigkeit und die Pünktlichkeit im System Bahn zu erhöhen.

Wo wir gerade beim Thema Infrastruktur sind: In Bezug auf Fahrwegtechnik und Bahnbau sollten Sie sich einen wichtigen Termin für dieses Jahr bereits vormerken. Vom 20. bis 22. Mai 2025 findet die 29. Internationale Ausstellung Fahrwegtechnik (iaf) in Münster statt. Auch im neuen Jahr erwarten Sie wieder abwechslungsreiche und spannende Artikel im EI – DER EISENBAHNINGENIEUR. In dieser Ausgabe geht es insbesondere um innovative Themen. So stellt Samuel Böcker den Einsatz von HVO100 als Kraftstoff bei Rangierlokomotiven vor. Ferner werfen wir einen Blick auf den aktuellen Stand der Erprobung der „Digitalen automatischen Kupplung“ (DAK) im Projekt DAC4EU. Ein wichtiger Schritt für einen europäischen Schienengüterverkehr!

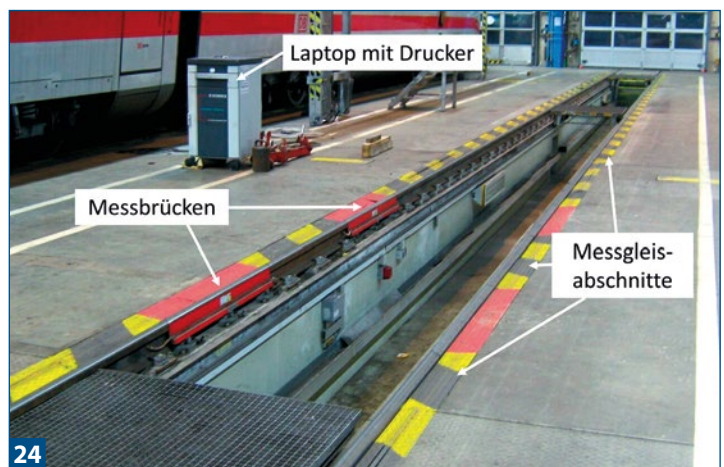
Ich wünsche Ihnen viel Freude mit dieser neuen EI-Ausgabe!

Marcel Jelitto

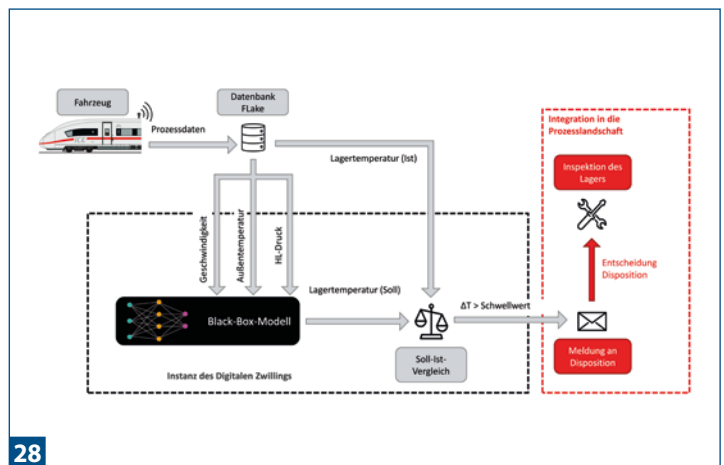
MUSTER



22



24



28



Text zum Titelbild:

Die Erprobung der Digitalen Automatischen Kupplung (DAK) geht in großen Schritten voran. Hier im Bild: Der Testlauf für einen Kupplungs-umbau an einem Schiebewandwagen in einer Pop-up-Werkstatt. Ab S. 32 lesen Sie mehr zu verschiedenen DAK-Projekten sowie den bisherigen Aktivitäten und zukünftigen Erprobungen im Projekt DAC4EU.

Quelle: Deutsche Bahn AG/Oliver Lang

MUSTER

DER EISENBAHN INGENIEUR



32

STANDPUNKT

Neele Wesseln

- 03 Warum die Politik den Güterverkehr nicht länger ignorieren kann**

FACHBEITRÄGE

Alexander Pfitzner | Gordon Isaac | Thomas Renner

- 06 Digitale Karten für das vollautomatisierte Fahren auf der Schiene**

Bekir Arslan | Timo Ramsdorf | Heiko Herholz

- 10 ARTE – Eine Zugfahrt mit Z21**

Justin Adam | Frederik-Alexander Adebahr | Birgit Milius

- 13 RTO-Erprobung im Spannungsfeld zwischen Testmethodik und Safety**

Pascal Pomberg | Ralf Spickenbaum | Alexander Stork

- 18 Digitalisierung der Instandhaltung bei der DB Fernverkehr AG**

Pawel Klos | Jasmin Bungert

- 22 Schnell und einfach – Visuelle Erkennung von Ersatzteilen**

Steffen Kuhn | Frank Wolf | Ingo Trockels | Udo Raeuber

- 24 RAKME – Anlagen zur Radaufstandskraftermittlung**

Markus Tesar | Stephan Leineweber

- 28 Digitaler Zwilling: Höhere Verfügbarkeit für Radsatzlager**

Daniel Jobstfinke | Fabian Wartzek

- 32 DAK-Erprobung im Projekt DAC4EU**

Johannes Seubert | Hans Lindow

- 36 Laserscanning zur Bestandsaufnahme von Personenbahnhöfen**

Insa Pohlenga | Jörg Schulze | Benjamin Wagner vom Berg | Franziska Giese | Senad Hasanspahic | Uta Kühne | Matthias Eiden | Martin Wittmaier | Sebastian Wolf | Marco Wöltje | Sebastian Doderer

- 40 Wie können Rangierloks klimaneutral betrieben werden?**

Samuel Böcker

- 44 DB Energie hat Verträglichkeit von HVO100 an Tankstellen getestet**

Regina Iglauer-Sander

- 48 Innovationen auf der iaf 2025**

Regina Iglauer-Sander

- 50 10. Fachtagung zur Sanierung von Ingenieurbauwerken feiert Jubiläum**

RUBRIKEN

- 51 Veranstaltungen | Bahn-Nachrichten**
56 Personalia
58 Rail-Web-Weiser
61 Industrie-Report
64 Impressum

VDEI

- 57 VDEI-Veranstaltungen**
65 VDEI-Nachrichten

Wir möchten hiermit darauf hinweisen, dass wir in den Fachbeiträgen aufgrund der besseren Lesbarkeit entweder die männliche oder weibliche Form von personenbezogenen Hauptwörtern wählen. Wo möglich verwenden wir geschlechtsneutrale Alternativen. Meinungsbeiträge können auf ausdrücklichen Wunsch der verfassenden Person von dieser Regel ausgenommen sein. Dies impliziert keinesfalls eine Benachteiligung anderer Geschlechtsidentitäten.



Eurailpress Fachartikelarchiv

Alle Beiträge sind unter www.eurailpress.de/archiv/ dauerhaft hinterlegt. Finden Sie weitere Aufsätze der Autoren oder nutzen Sie die Volltextsuche für Ihren individuellen Informationsbedarf. Abonnenten steht dieses Angebot kostenlos zur Verfügung.

Digitale Karten für das vollautomatisierte Fahren auf der Schiene

Einblicke in Anwendung, Erstellung und Bereitstellung digitaler Karten für den automatisierten Bahnbetrieb

ALEXANDER PFITZNER | GORDON ISAAC |
THOMAS RENNER

Digitale Karten sind eine zentrale Voraussetzung für den vollautomatisierten, fahrerlosen Bahnbetrieb im „Automatic Train Operation – Grade of Automation 4“ (ATO GoA 4). Sie stellen eine hochgenaue digitale Abbildung der Infrastruktur dar und unterstützen eine zuverlässige Hinderniserkennung sowie präzise Zuglokalisierung. Für digitale Karten im Bahnbetrieb ist ATO GoA 4 ein Anwendungsfall und aktuell ein wichtiger Gegenstand von Entwicklung und Standardisierung. Die zunehmende Bedeutung des Themas erfordert die Entwicklung neuer Kartenerstellungs- und Verarbeitungsprozesse. Durch die enge Zusammenarbeit der Sektorinitiative Digitale Schiene Deutschland (DSD) mit der Industrie im Projekt Automated Train und der europäischen Initiative Europe's Rail Joint Undertaking (ERJU) wird eine wichtige Grundlage für die Zukunft des automatisierten Bahnbetriebs gelegt.

Einführung

Bedeutung der digitalen Karte für den automatisierten Bahnbetrieb

Zahlreiche Projekte der DSD haben in den letzten Jahren verdeutlicht, dass digitale Karten grundlegend für einen digitalisierten Bahnbetrieb sind. So wurde beispielsweise im Projekt Sensors4Rail (2019–2023) das Zusammenspiel aus sensorbasierter Umfeldwahrnehmung und Zugortung mit einer digitalen Karte intensiv getestet [1]. Eine präzise und detaillierte digitale Darstellung der Eisenbahnumgebung ist entscheidend, um einen automatisierten Bahnbetrieb in ATO GoA 4 zu ermöglichen, bei dem der Zug vollautomatisiert und fahrerlos fährt sowie das Eingreifen bei Gefahrensituation durch technische Systeme übernommen wird. Die digitale Karte beinhaltet statische Infrastrukturdaten, wie etwa Objekte entlang der Gleise, die als dreidimensionale Landmarken digitalisiert werden. Zu den Landmarken gehören beispielsweise Oberleitungsmasten, Signale und Bahnsteige. Zudem ist die Streckentopologie des Schienennetzes in der digitalen Karte enthalten.

In der Systemarchitektur der DSD wird die digitale Karte für den ATO-Betrieb durch das Digitale Register (DR) bereitgestellt. Das DR ist eine Plattform, die als zentrale Quelle für Infrastrukturdaten fungiert und diese für verschiedene Anwendungen des digitalen Bahnsystems bereitstellt [2]. Im Pilotprojekt „Digitaler Knoten Stuttgart“ [3] ist das DR ein Bestandteil der ATO-Zentrale und stellt betriebliche Infrastrukturdaten zur Erstellung von Journey und Segment Profiles gemäß Subset 125 für den ATO-GoA 2-Betrieb im gesamten Knoten bereit. Auch das von der DSD entwickelte, KI-basierte Capacity and Traffic Management System (CTMS) ist auf aktuelle Infrastrukturdaten aus dem DR angewiesen, um eine effiziente digitale Planung und Steuerung zu gewährleisten [4]. Darüber hinaus benötigt das neue, im Rahmen der „Advanced Digital Infrastructure (ADI)“ von der DSD mitentwickelte, zugbasierte Sicherungssystem zuverlässige Infrastrukturdaten aus dem DR, um den Betrieb in sogenannten „Moving Blocks“ zu realisieren [5, 6]. Das DR ist damit nicht nur ein zentraler Baustein für die Umsetzung von ATO GoA 4, sondern auch eine Grundlage für die Digitalisierung und Automatisierung des Bahnsystems. Es gewährleistet eine einheitliche und konsistente Datengrundlage, die essenziell für einen nahtlosen digitalen Bahnbetrieb ist.

Das DR ist inzwischen ein Bestandteil europäischer Standardisierungsaktivitäten. Es wird im Rahmen der europäischen Initiative ERJU spezifiziert und standardisiert. Dadurch sollen zukünftig alle europäischen Bahnen auf kompatible Infrastrukturdaten zugreifen können [2]. Als Betreiber der Eisenbahninfrastruktur ist die DB InfraGO AG (DB InfraGO) verpflichtet, allen Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) diskriminierungsfreien Zugang zum Schienennetz und den dafür erforderlichen Infrastrukturdaten zur Verfügung zu stellen. Vor diesem Hintergrund strebt die DB InfraGO an, eine führende Rolle bei der Entwicklung und deutschlandweiten Einführung des DR unter Berücksichtigung europäischer Standardisierungsaktivitäten zu übernehmen.

Anwendung und Nutzen der digitalen Karte im ATO-GoA 4-Betrieb

Verwendung findet die digitale Karte in einem ATO-GoA 4-Betrieb vor allem für zwei Hauptanwendungen: die Hinderniserkennung und die Lokalisierung. Für die Hinderniserkennung dient die digitale Karte als Referenz für die

Zugsensorik, um die Umgebung zu analysieren und zwischen sicheren und potenziell unsicheren Situationen zu unterscheiden [7]. Die Lokalisierung ermöglicht durch die Verwendung von Gleismittelachse, Gleisgeometrie und markanten Landmarken entlang der Strecke eine präzise Positionierung des Zuges [8]. Darüber hinaus hat sich die digitale Karte als eine wichtige Datenquelle bei der Erstellung eines digitalen Zwillings erwiesen, der zur Simulation von Szenarien für den automatisierten Zugbetrieb genutzt wird [9]. Mithilfe der digitalen Karte lässt sich eine fotorealistische Nachbildung des Bahnsystems erzeugen. So können unter anderem seltene Störfälle, wie etwa ein Gepäckstück auf den Gleisen, realitätsnah und in unterschiedlichsten Konstellationen simuliert werden. Diese Szenarien werden verwendet, um verschiedene Sensoren sowie Hinderniserkennungsalgorithmen und -systeme unter realistischen Bedingungen kostengünstig zu testen und zu bewerten, bevor mit aufwendigeren Feldtests begonnen wird [10]. Darüber hinaus treten viele zu testende Störfälle, wie z.B. ein ins Gleis geworfener E-Scooter oder gefallenes Trampolin (z.B. bei Starkwind), in der Realität selten auf, sodass die Erkennung dieser nur mittels simulierter Szenarien trainiert werden kann.

Das Digitale Register und die digitale Karte im Projekt AutomatedTrain

Das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz geförderte Projekt „AutomatedTrain (AT)“ [11] hat das Ziel, durch fahrerlose, vollautomatisierte Bereitstellungs- und Abstellfahrten den Fahrzeugeinsatz flexibler zu gestalten und der sich verstärkenden demographischen Entwicklung zu begegnen. Dies ist eine zentrale Voraussetzung für die Steigerung des Verkehrsaufkommens auf der Schiene. Zum Konsortium gehören, neben der DB InfraGO, neun weitere Partner aus Industrie, EVU, Eisenbahninfrastrukturbetreibern und Wissenschaft.

Im Rahmen des AT-Projekts liefert das DR den fahrzeugseitigen Hindernis- und Lokalisierungssystemen die erforderliche digitale Karte. Die dafür notwendigen Prozesse und Systeme werden von den Experten der DSD in dem Projekt entwickelt. Gleichzeitig müssen die genauen Inhalte und Qualitätsanforderungen der digitalen Karten in Zusammenarbeit



Abb. 1: Kinematisch eingemessene Punktwolke

Quelle aller Abb.: Digitale Schiene Deutschland / DB InfraGO AG

mit der Industrie definiert werden, damit diese die Systeme und Algorithmen entwickeln kann, die für die Hinderniserkennung und Lokalisierung im ATO-GoA 4-Betrieb benötigt werden. Die Ergebnisse werden in die ERJU-Arbeitsgruppen eingebracht, um langfristig einen offenen und herstellerunabhängigen Kartenstandard zu etablieren.

Die erste Erprobung der entwickelten Systeme wird auf einem Testgelände der Havelländischen Eisenbahn Gesellschaft (HVLE) in Berlin-Spandau ab 2025 stattfinden.

Kartenherstellung

Bei der Erstellung der digitalen Karte werden Bestandsdaten der DB InfraGO um weitere Infrastrukturobjekte und detailliertere Repräsentationen dieser ergänzt. Für einige dieser Informationen ist eine Neuvermessung der Strecken erforderlich. Zwar umfassen die Bestandsdaten den Standort der meisten relevanten Infrastrukturobjekte entlang der Strecke, allerdings sind deren Ausrichtung und die dreidimensionalen Abmessungen der Objekte nicht immer vorhanden. Diese sind im Rahmen der genannten Hinderniserkennung notwendig, da die Ausdehnung eines Objektes zur Differenzierung zwischen eigentlichem Objekt und unerwartetem Hindernis notwendig ist. Aus diesem Grund werden die Bestandsdaten um sogenannte 3D-Objekte ergänzt. Des Weiteren existieren häufig keine Angaben über die Zuverlässigkeit und Genauigkeit der Lageinformation. Gerade diese Qualitätskennzeichen der Karte sind allerdings für die sich aus dem Anwendungsfall ATO GoA 4 ergebenden Sicherheitsanforderungen relevant.

Kinematische Vermessung mittels Punktwolken

Als Grundlage für die Erstellung der 3D-Objekte dienen hochgenau eingemessene Punktwolken. Diese sind eine Sammlung von Datenpunkten in einem dreidimensionalen Koordinatensystem, die durch die Vermessung der Oberfläche eines Objekts oder einer Umgebung mit Laserscannern und anderen Sensoren erzeugt werden. Zur Durchführung dieser Vermessung werden die durch eine Produktfreigabe (Ril 883.600) der DB vorgegebenen Multisensorsysteme verwendet. Mittels zweifacher LiDAR-Sensoren wird bei langsamer bis mittelschneller Fahrt die unmittelbare Umgebung der Gleisbereiche gescannt und mithilfe von mehreren optischen Kameras in 360° fotografiert. Zur Sicherstellung der geometrischen Genauigkeit wird zuvor ein Festpunktfeld entlang der Strecke ertüchtigt. Dieses Feld umfasst ausreichend Passpunkte, welche zur hochgenauen Lagekorrektur der Daten benötigt werden. Passpunkte sind fest definierte und eindeutig identifizierbare Punkte auf der Erdoberfläche, die mit hochgenauen Instrumenten eingemessen werden. Im Anschluss an die sensorbasierte Vermessung wird ein Teil dieser Passpunkte für die Lagekorrektur der eingemessenen Punktwolke verwendet. Die Farbinformation der Kamerabilder wird zusätzlich auf die Punktwolken projiziert, um ihnen ein fotorealistisches Aussehen zur besseren kontextbezogenen Auswertung und Plausibilitätsprüfung zu geben (Abb. 1).

Da die Einmessung der Punktwolken in der Prozesskette am Anfang steht und geometrische Ungenauigkeiten große Auswirkungen auf spätere Prozessschritte haben, ist die

hochgenaue Erfassung von zentraler Bedeutung. Einige Passpunkte werden vorgehalten und nicht für die Kalibrierung verwendet, sondern als Referenzpunkte genutzt, um die Lagegenauigkeit der Punktwolke unabhängig zu bewerten.

Objekterkennung und Kartenerstellung

Punktwolken bilden den unmittelbaren Gleisbereich in seiner Gänze ab. Durch eine notwendige, hohe Punktdichte entsteht bei der Abbildung von längeren Gleisbereichen ein sehr hohes Datenvolumen. Außerdem sind Informationen zu Objekttypen und -geometrien nur indirekt und durch Interpretation der Punktwolke zu entnehmen. Daher ist es notwendig, die Daten für die Verwendung im Rahmen des automatisierten Fahrens in ein hierfür geeigneteres Format zu überführen.

Durch die Verwendung einer semantischen Karte, welche einzelne Objekte durch Attribute und vereinfachte Geometrien beschreibt, kann sowohl das notwendige Datenvolumen stark reduziert als auch die Interpretation der Daten erheblich vereinfacht werden. Ein weiterer Vorteil der semantischen Karte ist ihre Sensorunabhängigkeit. Sie lässt sich unabhängig vom verwendeten Sensortyp interpretieren, und verschiedene Sensoren können gleichzeitig auf denselben Kartendatenbestand zugreifen.

Zur Erstellung der semantischen Karte wird eine Objekterkennung innerhalb der Punktwolke durchgeführt. Dabei werden Objekte identifiziert und durch eine vereinfachte Geometrie in Punkt, Linien- oder Polygonform dargestellt. Details von geringer Größe werden hierbei ignoriert, die Grundmaße und -form

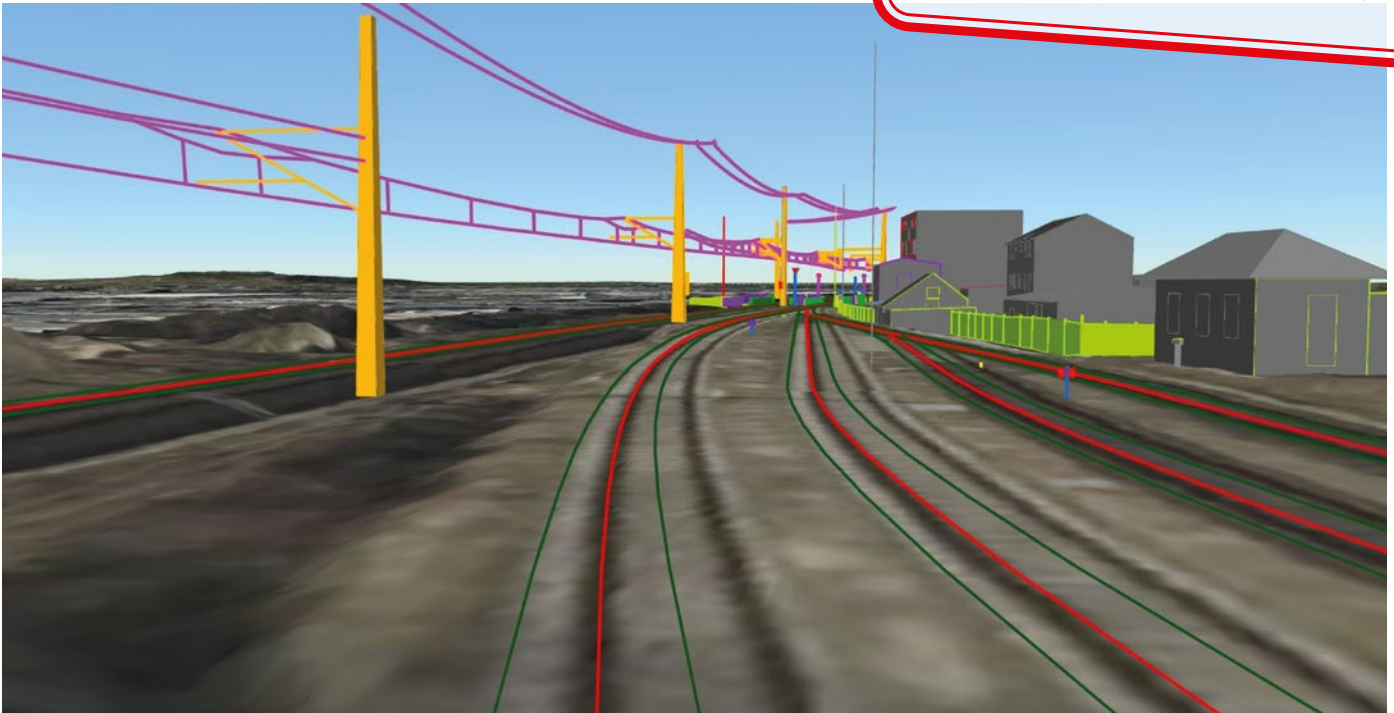


Abb. 2: Aus einer Punktwolke abgeleitete semantische Objekte

der Objekte werden jedoch berücksichtigt. Dieser Schritt wird als Labeling bezeichnet. Abb. 2 zeigt die so entstandenen vereinfachten Objekte.

Zu erfassende Objekte wurden in Abstimmung mit den Projektpartnern definiert und in einem Objektkatalog zusammengefasst, der als Grundregelwerk für die Digitalisierung der benötigten Objekte dient. Insgesamt sind, neben Grundobjekten wie Gleise, Masten aller Art, Lärmschutzwänden und Bahnsteigen, aktuell ca. 40 Objekte definiert.

Diese neu erstellten dreidimensionalen Objekte werden zunächst in mehreren Schritten und mit verschiedenen Methoden plausibilisiert und verifiziert und anschließend mit den Bestandsdaten zusammengeführt, sodass eine ganzheitliche Karte entsteht.

Bereitstellung der digitalen Karte im Zug

Die eingangs genannte Initiative ERJU definiert und standardisiert die Schnittstellen, welche benötigt werden, um die digitale Karte sowohl im Zug als auch weiteren zentralen Systemen zur Verfügung zu stellen. Eine besondere Herausforderung besteht dabei auch in der Sicherstellung der Synchronität der Daten über mehrere Systeme hinweg. Dabei werden im Projekt auch Kartenupdates und die Möglichkeit der Kommunikation über das neue Future Railway Mobile Communication System (FRMCS) untersucht [12].

Im Projekt AT entwickeln die Projektpartner gemeinsam ein ergänzendes Datenformat, welches ausschließlich die für die zugeseitigen Systeme notwendigen Kartendaten in einer geeigneten Repräsentation enthält und dabei auch die neuen dreidimensionalen Objekte

abbildet. Dieses Format wird anschließend ebenfalls in die Standardisierung überführt, um die Interoperabilität zwischen verschiedenen Anbietern und Zugsystemen gewährleisten zu können.

Herausforderungen und Lösungen

Da sich die Kartenerstellung in unterschiedliche Prozessschritte gliedert, u. a. Vermessung, Objektabschätzung und -weiterverarbeitung, ist es notwendig, einen kumulierten Gesamtfehler zu berechnen und diesen im Rahmen von Sicherheitsbetrachtungen zu bewerten. Eine große Herausforderung stellt der Nachweis der Genauigkeit und Vollständigkeit der digitalen Karte dar. Diese wird hauptsächlich während der kinematischen Vermessung bestimmt. Einen starken Einfluss auf die Lagegenauigkeit der kinematischen Vermessungen haben komplizierte Topografien, wie beispielsweise unterirdische Bereiche, Täler, zwischen Hochhäusern eingebettete Abschnitte oder Kreuzungen mit Starkstromüberlandleitungen, die sich negativ auf den GNSS-Empfang auswirken können.

Auch gestaltet sich eine mit einem Messzug durchgeführte vollständige kinematische Vermessung oft als herausfordernd. In vielen Streckenabschnitten teilen sich S-Bahn, Regional-, Güter- und Fernverkehr die Gleise, sodass die Taktrate und daraus resultierend die Zeitfenster für kinematische Messfahrten in hochfrequentierten Bereichen in Metropolregionen häufig eingeschränkt sind.

Einschränkungen bei der Abtastung ergeben sich aufgrund der Tatsache, dass LiDAR-Scanner nur die in direkter Luftlinie sichtbaren Orte erfassen können. Bereiche hinter Wänden und

Gebäuden oder auf Nachbargleisen abgestellten Zügen bleiben außen vor und können zu einer unvollständigen Abtastung des unmittelbaren Gleisbereiches führen.

Manuelles Labeling ist mit einem hohen Aufwand verbunden. KI-gestützte Klassifizierungs- und Extraktionsalgorithmen ermöglichen bereits eine teilweise Automatisierung. Die zentrale Herausforderung im Kartenerstellungsprozess aus DSD-Sicht besteht jedoch darin, die Sicherheitsanforderungen aus dem Anwendungsfall ATO GoA 4 in Bezug auf Zuverlässigkeit und Genauigkeit zu erfüllen. Für kurze Strecken, etwa bei Bereitstellungs- und Abstellfahrten, kann auf manuelles Labeling zurückgegriffen werden. Langfristig ist dieser Aufwand jedoch nicht skalierbar, falls eine Kartenerstellung für größere Netzbereiche notwendig wird.

Das DR verwaltet statische Infrastrukturdaten über alle Phasen ihres Lebenszyklus. Durch Umbauten, Neubauten oder infrastrukturelle Anpassungen unterliegt die reale Umgebung einem ständigen Wandel. Eine Herausforderung ist es, die Kartendaten stets aktuell, sicher und konsistent zu halten, insbesondere da der aktuelle Prozess noch einige manuelle und zeitaufwendige Schritte umfasst. Der Lebenszyklus der Daten besteht aus einer Preparation und einer Publish Phase [2]. Während der Preparation Phase werden die Daten importiert und nach vorgegebenen Regeln aggregiert und validiert. In der Publish Phase werden die aktuellen Daten in der jeweils gleichen Version den verschiedenen Systemen zur Verfügung gestellt. So wird eine konsistente Datenhaltung sichergestellt.

MUSTER

Zusammenfassung und Ausblick

Die Entwicklungen in Richtung ATO GoA 4 stellen neue Herausforderungen an die digitale Karte: Die zugewiesenen Systeme stellen erweiterte Anforderungen an die Inhalte der Karte. Erstmals werden darüber hinaus auch Sicherheitsaspekte in den Vordergrund gestellt, da zukünftig sicherheitsrelevante Zugsysteme auf der digitalen Karte basieren werden. Diese neuen Anforderungen bedingen die Entwicklung neuer Kartenerstellungs- und Verifizierungsprozesse. Die Grundlagen für diese neuen Prozesse werden aktuell in diversen Projekten der DSD gemeinsam mit der Industrie gelegt, bei denen die Kartenerstellung erprobt wird und Formate zum Austausch neuer Kartendaten entwickelt und getestet werden.

Basierend auf den gewonnenen Erkenntnissen werden die notwendigen Systeme entwickelt und Formate standardisiert.

QUELLEN

- [1] Hauswald, C. et al.: Sensors4Rail: Ein Erfolgsprojekt ist zu Ende, DER EISENBAHNINGENIEUR 09/2023, https://digitale-schiene-deutschland.de/Downloads_Mediathek/55_61_Hauswald_et_al.pdf
- [2] Kreyenberg, D. et al.: Digitales Register – die „Single Source of Truth“ für Infrastrukturdaten für das vollautomatisierte Fahren, SIGNAL+DRAHT 6/2024, https://digitale-schiene-deutschland.de/Downloads_Mediathek/06_15_Kreyenberg_Digitales_Register_SignalDraht.pdf
- [3] Digitaler Knoten Stuttgart, <https://digitale-schiene-deutschland.de/de/projekte/Hochautomatisiertes-Fahren-DKS>
- [4] Küpper, M.: Das Capacity & Traffic Management System für die Digitale Schiene, DER EISENBAHNINGENIEUR 10/2023, https://digitale-schiene-deutschland.de/Downloads/2310_EI_Artikel_CTMS_K%C3%BCpper.pdf
- [5] Skowron, F.; Treydel, R.: Blöcke waren gestern – Chancen einer zugzentrischen LST, DER EISENBAHNINGENIEUR 11/2022, https://digitale-schiene-deutschland.de/Downloads/34_39_Skowron_Treydel_neu.pdf

- [6] Leuteritz, J. et al.: Advanced Digital Infrastructure – betriebliche Zeichen und Wege zur Automatisierung der Zukunft ETR – Eisenbahntechnische Rundschau 06/2024, https://digitale-schiene-deutschland.de/Downloads/ETR_ADI_Artikel_Leuteritz_Schiffmann_Schneider_07_08_24_Belegexemplar.pdf
- [7] Innovatives Hinderniserkennungssystem wird erstmalig bei der S-Bahn Berlin erprobt, Siemens Mobility Pressemitteilung 06/2024, <https://siemens-mobility.com/de/pressenachrichten/2024/06/innovatives-hinderniserkennungssystem-wird-erstmals-bei-der-s-bahn-berlin-erprobt>
- [8] Nitzschke, H. et al.: SafeRailMap – Sichere Gleisdaten für eine sichere Zuglokalisierung, DER EISENBAHNINGENIEUR 10/2020, https://digitale-schiene-deutschland.de/Downloads_Mediathek/Artikel%20SafeRailMap-%2010-20.pdf
- [9] Digitale Schiene Deutschland und NVIDIA arbeiten an einem digitalen Zwillings des Schienennetzes, Digitale Schiene Deutschland 11/2020 <https://digitale-schiene-deutschland.de/de/aktuelles/2022/Digitaler-Zwilling>
- [10] Spenneberg, D.; Bauer, M.; Ghee, M.; Krönke, S.; Teststrategie zur Vermeidung von Feldtests bei der Entwicklung vollautomatisiert fahrender Züge, SIGNAL+DRAHT 11/2024, S. 67-76
- [11] Digitale Schiene Deutschland, AutomatedTrain, <https://digitale-schiene-deutschland.de/en/projects/AutomatedTrain>
- [12] Digitale Schiene Deutschland, FRMCS/5G-Datenkommunikation, <https://digitale-schiene-deutschland.de/FRMCS-5G-Datenkommunikation>



Alexander Pfitzner

Geodata Engineer
Digitale Schiene Deutschland
DB InfraGO AG, Berlin
alexander.pfitzner@deutschebahn.com



Dr. Gordon Isaac

Product Owner
Digitale Karte für ATO GoA 4
Digitale Schiene Deutschland
DB InfraGO AG, Berlin
gordon.isaac@deutschebahn.com



Dr. Thomas Renner

Circle Lead Digital Register
Digitale Schiene Deutschland
DB InfraGO AG, Berlin
thomas.th.renner@deutschebahn.com

Wir sind dort, wo Ihre Kunden sind.

1. Halbjahr 2025

DER
EISENBAHN
INGENIEUR

FEBRUAR
Heft 2

13.02. – 14.02.2025

27. Jahrestagung der Eisenbahn-Sachverständigen (EBA), Berlin

06.03. – 07.03.2025

Wiener Eisenbahnkolloquium, Wien

MÄRZ
Heft 3

20.03.2025

66. VDEI Oberbaufachtagung, Darmstadt

18.03.2025

5. VDEI Geotechnik-Kolloquium, Neustadt an der Weinstraße

31.03. – 01.04.2025

VDEI Kongress BIM in der Infrastruktur, Dresden

APRIL
Heft 4

13.04. – 15.04.2025

49. Tagung Moderne Schienenfahrzeuge, Graz

05.05. – 07.05.2025

2. ÖPNV-Zukunftskongress 2025, Freiburg

MAI
Heft 5

20.05. – 22.05.2025

iaf 29. Internationale Ausstellung Fahrzeugtechnik, Münster

02.06. – 05.06.2025

transport logistic, München

JUNI
Heft 6

15.06. – 18.06.25

UITP Summit, Hamburg

17.06. – 19.06.2025

VDV-Jahrestagung, Hamburg

Weitere Infos: Silke Härtel • Telefon: 040/237 14-227 • silke.haertel@dvvmedia.com

Änderungen vorbehalten.

ARTE – Eine Zugfahrt mit Z21

Mit einer Modellbahn-App ein echtes Triebfahrzeug steuern

BEKIR ARSLAN | TIMO RAMSDORF |
HEIKO HERHOLZ

Im Projekt ARTE (Automatisiert fahrende Regionalzüge in Niedersachsen) wird der fahrerlose Betrieb in Grade of Automation (GoA) 3 und 4 auf Regionalstrecken ohne ETCS-Streckenausrüstung (ETCS, European Train Control System) erforscht [1]. Ein zentraler Bestandteil ist die Remote Train Operation (RTO) als Rückfallebene. Ein Ziel ist die Entwicklung einer vereinfachten Zugfernsteuerung mittels eines Tabletcomputers. Für die Steuerung wird die Modellbahn-App „Z21“ verwendet. Dabei wurden Usability-Versuche im Modellbahnaufbau durchgeführt, um die Nutzbarkeit der App zu untersuchen [2]. Im Frühjahr 2024 wurde mit der Z21-App der Triebzug Coradia LINT41 gesteuert [6].

Die Z21-App

Die Fa. Modelleisenbahn GmbH (Fa. Modelleisenbahn) mit ihren Handelsmarken Roco und Fleischmann ist ein großer Modellbahnhersteller, der für die Steuerung der Miniaturbahnen auf zeitgemäße Modellbahn-Digitaltechnik setzt. Dabei ist in den Modelllokomotiven ein Empfänger (Decoder) vorhanden, der über das Modellbahngleis seine Energieversorgung bezieht und zielgerichtet Daten erhält. Diese Daten werden in Aktivitäten wie die Steuerung der Fahrtrichtung, der Geschwindigkeit und Licht- sowie Soundfunktionen umgesetzt. Zur Datengenerierung wird allgemein eine Digitalzentrale eingesetzt. Im System der Fa. Modelleisenbahn werden die Zentralen „Z21“ genannt. Neben dem Anschluss für das Gleis

besitzen diese Geräte auch eine Netzwerkverbindung, die zusammen mit einem Router auch eine WLAN-Verbindung ermöglicht. Zur Steuerung per WLAN bietet die Fa. Modelleisenbahn im App Store auf iOS-Geräten und im Play Store von Android-Geräten die Z21-App an. Diese lässt sich wahlweise auf Smartphones oder Tablets installieren. Wird die Z21-App auf Tablets betrieben, dann lassen sich in der Queransicht zwei Fahrregler nebeneinander betreiben und damit die Fahrtrichtung und Geschwindigkeit von Modelllokomotiven regulieren. Ergänzende Funktionsbuttons sind aus einer Symbolauswahlliste konfigurierbar und können die Funktionen der Modelllokomotiven steuern.

Derzeit zwar nicht im Programm der Fa. Modelleisenbahn, aber im Bestand des Fachgebiets Bahnbetrieb und Infrastruktur sind Modelltriebfahrzeuge mit Kamera im H0-Maßstab. Kommen diese zum Einsatz, dann wird das Videobild der Modelllokomotive per WLAN übertragen und in die Steuerungsansicht der Z21-App übertragen. Im Rahmen des ARTE-Projektes wurde diese Möglichkeit für Usability-Versuche bei einem Modellbahnaufbau genutzt und lieferte wertvolle Erkenntnisse für die weitere Arbeit im Projekt [2].

Das Netzwerk-Steuerungsprotokoll zwischen Z21-App und Z21-Digitalzentralen wurde von der Fa. Modelleisenbahn offengelegt und steht auf der Webseite z21.eu zum kostenlosen Download zur Verfügung.

Triebfahrzeugschnittstelle

Die Triebfahrzeugschnittstelle basiert auf der standardisierten Schnittstelle Subset 139, die die Grundlage für die Kommunikation zwischen Triebfahrzeug (Tfz) und Steuerungseinheit definiert. Diese Schnittstelle beschreibt

detailliert die Funktionen des Tfz, wie sie angesteuert werden und wie Protokolle übertragen werden. Im Subset 139 sind unter anderem Spezifikationen zur Bitzählung, Kommunikationsabläufe und Ansteuerungsmethoden enthalten. Dadurch wird eine einheitliche und zuverlässige Steuerung ermöglicht.

Subset 139 bietet eine Vielzahl an Steuerungsmöglichkeiten. Im Rahmen des Projekts ARTE wurden diese Funktionen spezifisch auf die Steuerung von Tfz wie dem LINT41 angewandt. Konkret umfassten die implementierten Steuerungsmöglichkeiten:

- Beschleunigen und Bremsen des Tfz
- Aktivierung von zehn Leuchtmeldern (beispielsweise: Gleiten, Schleudern, Fahrbereit, Tfz steht still usw.)
- Steuerung der Türfreigabe
- weitere Funktionen wie Odometriedaten usw.

Sicherheitskritische Funktionen, wie die Bedienung des Horns oder der Sicherheitsfahrschaltung (Sifa), wurden bewusst nicht in die Tabletsteuerung integriert.

In Zusammenarbeit mit dem Alstom Telematics-Team in Mannheim und dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) wurden zusätzliche Randbedingungen für die Nutzung der Schnittstelle definiert. Dazu zählten unter anderem:

- Anpassung und Definition von Timeouts
- Implementierung eines zyklischen Lebenszeichenprotokolls zur Überwachung der Verbindung zwischen Tfz und Tablet.

Falls diese Lebenszeichenprotokolle dreimal in Folge nicht akzeptiert werden, wird die Verbindung zwischen Tablet und Tfz automatisch abgebrochen. In einem solchen Fall wird eine Schnellbremsung eingeleitet. Das Tfz LINT41 wurde im Projekt ARTE erfolgreich mit der Subset 139-Schnittstelle betrieben. Durch die definierten Protokolle konnte eine zuverlässige und sichere Kommunikation zwischen Tfz und Tablet sichergestellt werden. Eine detaillierte Beschreibung der Schnittstelle und ihrer Spezifikationen findet sich in [6].

Konverter

Der Konverter ist ein Softwareprozess, der das Übersetzen der Informationen zwischen der Tfz-Schnittstelle und der Z21-App bzw. einem Webserver in beiden Richtungen realisiert. Dazu wird einerseits ein Client des Subset 139-Protokolls und andererseits ein Server des Z21-Protokolls implementiert. Auf beiden Seiten kann der Konverter regelmäßige Lebenszeichen senden und das rechtzeitige Empfangen von Lebenszeichen überwachen. Die Logik des Konverters basiert primär

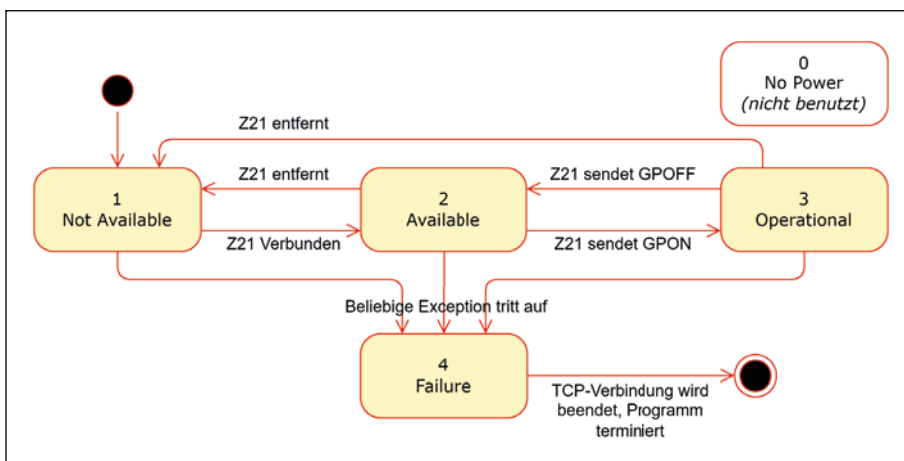


Abb. 1: RTO-Zustände

Quelle: TU Berlin

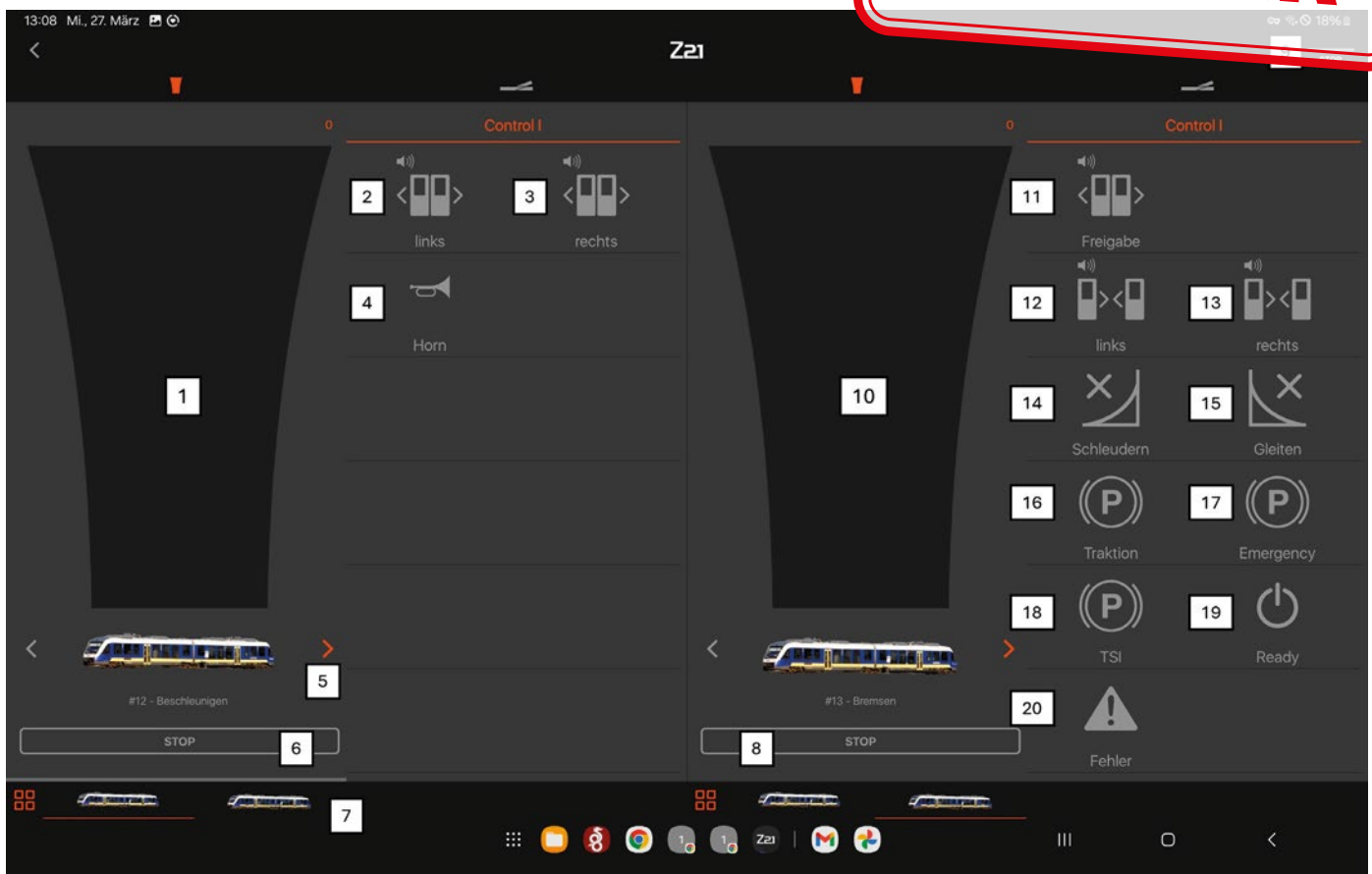


Abb. 2: User Interface

Quelle: [5]

auf dem abgebildeten Zustandsdiagramm (Abb. 1), was in der tatsächlichen Implementierung für einige Zwischenzustände in Übergängen noch etwas feiner granuliert ist. Aus diesem Konverterzustand werden auch die Statusberichte erzeugt, die per Packet 21 über die Subset 139-Schnittstelle gesendet werden. Die Zustandsübergänge werden durch das Verbinden bzw. Entfernen einer Z21-App als Client (Status Remote Available) und das Signal GPON bzw. GPOFF ausgelöst, was beim Drücken der STOP-Taste in der Z21-App gesendet wird (Status Remote Control). Je nach Zustand des Konverters werden die verschiedenen Informationsflüsse aktiviert oder deaktiviert: Nur im Status OPERATIONAL werden Z21-Pakete in Subset 139-Pakete übersetzt und in der neuen Form weitergeleitet. Bereits ab dem Status AVAILABLE geschieht dies in der anderen Richtung, wobei auch Daten im JSON-Format in eine Datei auf dem Webserver geschrieben werden, um daraus Werte direkt unter dem Kamerabild anzeigen zu können.

Eine Besonderheit beim Übersetzen der Informationen ist die Umrechnung von Zugkraft und Bremse. Der LINT41-Führerstand und das Subset 139-Protokoll verwenden Werte, die einem kombinierten Fahr- und Bremshebel entsprechen, während auf der Z21-App eine getrennte Steuerung für Zugkraft und Bremse realisiert werden sollte. Deshalb werden

in der Z21-App zwei Lokadressen verwendet (eine für Zugkraft und eine für Bremse), und deren Fahrstufenwerte werden im Konverter linear skaliert auf den jeweiligen Teil des Wertebereichs im Subset 139-Protokoll übertragen. Die Bremse wird dabei negiert, d.h. die höchste Fahrstufe entspricht einer gelösten Bremse. Sobald die Bremse in der Z21-App jedoch minimal angelegt wird, wird die Zugkraft in jedem Fall abgeschaltet.

User Interface

Die Abb. 2 zeigt die Bedienoberfläche (User Interface), die im Rahmen des Projekts ARTE für die Versuchsfahrten genutzt wurde. Die Konfiguration der Tasten und Regler sowie die Kommunikation zwischen Tfz und Tablet sind ausführlich in [5] beschrieben. Dieses Kapitel beleuchtet, wie die Tastenbelegung angepasst und die Daten zwischen dem User Interface und dem Tfz übertragen wurden. Die Steuerungsoberfläche basiert auf der Z21-Technologie, die Symbole und konfigurierbare Funktionen bereitstellt. Diese Einstellungen wurden spezifisch an die im Projekt benötigten Funktionen angepasst und anschließend an den Konverter übergeben. Dadurch konnten die gewünschten Steuerungsfunktionen präzise umgesetzt werden. Das Tfz bietet neben den Grundfunktionen „Beschleunigen“ und „Bremsen“ insgesamt 13 weitere Funktionstasten. Zur optimalen Nutzung dieser Funktionen

wurde das User Interface in zwei Hälften aufgeteilt:

- links: Beschleunigung und bedienbare Buttons (LOK12)
 - rechts: Bremsen und Leuchtmelder (LOK13).
- Diese Aufteilung wurde mithilfe der Definition von zwei Loks mit unterschiedlichen Lokadressen (LOK12 und LOK13) realisiert. Jede Taste und jeder Leuchtmelder erhielt in den Einstellungen eine spezifische Funktionsnummer. Der Konverter übersetzt die Z21-Datenpakete eindeutig in Subset 139-Pakete und umgekehrt, sodass die gewünschten Aktionen, wie das Aktivieren der Leuchtmelder, zuverlässig durchgeführt werden können. Um eine Verbindung mit dem Tfz aufzubauen, mussten spezifische Verbindungseinstellungen vorgenommen werden. In der App wurde die IP-Adresse des Tfz in die entsprechende Einstellung eingetragen. Das Tablet wurde dann je nach Anwendungsfall entweder mit demselben Netzwerk des Tfz verbunden oder von außerhalb die Verbindung mittels VPN hergestellt. Die Z21 bietet die Möglichkeit, Videobilder anzuzeigen. Allerdings wurde diese Funktion im Projekt nicht genutzt, da die Bilddarstellung auf der Benutzeroberfläche sehr klein war und nicht angepasst werden konnte. Stattdessen wurden alternative Methoden zur Anzeige von Kamerabildern und anderen Tfz-Daten gewählt, die eine benutzerfreundlichere Darstellung ermöglichen.

MUSTER

Ausblick

Im Rahmen des Projekts wurde die Tabletsteuerung umfassend getestet und optimiert. Ein wichtiger Meilenstein war der Funktionstest im März 2024 auf dem Alstom-Testgelände in Salzgitter, bei dem die grundlegende Funktionalität des Systems nachgewiesen werden konnte [3]. Durch die Kombination aus der Z21-App, dem Konverter und gezielten Anpassungen der Einstellungen wurde es möglich, ein Tfz mit der Subset 139-Schnittstelle erfolgreich zu steuern.

Trotz der erzielten Fortschritte bleiben einige Einschränkungen bestehen:

- Das Tfz bietet eine begrenzte Anzahl an Schnittstellen, was den Funktionsumfang der Steuerung einschränkt.
- Die App kann die Geschwindigkeit nicht direkt anzeigen. Dies wurde jedoch umgangen, indem Geschwindigkeit und zurückgelegte Distanz gemeinsam mit Kamerabildern über eine HTML-Oberfläche dargestellt wurden.

Nicht alle Aspekte konnten im Projekt vollständig getestet werden, insbesondere sicherheitsrelevante Funktionen wie die Sifa und die Zugbeeinflussung. Diese beiden essenziellen Elemente stellen Herausforderungen dar, deren Umsetzung in zukünftigen Projekten weiter untersucht werden sollte. Die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse bilden eine solide Grundlage für die Weiterentwicklung der Tabletsteuerung. Basierend auf den Testergebnissen können neue Funktionen implementiert und innovative Steuerungskonzepte erforscht werden. Ein

Schwerpunkt sollte dabei auf der Integration der bereits genannten sicherheitskritischen Systeme liegen, um die Einsatzmöglichkeiten der Tabletsteuerung zu erweitern.

Auch die bahnbetrieblichen Aspekte wurden im Rahmen der Versuchsfahrten untersucht. Neue Rollen für Betriebspersonal wurden definiert und vorgestellt, um den Einsatz der Technologie im realen Bahnbetrieb zu evaluieren [7].

Förderhinweise

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, SIGNAL+DRAHT 09/2022, S. 10-16
- [2] Naumann, A.; Arslan, B.; Herholz, H.; Schöne, S.: Evaluation einer Zugfernsteuerung mit Tablet im Modellbahnaufbau, DER EISENBAHNINGENIEUR 12/2023, S. 10-15
- [3] Bekehermes, T.; Arslan, B.; Naumann, A.: ARTE – eine technische Lösung für fahrerlose Züge auf Nicht-ETCS-Strecken, SIGNAL+DRAHT 12/2023, S. 18-25
- [4] Adebahr, F.-A.; Milius, B.; Naumann, A.: Flexible Arbeitsumgebung für die ATO-Rückfallebene, EI – DER EISENBAHNINGENIEUR 01/2023, S. 39-41
- [5] Adam, J.; Arslan, B.; Naumann, A.: Entwicklung und Realerprobung einer Steuerung über Tablet für Remote Train Control, 7th Scientific Railway Signalling Symposium 2024
- [6] Arslan, B.; Bekehermes T.: ARTE – Erste technische Versuche mit Remote Train Operation, EI – DER EISENBAHNINGENIEUR 12/2024, S. 59-63
- [7] Naumann, A.; Adam, J.; Fritsch, M. und Hofstädter, R. (2024). ARTE: Neue Aufgaben und Rollen für Betriebspersonal. EI – DER EISENBAHNINGENIEUR (08/24), S. 42-45



Bekir Arslan, M.Sc.

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
barslan@railways.tu-berlin.de



Timo Ramsdorf, M.Sc.

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
timo.ramsdorf@tu-berlin.de



Heiko Herholz

Technischer Mitarbeiter
heiko.herholz@tu-berlin.de

Alle Autoren:
Fachgebiet Bahnbetrieb und Infrastruktur
Technische Universität Berlin, Berlin

VDV-Seminar „Gleisbau 2025“ in Berlin

Mitte März wird an der Berliner Hochschule für Technik (Luxemburger Str. 10, 13353 Berlin) dieses alljährliche Seminar mit diesmal knapp 300 Teilnehmern wieder stattfinden.

Das BILDUNGSWERK VDV e. V., Fachgruppe 11 (Gleisbau) veranstaltet es am

14. und 15. März 2025

unter dem Thema

„Gleisbau 2025“
– Planung, Bau und Vermessung –

Wie in den Vorjahren werden aktuelle Themen von Fachleuten aus der Praxis zum System Bahn präsentiert, mehrere Firmen sind als Aussteller im Foyer vertreten und stellen Neuheiten vor. Die Podiumsdiskussion am Freitagnachmittag, Exkursionen sowie der traditionelle Branchentreff am Freitagabend runden das Seminar ab und bieten Raum für den fachlichen Austausch.

Aktuelle Informationen unter www.bw-vdv.de, „Gleisbau 2025“. Anmeldung vsl. ab Anf. Januar 2025



MUSTER

RTO-Erprobung im Spannungsfeld zwischen Testmethodik und Safety

Wechselwirkung zwischen Rail-Human-Factors-Forschung und der sicheren Umsetzung von Probefahrten der ATO-Rückfallebene / Zugfernsteuerung mit Tablet im Projekt ARTE

JUSTIN ADAM |
FREDERIK-ALEXANDER ADEBAHR |
BIRGIT MILIUS

Eine sichere und zuverlässige Rückfallebene (Remote Train Operation, RTO) für das fahrerlose Fahren entsteht, wenn neben technischen und betrieblichen Aspekten auch die involvierten Menschen mit ihren Fähigkeiten und Bedürfnissen berücksichtigt werden. Dies muss bei Erprobungen mitgedacht werden. Um im Projekt „Automatisiert fahrende Regionalzüge in Niedersachsen“, kurz ARTE [1], eine valide Datenbasis für Auswertungen zu Rail Human Factors (HF) zu erhalten, wurde ein maßgeschneiderter Probetrieb erarbeitet. Hierbei konnte der Zielkonflikt gelöst werden, den HF-Methoden so viel Spielraum wie möglich einzuräumen und dennoch die engen Grenzen der Sicherheitsebene zu beachten. Die Wechselwirkungen, Bedarfe und Einschränkungen aus beiden Welten stellt dieser Beitrag dar.

RTO-Fahrten im ARTE-Projekt

Für das Projekt ARTE, umgesetzt durch die Projektpartner Alstom Transport Deutschland, Alstom Signal, das Institut für Verkehrssystemtechnik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) und das Fachgebiet Bahnbetrieb und Infrastruktur der TU Berlin, wurde ein Lint41 für fahrerloses Fahren ertüchtigt, wobei sowohl für Automatic Train Operation (ATO) als auch für die Rückfallebene Remote Train Operation (RTO) eine Reihe von erforderlichen Testeinbauten vorgenommen wurden. Vorbereitend erfolgte eine umfassende Regelwerksanalyse, deren Ergebnisse in einem technischen und betrieblichen Lastenheft mündeten.

Die bei den Probefahrten gewonnenen Erkenntnisse erstrecken sich von innovativen Fragestellungen der technischen Umsetzung über geänderte betriebliche Abläufe (siehe [1] und [2]), neue Berufsbilder für das Betriebspersonal (siehe auch [6] und [7]) bis zu resultierenden Fragestellungen zu Rail Human Factors. Für die Erprobung der Rückfallebene RTO wurden technische Funktionen auf einem Tablet als Ein- und Ausgabegerät

entwickelt und unter realistischen Bedingungen getestet. Dessen Funktionsaufbau und Bedienung wird detailliert in [3] (vgl. diese EI-Ausgabe auf S. 10–12) dargestellt. Die praktischen Tests zur Rückfallebene wurden auf dem Testgleis von Alstom am Standort Salzgitter und anschließend auf der Bahnstrecke Northheim–Bodenfelde in Niedersachsen durchgeführt. Das Ziel der Testreihe bestand in der Prüfung der Eignung eines Tablets als neuartige, einfache und mobile Lösung für eine Zugfernsteuerung in der Rückfallebene. Es standen die Fahrleistung der Probanden, deren individuelles Bedien- und Nutzungsverhalten, Workload und Situationsbewusstsein bei Ausführung der Aufgaben sowie Verständlichkeit und Gebrauchstauglichkeit der Tabletsteuerung beim Einsatz in vier verschiedenen Arbeitspositionen im Fokus.

Das betriebliche Konzept in ARTE sieht vor, dass im GoA 4-Rangierbetrieb bei einer Störung, wie z.B. einem technischen Defekt, ein streckenseitig stationierter Remote Operator (RO) die Fahrzeugsteuerung übernimmt und das Triebfahrzeug sicher abstellt. Kommt es im Fahrgastbetrieb in GoA 3 zu einer ATO-Störung, übernimmt der im Zug befindliche Zugbegleiter Plus (Zub+) die Steuerung und steuert das Triebfahrzeug bis zum nächsten Bahnhof, um die Strecke zu räumen und den Fahrgästen einen sicheren Ausstieg zu er-

möglichen (siehe auch [2] und [6]). Die manuelle Steuerung erfolgt nur im Ausnahmefall unter sehr engen Parametern, was eine volle Tf-Ausbildung nicht erforderlich macht. Um in beiden Szenarien die gleiche Steuerung verwenden zu können und die Akzeptanz der Lösung bei RO und Zub+ sicherzustellen, war es erforderlich, das Tablet sowohl mit Triebfahrzeugführern (Tf) als auch mit Probanden zu testen, die zwar über bahnbetriebliches Wissen, aber keine Fahrerfahrung verfügten, wie z.B. Zugbegleiter (Zub). Dabei wurden Fragestellungen zu den Aspekten Ergonomie der mobilen Steuerung, Layout der Bedien- und Anzeigeelemente, Gebrauchstauglichkeit, Informationsumfang, Fahrleistung und Nutzerakzeptanz sowie Workload und Situationsverständnis betrachtet.

Sichere RTO-Probefahrten unter Beachtung der HF-Untersuchungsziele

In Abb. 1 ist das gesamtheitliche Kommunikationskonzept für Probefahrten beispielhaft mit Zub+ und Steuerung via Tablet exemplarisch dargestellt. Auf der rechten Seite wird der zu erforschende Prozess gezeigt, auf der linken die aus dem Sicherheitsplan resultierende Struktur. Das ARTE-Kommunikationskonzept sieht die Rollen RO/Zub+ sowie einen simulierten Fahrdienstleiter (Fdl) vor. Die Sprachschnittstelle zwischen Fdl und den Probanden erfolgte da-

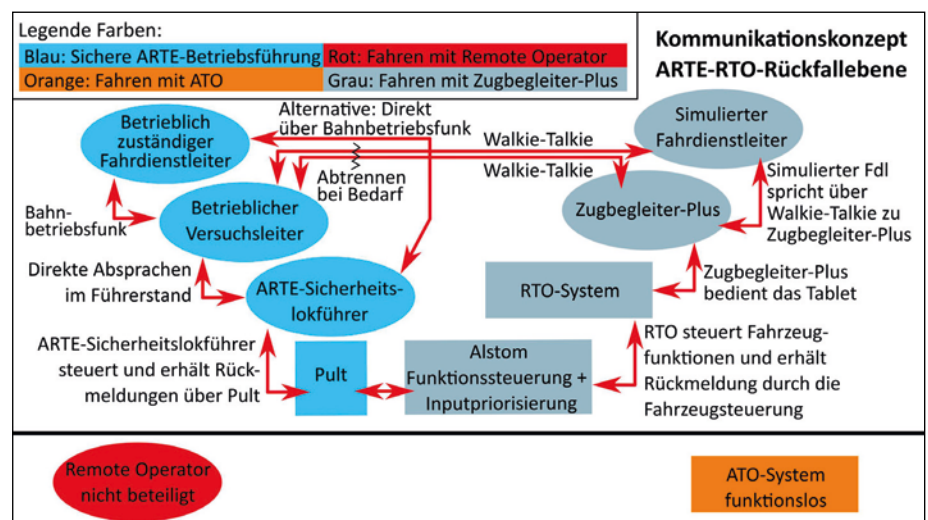


Abb. 1: Kommunikation während der HF-Tests mit Zugbegleiter-Plus, aufgeteilt in Sicherheitsebene und in Versuchsebene

MUSTER

bei wie die heutige mündliche Kommunikation im Bahnbetrieb. Der sichere Bahnbetriebsfunk (GSM-R) konnte hierfür nicht verwendet werden, da ARTE die Schnittstelle zu dem betrieblich zuständigen Fdl aus organisatorischen Gründen nicht ändern konnte. Stattdessen kamen separate „Walkie-Talkies“ zum Einsatz, welche Zub+ oder RO mit der extra für die Tests eingeführten Rolle eines simulierten Fdl verbanden.

Im Mittelpunkt des Sicherheitskonzeptes steht der im Führerstand befindliche ARTE-Sicherheitslokführer. Dieser hatte unter anderem die Aufgabe, die Strecke zu beobachten und konnte jederzeit die Steuerung des Triebfahrzeugs übernehmen und dieses ggf. kurzfristig zum Halten bringen. Die Steuerung des Betriebs unterlag weiterhin dem zuständigen Fdl der DB InfraGO. Um einen sicheren Versuchsrahmen nach [8] Kap. 3.3.7.2 zu gewährleisten, wurde ein betrieblicher Versuchsleiter zwischen dem zuständigen Fdl und dem ARTE-Sicherheitslokführer eingesetzt. Der Versuchsleiter überwachte die Organisation der Probefahrten und Einhaltung des Probeplans, war betrieblicher Ansprechpartner für die wissenschaftliche Versuchsdurchführung und auch in die Kommunikation von Zub+ und simuliertem Fdl eingebunden.

In der realen Durchführung konnten die geplanten Kommunikationsprozesse teilweise als direkte, mündliche Zustimmung des betrieblichen Versuchsleiters an die wissenschaftlichen Versuchsbegleiter und Probanden ausgeführt werden.

Für die neuen Berufsbilder Zub+ und RO existieren derzeit noch keine Ausbildungsgänge. Daher wurden Personen als Testprobanden akquiriert, die in mit Bahnbetrieb oder Bahntechnologie verbundenen Berufen tätig sind. Eine Ausbildung als Tf wurde nicht vorausgesetzt, um den Bewerberpool nicht zusätzlich einzuschränken. Lediglich die gesundheitliche Eignungsuntersuchung G25 wurde für die Tests auf der öffentlichen Infrastruktur durch das Sicherheitsmanagement des durchführenden Eisenbahnverkehrsunternehmens (EVU) gefordert, um eine uneingeschränkte Fähigkeit zur Bedienung der Tabletsteuerung sicherzustellen.

Für die sichere Durchführung des Feldtestbetriebs im Projekt ARTE wurde ein Safety Plan erstellt und eine umfangreiche Risikoanalyse durchgeführt. Für identifizierte Gefährdungen wurden sicherheitsbezogene Anwendungsbedingungen (SRAC) definiert. Eine Gefährdung ist beispielsweise eine unzeitige Türfreigabe. Daher wurde festgelegt, dass z.B. während eingeschalteter ATO oder RTO alle Personen im Triebfahrzeug einen Sicherheitsabstand zu den Außentüren einhalten müssen. Da eine Türfreigabe am Versuchsfahrzeug über die Tabletsteuerung erfolgen kann, betrifft diese SRAC direkt die Durchführung von Probandentests und erforderte eine vorherige Instruktion der Teilnehmer.

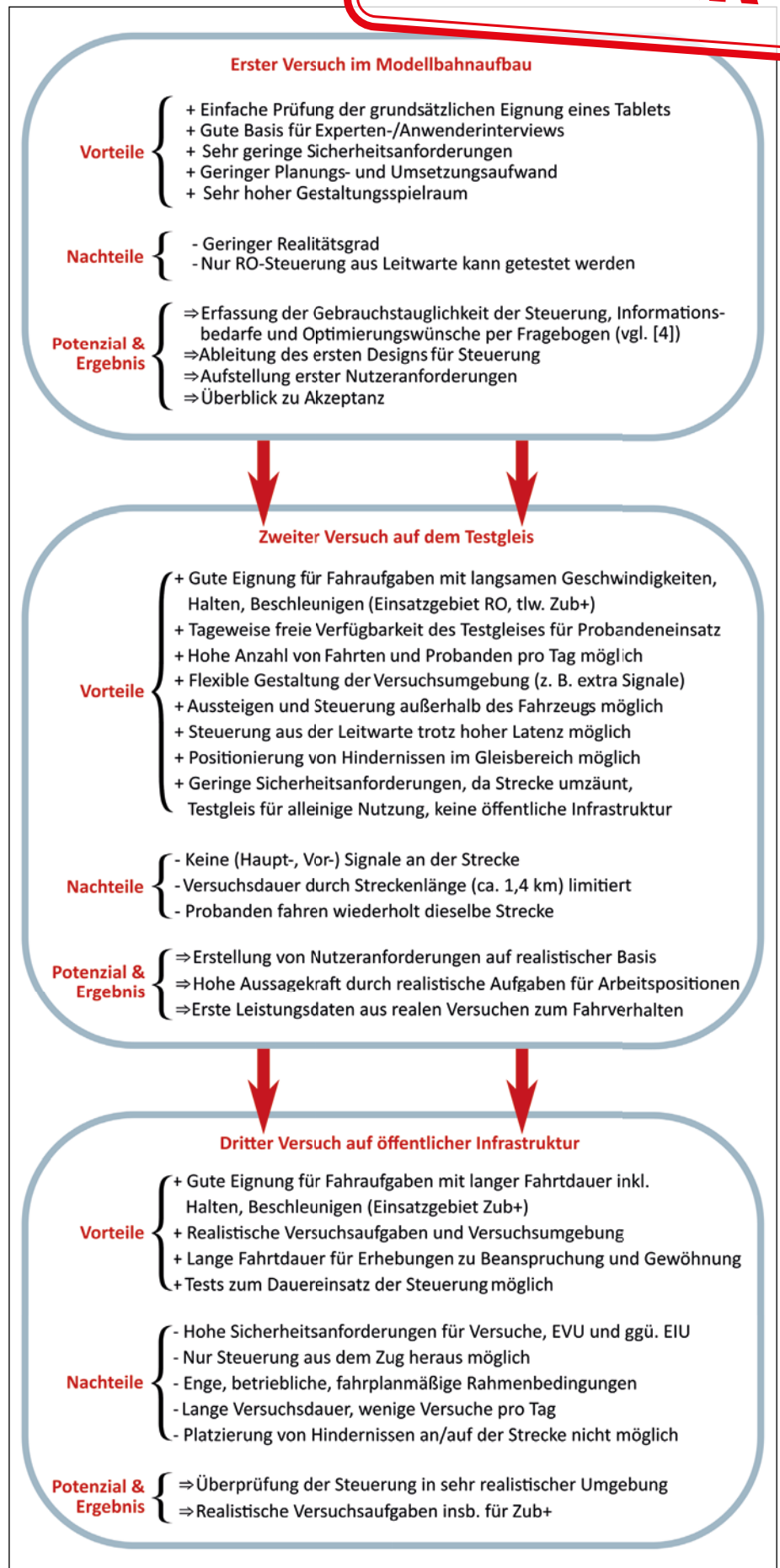


Abb. 2: Vergleich der drei RTO-Versuchsaufbauten in ARTE

MUSTER

HF-Versuche innerhalb der Sicherheitsgrenzen

Die verschiedenen Zielstellungen innerhalb der HF-Untersuchungen der Projektpartner DLR und TU Berlin erforderten den Einsatz einer breiten Palette an Erhebungsmethoden, um den vielschichtigen Untersuchungsaspekten gerecht zu werden. Im Mittelpunkt stand die Frage, ob und in welcher Weise sich ein Tablet für die zukünftige Zugfernsteuerung eignet. Hierbei wurde untersucht, wie sich das Tablet auf die Möglichkeit der Mitarbeiter auswirkt, sicher Züge zu fahren und zu rangieren, wie die Gestaltung der Bedienoberfläche die Arbeit des Mitarbeiters beeinflusst und sich auch auf deren Beanspruchung auswirkt. Daher war es erforderlich, über mehrere Versuche die Gebrauchstauglichkeit der Steuerung durch standardisierte Fragebögen zu erheben, Vorschläge und Anregungen aus den Interviews zur Weiterentwicklung der Bedienoberfläche abzuleiten, technisch umzusetzen und erneut zu testen. Der perspektivische Einsatz der Tabletsteuerung in verschiedenen Arbeitspositionen und für verschiedene Tätigkeiten, wie Rangieren beim RO vs. längere Strecken beim Zub+, erforderte, diese in unterschied-

lichen Aufgaben zu erproben und dies wiederum abhängig von der Entwicklung der Bedienoberfläche in wiederholten Versuchen zu kontrollieren. Der detaillierte Testaufbau sowie Ergebnisse sind in [4] und [5] publiziert. Im Folgenden liegt der Fokus auf der Methodenwahl bei den beschriebenen Sicherheitsanforderungen.

Um bei der vergleichsweise geringen Probandenzahl, die sich aus den Anforderungen an die Probanden ergaben, belastbare Ergebnisse zu erhalten, wurde von den Projektpartnern DLR und TU Berlin ein Methodenmix gewählt. Quantitative Methoden erlauben bei einer geringen Probandenzahl zwar keine tiefgehenden statistischen Auswertungen, können aber durch standardisierte Methoden für erste Vergleiche zwischen den Versuchsbedingungen und Tendenzabschätzungen genutzt werden. Von allen Probanden wurden demographische Daten, berufliche Tätigkeit und bahnbetriebliche Kenntnisse, Vorerfahrung mit Fernsteuertechnologie, Einstellung zu Automation im Bahnbetrieb und der TEiSel-Fragebogen (Technikbezogene Einstellungen und Selbstwahrnehmungen) erhoben. Bei jedem Versuchsdurchgang füllte ein Versuchsbegleiter

weiterhin einen Beobachterfragebogen aus. Nach jeder Fahrt wurde das subjektive

Situationsbewusstsein der Probanden mit dem MARS-Fragebogen (Mission Awareness and Rating Scale) sowie der subjektive Workload mittels DLR WAT (Workload Assessment Tool) erfasst. Abschließend bewerteten die Probanden die Nutzbarkeit und Gebrauchstauglichkeit der Fernsteuerung und des Videostreams mittels SUS (System Usability Scale)- und UEQ (User Experience Questionnaire)-Fragebogen. Weiterhin wurden Nebeneffekte, wie Schwindel oder Übelkeit, wie sie bei Fernsteuerung mittels Video auftreten können, dokumentiert und die Probanden aufgefordert, die im Versuch jeweils ausgeübte Rolle des RO oder Zub+ hinsichtlich beruflicher Attraktivität zu bewerten. Bei allen Versuchen wurde außerdem die Erfüllung der Aufgaben, wie die Einhaltung der Soll-Geschwindigkeit oder die Genauigkeit der Zielbremsung, sowie beispielsweise Tätigkeits- und Wegezeiten in einem Szenario mit Hindernis im Gleis erhoben. Anschließend erfolgten offene Interviews.

Der beschriebene Methodenmix wurde in jeweils angepasster Form für Vergleiche in allen Testschritten eingesetzt. Zur Umsetzung der Methoden bei optimaler Ausnutzung der Versuchsmittel waren zu jeder Zeit mindestens zwei Versuchsbegleiter erforderlich, um die Probanden insbesondere während der Fahrt umfassend zu betreuen.

Iterationsschritte zur Entwicklung der Tabletsteuerung

Insgesamt nahmen 36 Probanden an den RTO-Versuchen teil. Für einen ersten Nutzertest der Tabletsteuerung wurde ein spezieller Modellbahnaufbau genutzt. 13 Probanden steuerten aus einem von der Modellbahnanlage abgetrennten Raum, der „Leitwarte“, mit dem Tablet ein mit einer Kamera ausgestattetes Modelltriebfahrzeug (siehe auch [4]).

Der zweite RTO-Nutzertest, bei dem bereits erste Anpassungen der Steuerung vorgenommen wurden, erfolgte auf dem Testgleis der Alstom Transport Deutschland GmbH in Salzgitter, siehe Abb. 3. Dort wurde der Fokus vor allem auf die Fahrperformance bei langsamer Fahrt inkl. Beschleunigen, exaktes Beibehalten von Geschwindigkeiten und zielgenaues Abbremsen gelegt, wobei auch Fahrten mit hoher Funklatenz möglich waren. Dabei musste der Probandenpool auf Personal der Projektpartner DLR, Alstom und TU Berlin beschränkt werden. Dem konnte durch Ausweitung möglicher Probanden auf Personen mit Eisenbahnwissen begegnet werden, sodass neben Mitarbeitern im Bahnbetrieb auch Eisenbahningenieure, Eisenbahnfahrzeugtechniker und Forscher im Eisenbahnwesen an den Versuchen teilnahmen (siehe auch [5]).

Im Gegensatz zum Testgleis ermöglichte der dritte RTO-Nutzertest auf der öffentlichen Infrastruktur durchgehende Fahrten über meh-



Abb. 3: Versuchsdurchgang zur externen Steuerung des Triebfahrzeugs auf dem Testgleis (DLR)