

Betriebliche Differentialanalyse für den automatisierten Regionalbahnbetrieb

Im Forschungsprojekt ARTE erarbeitet das Konsortium unter anderem das Zielbild und eine zugehörige Differentialanalyse für einen automatisierten Regionalbahnbetrieb in Niedersachsen. Geplant ist, einen Betrieb sowohl unbegleitet für Bereitstellungs- und Rangierfahrten als auch mit einem Zugbegleiter für den Fahrgastbetrieb zu erproben und Erkenntnisse für einen späteren Regelbetrieb zu gewinnen.



1. Einleitung

Bei der Umsetzung eines unbegleiteten automatisierten Bahnbetriebs werden in der Regel abgeschlossene Systeme, wie U-Bahnen oder Werksbahnen und Rangierbereiche, genannt. Diese weisen zusätzlich zur Abgeschlossenheit geringe topologische Komplexitäten, einheitliche Fahrzeugtypen und homogene Geschwindigkeitsbereiche auf [1]. Für genau diese Anwendungen wird die Automatisierung bereits heute eingesetzt. Der Anteil an Neu-Inbetriebnahmen von Metro- oder U-Bahn-Systemen liegt weltweit bei knapp 50% (Stand 2018) [2]. Einen visuellen Überblick dieser hochautomatisierten Metro- und ÖPNV-Systeme liefert [3].

Der Flächenverkehr im Regionalnetz steht jedoch noch am Anfang der Automatisierung. Dabei unterscheiden sich die Eigenschaften dieses Marktsegments gegenüber Metrosystemen durch das offene Netz (anstelle des geschlossenen Systems), einen möglichen Mischverkehr mit bspw. Fern- und Güterverkehr und unterschiedlichen Fahrzeugtypen und -charakteristiken. Eine Automatisierung im Betrieb mit GoA 3 und GoA 4 wird empfohlen und angestrebt [1].

Hier knüpft das Forschungsprojekt ARTE an [4]. Ziel ist, die notwendige Umrüstung eines Bestandsfahrzeugs vorzunehmen und dieses mittels zusätzlicher Komponenten für eine kamerabasierte Signal- und Hinderniserkennung für die

Erprobung als automatisierte Regionalbahn zu ertüchtigen. Neben der technischen Machbarkeit werden die möglichen Auswirkungen auf den Eisenbahnbetrieb berechnet und mittels Erprobungsfahrten validiert. Durch eine entsprechende Systemdefinition wurden die Anforderungen für das automatisierte Fahren nach GoA 3 und GoA 4 ermittelt und mit den heutigen Rand- und Rahmenbedingungen, bspw. aus einer Tätigkeitsanalyse der Aufgaben des heutigen Fahrpersonals, abgeglichen. Je ein Zielbild, für den Projektkontext ARTE und für die langfristige Automatisierung über den Feldtestbetrieb hinaus, wird abgeleitet. Mit der so erstellten betrieblichen Differentialanalyse wird untersucht, inwiefern die Aufgaben bereits im Projektkontext ARTE umgesetzt und erprobt werden können und welche Aufgaben(-bereiche) langfristig für eine vollständige Automatisierung zusätzlich umzusetzen sind. Auszüge aus der technischen Umsetzung, der betrieblichen Differentialanalyse sowie der sich ergebenden Auswirkungen auf den Bahnbetrieb und der weiterhin manuellen Tätigkeiten werden im Folgenden dieses Artikels aufgezeigt.

2. Konzeptioneller Systemaufbau für das automatisierte Fahren

Die technische Lösung im Projekt ARTE basiert auf einem Zwischenstand der sich entwickelnden europäischen Normen für die Automated Train Operation (ATO), welche



Dipl.-Ing. Stefanie Schöne

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



Frederik-Alexander Adebahr, M.Sc.

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Bahnbetrieb und Infrastruktur (bbi) der TU Berlin
fadebahr@tu-berlin.de



Dr.-Ing. Christian Meirich

Gruppenleiter Bahnbetrieb in der Abteilung Design & Bewertung von Mobilitätslösungen Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Institut für Verkehrssystemtechnik
christian.meirich@dlr.de



Dr. rer. nat. Tobias Bekehrmes

Design Authority ALSTOM Signal GmbH
tobias.bekehrmes@alstomgroup.com

bereits auf den Eisenbahnnetzen anderer europäischer Länder erprobt wurde [4, 5]. Dabei wird die Lösung für die spezifischen Anforderungen auf der geplanten Erprobungsstrecke in Niedersachsen weiterentwickelt. Der Fokus im Projekt liegt deshalb in der Anpassung an das deutsche Streckennetz mit den zugehörigen Signalen, den entsprechenden Regelwerken und an das spezifische Fahrzeug (Dieseltriebzug LINT 41, Baujahr 2004).

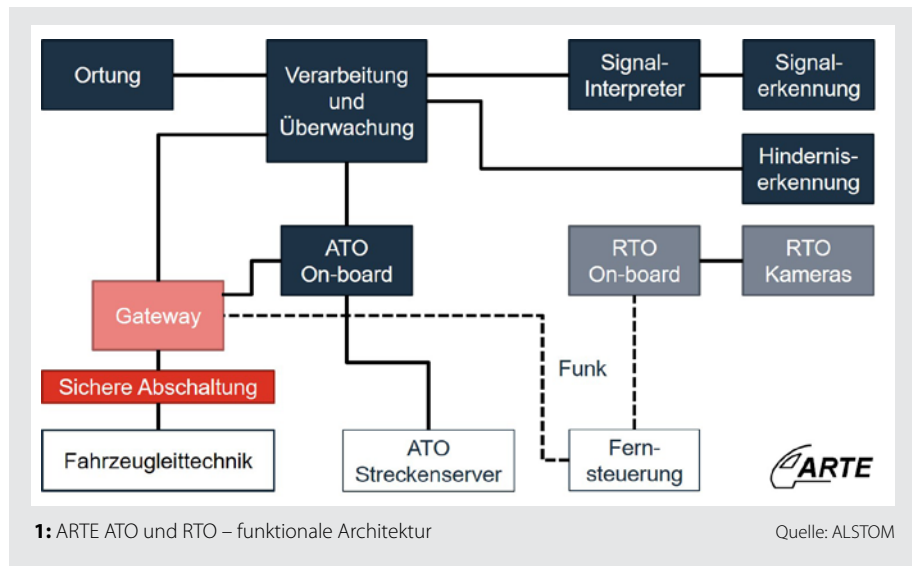
Die Fahrzeugausrüstung ermöglicht einen automatischen Zugbetrieb in GoA 3 und GoA 4 auf Nicht-ETCS-Strecken. Technisch besteht der Unterschied zwischen beiden Automatisierungsstufen lediglich darin, dass für erstere ein Zugbegleiter seine Anwesenheit bestätigen muss. Als Rückfallebene für GoA 4 ist ein vereinfachtes Fernsteuersystem (Remote Train Operation – RTO) vorhanden, das redundant zu ATO ausgeführt ist. Das Fernsteuer-Bediengerät wird als Tablet umgesetzt [6]. Die funktionale Architektur ist in Bild 1 dargestellt.

Die Hauptfunktionen der ATO- und RTO-Architektur sind wie folgt unterteilt:

- Optimierte Geschwindigkeitsregelung unter Berücksichtigung von Fahrplan und Streckendaten,
- Türfreigabe,
- Erkennen von Signalen und Signalbegriffen sowie Berücksichtigung der daraus abgeleiteten Fahrerlaubnis,
- Hinderniserkennung im eigenen Gleis und
- Fernsteuerbetrieb mit Videoübertragung als Rückfallebene.

Weitere Aufgaben, wie z. B. der Vorbereitungsdienst, die Störungsbehebung, die Umfeldbeobachtung oder die Sprachkommunikation, welche die heutigen Triebfahrzeugführer (Tf) zusätzlich zu ihren Fahraufgaben übernehmen, werden im Projekt ARTE nicht automatisiert. Bei den geplanten Testfahrten werden diese Aufgaben betrieblich gelöst. Automatische Lösungen hierfür werden jedoch für einen zukünftigen Einsatz im Regelbetrieb angestrebt.

Die Testfahrten sollen in Bahnhöfen und auf Regionalstrecken in Niedersachsen stattfinden, welche nicht speziell mit neuer infrastrukturseitiger Leit- und Sicherungstechnik aus- oder umgerüstet werden. Der vorgestellte technische Ansatz dient somit Regionalbahnstrecken, welche keine ETCS-Streckenausrüstung besitzen. Bei der hier beschriebenen Fahrzeugausrüstung handelt es sich um Prototypen ohne Si-



1: ARTE ATO und RTO – funktionale Architektur

Quelle: ALSTOM

cherheitsnachweis. Betrieblich erfolgen die Fahrten signalgeführt und werden sicherheitstechnisch für die Testfahrten durch einen Sicherheitslokführer in Kombination mit der bestehenden Streckenausrüstung (hier: PZB) abgesichert. Der Sicherheitslokführer ist für die sichere Durchführung aller Tests verantwortlich und hat die Möglichkeit, über eine sichere Abschaltung das ATO-System zu deaktivieren (vgl. Bild 1). Eine weitere Rolle simuliert die zusätzlichen Aufgaben einer zukünftigen streckenseitigen Bedienung technischer Systeme; aus Sicherheitsgründen darf in die echten streckenseitigen Betriebsabläufe während der Tests nicht eingegriffen werden. Langfristig soll eine sichere Signalerkennung eine Fahrerlaubnis ermitteln, welche durch ein ETCS-Fahrzeugerät sicher überwacht wird. Dies ersetzt damit die nationale Zugbeeinflussung PZB.

Im Projekt ARTE wird davon ausgegangen, dass auch in einem Vollbahnsystem, das im Normalbetrieb vollautomatisiert betrieben werden kann, Tätigkeiten im Störfall durch das Betriebspersonal übernommen werden müssen. Ein Betrieb ohne Fahrgäste kann in GoA 4 erfolgen, wobei sich im Störfall ein Remote Operator per Fernsteuerung auf den Zug aufschalten und, unter Nutzung eines vom Fahrzeug gesendeten Live-Kamera-Bildes der Strecke, den Zug manuell fahren kann. Wenn Fahrgäste an Bord sind, ist ein Betrieb unter GoA 3 vorgesehen. Dabei ist ein Zugbegleiter-Plus an Bord. Er kann im Störfall, ähnlich dem Remote Operator, mittels einer vereinfachten Steuerung den Zug zum nächsten Haltepunkt bewegen. Wie diese beiden

neuen Rollen im Ansatz ausgestaltet werden sollen, ist in [6] beschrieben.

3. Automatisierung der Tätigkeiten eines Tf

Um einen vollständig unbegleiteten automatisierten Betrieb bei der Eisenbahn umsetzen zu können, reicht es nicht aus, lediglich die Fahr- und Bremssteuerung des Zuges zu automatisieren. Es muss viel mehr der Fokus auf alle bisherigen Tätigkeiten eines Tf gelegt werden. Diese lassen sich, wie bereits in [7] beschrieben, in Tätigkeiten vor Fahrtbeginn, während der Fahrt und nach Fahrtende unterteilen. Zu diesen Tätigkeiten gehören bspw.:

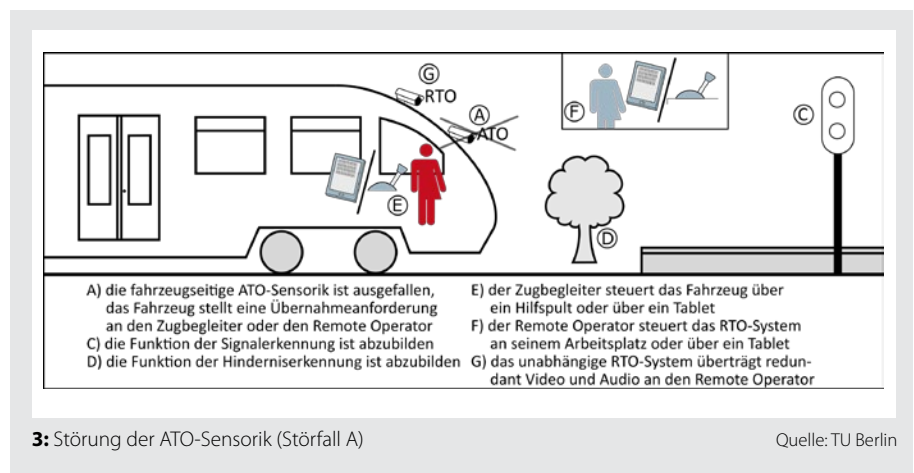
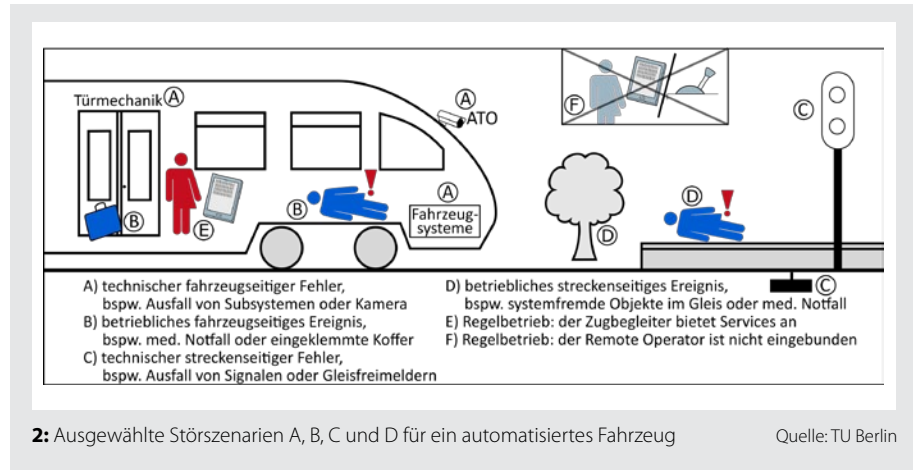
- Vor- und Nachbereitung einer Zugfahrt mit dem Prüfen der notwendigen technischen Einrichtungen,
- Geschwindigkeitsregelung und Bedienen der Bremsen,
- Streckenbeobachtung,
- Beobachten der Signale,
- Bedienen sicherungstechnischer Einrichtungen,
- Eingreifen bei und Beheben von Störfällen und
- Kommunikation mit anderem Betriebspersonal.

Wie diese Tätigkeiten auszuführen sind, um einen sicheren und effizienten Betrieb zu ermöglichen, ist im jeweiligen betrieblichen Regelwerk festgehalten. Im Projekt ARTE sind dies hauptsächlich Konzernrichtlinien (KoRil) der Deutschen Bahn AG, wie die KoRil 408 (Fahrdienstvorschrift), KoRil 301 (Signalbuch) oder KoRil 492.0755 (Stre-

ckenkenntnis) [8, 9, 10]. Um eine Automatisierung umzusetzen, ist es notwendig, dass die heutigen Aufgaben des Fahrpersonals, die in diesen Richtlinien beschrieben sind, analysiert und mit der geplanten einzusetzenden Technik abgeglichen werden. Daraus folgt, welche Aufgaben von der Technik übernommen werden müssen und welche Tätigkeiten in den Rückfallebenen durchzuführen sind. Diese betriebliche Differentialanalyse beinhaltet eine detaillierte Analyse aller Handlungsschritte, die laut der genannten Richtlinien im heutigen Bahnbetrieb auszuführen sind, sowie deren Übertragung auf den zukünftigen Betrieb mit hochautomatisierten Technologien. Dabei sind im Forschungsprojekt zwei Systeme bzw. Zeitebenen zu betrachten:

Das **ARTE-System für die Testfahrten**, das in Kapitel 2 genauer beschrieben wurde, ist die konkrete Ausprägung technischer Einrichtungen und betrieblicher Prozesse, die im Rahmen des Projekts in Probe-fahrten unter realen Betriebsbedingungen im Feld getestet werden. Es werden die Rollen Zugbegleiter-Plus und Remote Operator untersucht, darüber hinaus werden für den Probetrieb weitere Rollen abgebildet. Einzelne Automatisierungstechnologien, die für einen Test nicht oder nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand umzusetzen wären, werden durch den Sicherheitslokführer abgebildet. Dies umfasst u.a. die Nachrüstung elektronischer Ölstandsanzeigen, die Sicherstellung der Verfügbarkeit und Vollständigkeit von Verbandskästen oder die Vor- und Nachbereitungsprozesse wie Bremsproben.

Das **zukünftige Zielsystem** folgt der Prämisse eines vollautomatisierten Normalbetriebs, dessen Technologien auf den Grundzügen des ARTE-Systems basiert. Eingriffe durch den Zugbegleiter-Plus oder den Remote Operator sind nur im Störfall nötig. Die technische Umrüstung von Bestandsfahrzeugen bzw. Ausrüstung von Neufahrzeugen mit entsprechenden Technologien ist konsequent umgesetzt. Dies gilt auch für die wirtschaftliche Automatisierung der Vor- und Nachbereitung der Züge. Das betriebliche Regelwerk sollte sich den technologischen Gegebenheiten anpassen und diesen folgend Betriebsprozesse definieren, die einen sicheren Bahnbetrieb ermöglichen. Für das zukünftige Zielsystem wird davon ausgegangen, dass, wo erforderlich, Regelwerke immer den jeweils neuen Gegebenheiten angepasst werden.



4. Betriebliche Auswirkung eines Störfalls im zukünftigen Zielsystem

Betriebliche Rückfallebenen können aufgrund verschiedener Störszenarien in Kraft treten, wobei zum einen zwischen technischen Fehlern und umgebungsbedingten Ereignissen und zum anderen zwischen fahrzeugseitigen und streckenseitigen Störungen unterschieden werden muss. Fahren mit ATO ändert die betrieblichen Abläufe bei Auftreten all dieser Störfälle, wobei bereits im Design-Prozess für jedes Störszenario betrachtet werden muss, ob und wie die technische Umsetzung der Fahrzeugsteuerung und des ATO-Systems das entsprechende Szenario abdecken kann. Wo dies nicht der Fall ist, greifen betriebliche Prozesse mit den zugehörigen Betriebspersonalen. Die vier Unterscheidungen von Störszenarien inkl. Beispielen sind in Bild 2 visualisiert.

Die in Bild 2 dargestellten Störfälle führen im Sinne des Fail-Safe-Prinzips zu einem Stillstand des Zuges, bis die Störung beseitigt ist oder die Transition in die

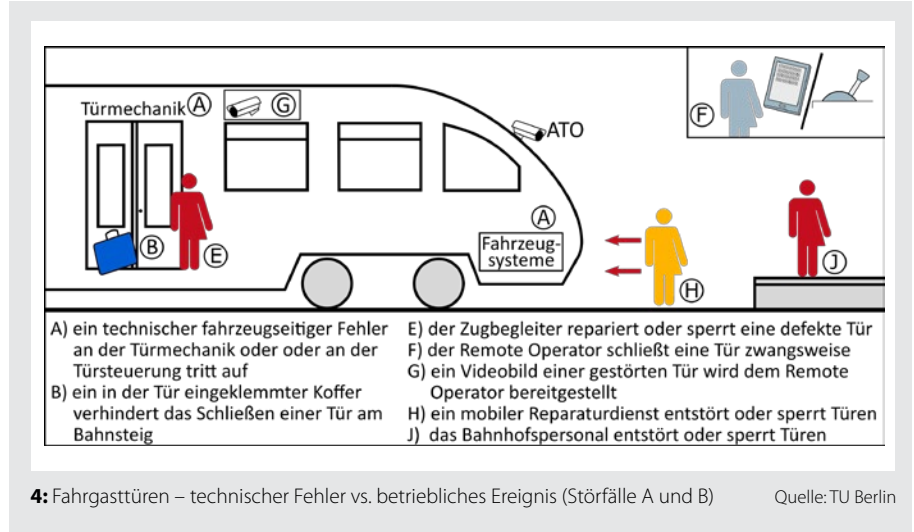
Rückfallebene durchgeführt wurde. Die Behebung kann entweder automatisiert im ATO-Betrieb oder durch einen manuellen Eingriff des Betriebspersonals in der Rückfallebene (Zugbegleiter-Plus, Remote Operator) erfolgen.

Störszenario der ATO-Sensorik

Ob ein automatisiertes Fahrzeug eine Störung oder ein Ereignis selbst bewältigen kann, ist abhängig vom betrachteten Störszenario. Der technische, fahrzeugseitige Ausfall der ATO-Sensorik (Fall A in Bild 3) ist durch das Fahrzeug allein nicht zu bewältigen, da Hindernisse und Signalbegriffe nicht mehr erkannt werden können. Auch ein streckenseitiger Signalausfall (Fall C in Bild 2) führt zu diesem Fehlerbild, falls die ATO nicht anderweitig streckenseitige Informationen erhält. Während heute der Tf die Strecke auf Hindernisse und Signale prüft, wird ein automatisiertes System eine Übernahmeanforderung an einen Remote Operator stellen. Dies setzt ein redundantes RTO-System zur Videoübertragung des

Streckenbildes voraus. Auch ein zusätzlich ausgebildeter Zugbegleiter-Plus kann durch das Fahrzeug eine Übernahmeaufforderung erhalten [6]. Unter anderem ist dieses Szenario in Bild 3 dargestellt.

Kann die ATO eine sichere Signal- und Streckenüberwachung nicht mehr gewährleisten, ist der erste Schritt das sofortige Anhalten des Zuges. Danach wird der Zugbegleiter-Plus bzw. der Remote Operator verständigt, der die Verantwortung über den Zug übernimmt. Hierfür muss er sich in die betrieblichen Gegebenheiten (z. B. örtliche Besonderheiten der Strecke, Geschwindigkeitsvorgaben) einarbeiten und den Zug, ggf. mit verminderter Geschwindigkeit, eine gewisse Distanz wie z. B. bis zum nächsten Bahnhof weiterfahren. In den Tests soll erprobt werden, wie lange das betriebliche Personal von der Übernahmeaufforderung bis zum Freifahren des Streckenabschnitts benötigt. Im zukünftigen Zielsystem kann es sinnvoll sein, ATO mittels redundanter Komponenten und damit verbundener Mehrkosten resilienter zu gestalten. Jedes Anhalten,



inkl. Verantwortungsübernahme durch das Personal in der Rückfallebene und anschließendes Freifahren der Strecke, behindert den Bahnbetrieb und verursacht so jedes Mal Verspätungen und Kosten bei sowohl Eisenbahnverkehrsunternehmen

als auch Eisenbahninfrastrukturunternehmen. Außerdem ist denkbar, dass eine bessere Streckenkunde sich auf die Zeit auswirkt, die der Remote Operator bzw. Zugbegleiter-Plus für die Übernahme und das Freifahren der Strecke benötigen.

BahnBau Kongress

4. BahnBau-Kongress
The Future of Track Construction

JETZT REGISTRIEREN!

14. - 15. November 2023
Darmstadtium, Darmstadt

Die Schwerpunkte für die Zukunft des Bahnbaus:

- Klimawandel & Umweltschutz
- Instandhaltungsstrategie

Weitere Informationen unter:
www.bahnbau-kongress.com



Veranstaltet vom: **VERBAND DEUTSCHER EISENBahn-INGENIEURE e.V.**



Fahrgasttüren: technische Fehler vs. betriebliche Ereignisse

Bei Türstörungen zeichnet sich ein geteiltes Bild. Während heute ein Tf oder Zugbegleiter eine sich nicht schließende Tür manuell inspizieren und verschließen kann, muss bei einem automatisierten Betrieb unterschieden werden zwischen einer Fehlfunktion der Türsteuerung bzw. der Türüberwachung oder einer defekten Türmechanik (jeweils Fall A in Bild 4) und einem sich in einer schließenden Tür befindenden Objekt (Fall B in Bild 4). Erstere kann durch ein automatisiertes Sperren des Systems samt Tür durch das Fahrzeug selbst aufgelöst werden. Voraussetzung ist eine effektive Diagnose und die Möglichkeit des automatisierten Verschließens samt Schadensmeldung für die Instandsetzung. Letztere kann das Fahrzeug selbst nicht erfolgreich bewältigen. Sollte eine Tür nicht zu schließen sein, kann das Betriebspersonal dies manuell durchführen. Diese Aufgabe kann je nach Ort und Situation des Auftretens ein Zugbegleiter, ein Remote Operator, ein Mitarbeiter der Abstellanlage bzw. des Bahnhofs oder ein mobiler Reparaturdienst übernehmen. Die verschiedenen Szenarien einer Türstörung sind in Bild 4 dargestellt.

Die Dauer für eine manuelle Entstörung, und damit die Verlängerung der Haltezeit am Bahnsteig, hängt maßgeblich davon ab, wie lange das Betriebspersonal braucht, um zum Einsatzort zu gelangen. Ein dauerhaft im Zug mitfahrender Zugbegleiter ist schneller vor Ort als ein mobiler Reparaturdienst. Dem gegenüber stehen die Kosten für die Bereitstellung eines entsprechend geschulten Personals. Dies alles steht in Wechselwirkung mit den Mehrkosten der technischen Ausstattung, um die Häufigkeit manueller Entstörung zu senken. Manuell zu behebbende Türstörungen, die oft durch umgebungsbedingte Ereignisse wie Steinchen oder Vereisung verursacht werden, sind somit technisch nur bedingt reduzierbar.

Ähnliche Überlegungen lassen sich für andere technische Teilsysteme wie Tritte oder Klimaanlage durchführen. Entweder kann das ATO-System selbst eine Störung zeitnah beheben oder das entsprechende Teilsystem in einen sicheren Zustand versetzen. Alternativ kann Bahnsteig- oder Bordpersonal Arbeiten mit mechanischen Anteilen übernehmen, solange eine entsprechende Zusatzausbildung absolviert wurde. Alternativ wäre auch denkbar, nicht das Vor-Ort-Personal direkt für jede erdenk-

liche Störsituation zu schulen, sondern sie durch einen telefonisch zugeschalteten technischen Experten zu unterstützen. Je besser eine solche zusätzliche Ausbildung ist und je engermaschiger das Netz von Personal gewählt wurde, desto mehr Fahrzeugstörungen und betriebliche Ereignisse können ohne relevante Zeitverzögerung behandelt werden. Andererseits ermöglichen hohe Fahrzeugverfügbarkeit, einfach auswertbare Diagnosesysteme und effiziente Rückfallebenen eine hohe Pünktlichkeit und einen niedrigen Personalbedarf.

5. Ausblick auf betriebliche Auswirkungen

Wie in diesem Artikel beschrieben, kann ein zukünftiges, hochautomatisiertes Eisenbahnsystem auf verschiedene Arten implementiert werden. Dabei ist immer zu berücksichtigen, wie das System ausgestaltet werden muss, um einerseits technischen gewünschten Automatisierungsgrad zu gewährleisten und andererseits die Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit und den Betrieb auf einem akzeptablen Niveau zu halten. Es kann daher sinnvoll sein, so viel wie möglich technisch zu automatisieren, auch wenn es in der ersten Generation technischer Komponenten zu hohen Kosten und noch relativ hohen Ausfallraten führen kann.

Um verschiedene Szenarien wirtschaftlich und betrieblich bewerten zu können, sollen in ARTE in einem Testbetrieb unter realen Betriebsbedingungen diejenigen Zeitabläufe und Kostentreiber identifiziert werden, die sich mit der Automatisierung der Fahrzeuge ändern. So kann für die Szenarien ermittelt werden, wie lang beispielsweise ein Zugbegleiter benötigt, um einen gestörten Zug zu übernehmen und die Strecke für andere Fahrzeuge freizugeben bzw. den eigenen Zug wieder in den Regel-fahrplan zu überführen. Auch soll über den Vergleich der erprobten Ergebnisse analysiert werden, welche zusätzlichen Anforderungen an zukünftige Technik sowie an den Betrieb gestellt werden müssen oder welche Rückfallebenen sinnvoll sind, um einen effizienten, automatisierten Betrieb sicher zu stellen.

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.

Literatur

[1] Flamm, Leander; Meirich, Christian; Jäger, Bärbel (2019): Die Umsetzung des automatisierten Bahnbetriebs zwischen Technik, Regelwerken und Wirtschaftlichkeit. In: Eisenbahntechnische Rundschau (ETR) 68 (03), S. 27-31. Online verfügbar unter <https://eurailpress-archiv.de/SingleView.aspx?show=587672>.
 [2] Union Internationale des Transports Publics: World Report on Metro Automation – Statistics in Brief, Brüssel, 2018.
 [3] Morast, Albrecht; Weik, Norman; Meirich, Christian; Jäger, Bärbel; Nießen, Nils (2022): Leistungsfähigkeit hochautomatisierter schienensbasierter ÖPNV-Systeme. In: Deine Bahn 50 (06/2022), S. 22-26.
 [4] Specht, Felix; Michels, Alexander; Adebahr, Frederik-Alexander; Meirich, Christian; Hofstädter, Raphael; Millius et al. (2022): Automatisiertes Fahren in Niedersachsen - ARTE. Automated driving in Lower Saxony - ARTE. In: Signal+Draht 114 (09), S. 10–15. Online verfügbar unter <https://eurailpress-archiv.de/GetFile.aspx?cid=4083801&fid=172470>
 [5] Bienfait, Benoit: Die Zukunft der Mobilität in Europa, Signal+Draht 09/2021, S. 6-12. Online verfügbar unter <https://eurailpress-archiv.de/SingleView.aspx?show=2792562>
 [6] Adebahr, Frederik-Alexander; Milius, Birgit; Nau-mann, Anja (2023) Flexible Arbeitsumgebungen für die ATO-Rückfallebene. EI - Der Eisenbahningenieur, 01/23, Seiten 39-41. Tetzlaff Verlag. ISSN 0013-2810.
 [7] Hagemeyer, Friedrich-Wilhelm; Preuss, Malte; Meyer zu Hörste, Michael; Meirich, Christian; Flamm, Leander (2021): Automatisiertes Fahren auf der Schiene. Technische und rechtliche Aspekte für die Praxis. Rechtliche und betriebliche Randbedingungen für den vollautomatischen Bahnbetrieb. 1. Aufl. Wiesbaden: Springer Fachmedien (essentials).
 [8] DB Netz AG (Hrsg.): Fahrdienstvorschrift; Richtlinie 408 (idF v. 12.12.2021).
 [9] DB Netz AG (Hrsg.): Signalbuch; Richtlinie 301 (idF v. 10.12.2017)
 [10] DB Netz AG (Hrsg.): Triebfahrzeuge führen – Streckenkenntnis-Richtlinie; Richtlinie 492.0755 (Ausgabe 08/2016).

Summary

Operational differential analyses for the automated regional railway operation

In the ARTE research project, the consortium is developing, the target differential analysis for automated regional rail operations in Lower Saxony. It is planned to implement an unattended operation for shunting, as well as with a train attendant for the operation with passengers in the train.