

AutomatedTrain: Konzepte und Systembausteine für fahrerlose Züge

Funktionaler Ablauf einer fahrerlosen Bereitstellungsfahrt mit Reaktion auf ein Hindernis im Gleis

OLIVER KNITTER | JULIAN HEY |
ANNETTE SCHEEL | JAKOB SCHULTZ |
HENNING VOELZ

Das Projekt **AutomatedTrain** spezifiziert, entwickelt und erprobt ein System für vollautomatisierte Zugfahrten (GoA 4 – Grade of Automation 4). Ziel ist die Demonstration der technischen Machbarkeit von fahrerlosen Bereit- und Abstellfahrten sowie das vollautomatische Auf- und Abrüsten von Zügen. Die Ergebnisse sollen im September 2026 auf der internationalen Bahntechnikmesse InnoTrans vorgestellt werden. Zum Zeitpunkt der Entstehung des Beitrags erfolgt nach einjähriger Integrations- und Testphase im Labor die Implementierung auf zwei Zügen als Prototypen für eine anstehende Systemtestphase. Der Beitrag gibt einen Einblick in zentrale Systembausteine wie Zugaufrüstung, Hinderniserkennung, Reaktion auf Objekte und Zusammenspiel mit der Leitstelle.

Einleitung

Automatisierung und Digitalisierung sind für die Zukunft des Bahnbetriebs unabdingbar. Der Fachkräftemangel in zentralen Bahnberufen, wie z. B. Triebfahrzeugführer (Tf), stellt die Betreiber vor hohe Herausforderungen, sodass die wertvollen Ressourcen der Tf effektiv eingesetzt werden müssen [1].

Das Forschungs- und Entwicklungsprojekt AutomatedTrain – gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWE) und eine Kooperation aus neun Partnern verschiedener Branchen – soll einen flexibleren Einsatz von Zügen durch fahrerloses Fahren ermöglichen. Um zeitnah erste Automatisierungsschritte realisieren zu können, fokussiert sich das Projekt auf den Anwendungsfall von vollautomatisierten Bereit- und Abstellfahrten im Bereich vom ersten und letzten Bahnhof.

Diese Fahrten werden heute als Rangierfahrt auf „Hindernissicht“ durchgeführt, d.h. die Tf sind verantwortlich, Hindernisse zu erkennen, zu reagieren und ggf. die Geschwindigkeit an-

zupassen, damit die Züge vor dem Hindernis zum Stehen kommen können. Da in Abstellbereichen regelmäßig mit erhöhtem Personenaufkommen zu rechnen ist, besteht hier die betriebliche Anforderung einer Fahrt auf „Hindernissicht“, unabhängig vom gewählten ETCS-Modus (ETCS, European Train Control System) und damit auch unabhängig davon, ob es sich um eine Zugfahrt oder eine Rangierfahrt handelt. Insbesondere im Bahnhofsbereich soll auf Personen im Gleis sicher reagiert werden. Der Projektanwendungsfall ist begrenzt auf einen definierten Bereich ohne Bahnübergänge, ohne Reisende im Zug und auf eine Geschwindigkeit von maximal 40 km/h unter der Annahme eines aktiven ETCS Level 2 (L2) im Modus Full Supervision (FS).

Das Projekt AutomatedTrain stützt sich zur Umsetzung des Anwendungsfalls neben den bestehenden Systemen, wie der Fahrzeugsteuerung und den europäisch standardisierten ATO-OB (OB = onboard) und ETCS-OB, auf die Aufteilung des GoA 4-Systems in drei weitere Systemelemente (siehe [2]). Dabei handelt

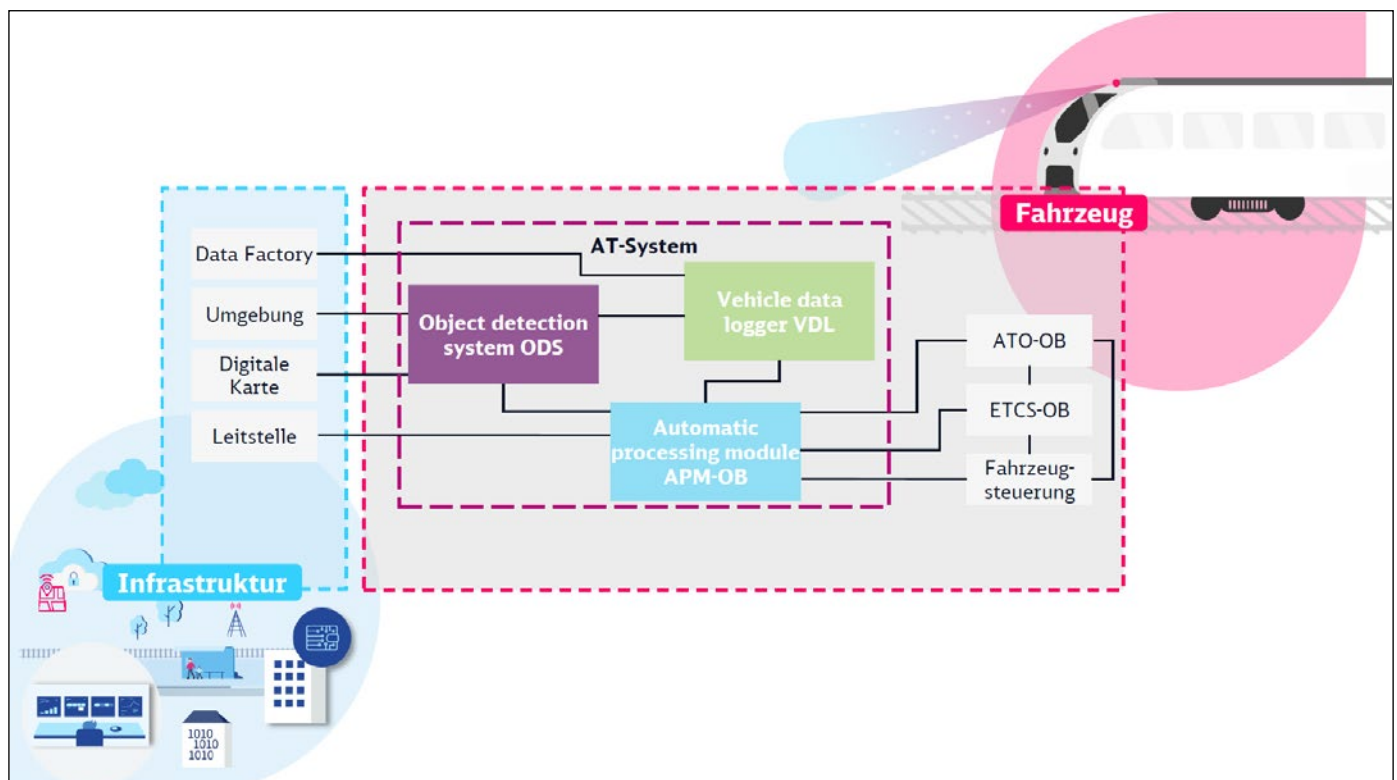


Abb. 1: Übersicht der Systemarchitektur

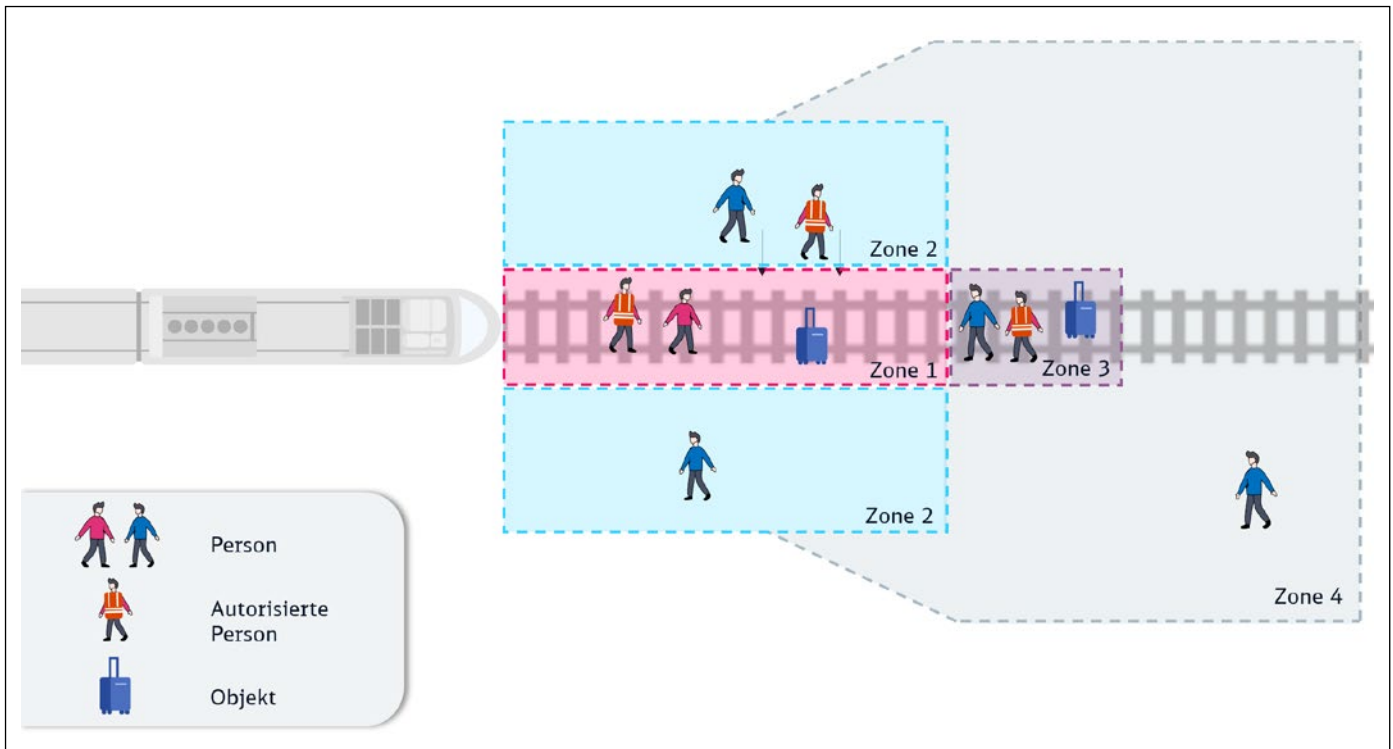


Abb. 2: Schematische Darstellung Zonenkonzept (Top View, nicht maßstabsgetreu)

es sich um das Automatic Processing Module (automatisches Verarbeitungsmodul, APM-OB), das als Schaltzentrale des GoA 4-Systems fungiert, das Object Detection System (Objekterkennungssystem, ODS) zur Erkennung von Objekten im Bereich vor dem Zug und den Vehicle Data Logger (Fahrzeugdatenspeicher, VDL) zur Speicherung von Daten zur späteren Weiterverwendung (Abb. 1).

Neben der Umsetzung eines Prototyps zur Erprobung des entwickelten Systems liegt ein weiterer Fokus auf der Erstellung CENELEC-konformer Spezifikationsdokumente, die als Grundlage für eine künftige europäische Standardisierung und Zulassung dienen sollen. Dabei spielt die Entwicklung einer modularen Systemarchitektur eine zentrale Rolle, um die Wiederverwendbarkeit einzelner Systemelemente in verschiedenen zukünftigen Systemvarianten zu ermöglichen. Für den konkreten Anwendungsfall wurden im Projekt unter anderem ein Betriebskonzept, eine Risikoanalyse, Anforderungsdokumente sowie Architekturbeschreibungen erarbeitet, die sowohl einen sicheren Betrieb als auch eine zeitnahe

Realisierbarkeit berücksichtigen. Die dabei spezifizierten Systembausteine und ihre Funktionalitäten befinden sich aktuell in der Integrationsphase auf zwei verschiedenen Zügen. Nach der Integration findet eine Systemtestphase zur Verifikation und Validierung statt. Anhand des Fallbeispiels einer automatischen Vorbereitung und darauffolgender Bereitstellungsfahrt mit Reaktion auf ein Hindernis im Gleis werden im Folgenden einige Einblicke in die bisherigen Entwicklungsergebnisse des Projektes gewährt.

Vorbereitung der Zugfahrt: Zugaufrüstung

Die Zugaufrüstung ist heute im Wesentlichen ein manueller Prozess, der durch den Tf durchgeführt wird. Für eine vollständige Ausrüstung beider Führerstände braucht ein Tf i. d. R. 20 Minuten [3]. Hinzu kommen die Wartezeiten des Tf zum und vom Fahrzeug in der Abstellung. Durch eine Automatisierung dieser Prozesse kann wertvolle Zeit gewonnen werden, die der Tf dann für die eigentliche Fahraufgabe verwenden kann. Im Projekt Au-

tomatedTrain werden insbesondere folgende Arbeiten automatisiert:

- Zugabstellung und Aufrüstung
- Prüfläufe und Bremsprobe
- ETCS-Zugdateneingabe
- Fahrtrichtung einstellen und Führerstand aktivieren
- Anlegen und Lösen der Feststellbremse
- Zugvorbereitungsmeldung
- Abfahrt nach Freigabe durch Fahrdienstleiter.

Bei der im AutomatedTrain-Projekt spezifizierten Automatisierung übermittelt die Leitstelle vor dem Start des Zuges über das APM-OB an die Fahrzeugsteuerung die Zeit, zu der der Zug betriebsbereit sein soll. Der Vorbereitungsdienst wird vor diesem Zeitpunkt durch die Fahrzeugsteuerung automatisch gestartet und durchgeführt und umfasst automatisierte Tests, die bislang vom Tf ausgeführt werden. Tests der neuentwickelten GoA 4-Systembausteine finden hierbei ebenfalls automatisiert statt. Die Tests des ODS werden dabei auf beiden Seiten des Zuges automatisch bei der Initialisierung des Systems ausgeführt. Somit

Technische und wirtschaftliche Fachinformationen für Bahn-Professionals



Zone	Zonenbeschreibung	Akustische Warnung	Betriebsbremsung	Schnellbremsung	Meldung an Leitstelle	Sicherheitslevel (SIL)
1	Personen und Objekte im Fahrweg innerhalb der Schnellbremsdistanz (inkl. Sicherheitsmargen)	x	-	x	x	SIL1
2	Personen neben dem Fahrweg, die sich in Richtung des Gleises bewegen. Die Breite der Zone 2 ermöglicht, dass eine querende Person nach einer Warnung vor dem Fahrweg stehenbleiben kann.	x	x	-	x	Basic Integrity
3	Personen und Objekte im Fahrweg in einer Distanz größer als die Schnellbremsdistanz. Die Länge der Zone 3 ermöglicht, dass die Person den Fahrweg nach einer Warnung verlassen kann, ehe die Schnellbremsdistanz erreicht ist.	x	x	-	x	Nicht sicherheitsrelevant
4	Personen, die sich nicht auf dem Bahngelände aufhalten dürfen, neben dem Fahrweg oder in größerer Entfernung. Die Meldung erfolgt, um in der Leitstelle weitere Maßnahmen wie Streckensperrungen zu treffen.	-	-	-	x	Nicht sicherheitsrelevant

Tab. 1: Zonenübersicht

ist sichergestellt, dass der Zug beidseitig betriebsbereit ist. Aufgrund technischer Machbarkeit bzw. geringer Wirtschaftlichkeit sind nicht alle Tests während der Vorbereitung zur automatisierten Ausführung vorgesehen, z.B. Tests von Bedienelementen der Sicherheitsfahrschaltung. Diese werden stattdessen bei Übernahme des Zuges durch den Tf oder während betrieblicher Wende- oder Standzeiten manuell durchgeführt.

Eine durch die Leitstelle an das APM-OB übermittelte Mission definiert Prozessschritte wie z.B. die Aktivierung eines Führerstands, die Fahrt von A nach B oder den Abrüstvorgang am Ende des Betriebstages. Diese Schritte werden nach einer Plausibilitätsprüfung von APM-OB in chronologischer Reihenfolge durchgeführt. Betriebliche Vorgaben und Rahmenbedingungen, wie z.B. das Fahren auf „Hindernissicht“ oder die erwarteten Zugda-

ten und die erwartete Zugkonfiguration, sind in der Mission enthalten.

Ist der Vorbereitungsdienst abgeschlossen, wird der vorgegebene Führerstand durch das in der Mission als führend bestimmte APM-OB aktiviert, und die zum Führerstand gehörenden ODS und VDL werden durch das APM-OB in Betrieb gesetzt. Sobald das APM-OB die Kontrolle über den Zug übernommen hat, wird außen am Zug eine Anzeige angesteuert, die den eingeschalteten vollautomatisierten Betrieb für Außenstehende signalisiert. Bei Aktivierung des Führerstands werden die Zugdaten dem ETCS-OB übermittelt. Im Anschluss betätigt das APM-OB „ETCS-Start“ und sendet die Zugvorbereitungsmeldung an die Leitstelle. Nach Erhalt der Zugvorbereitungsmeldung informiert die Leitstelle den Infrastrukturbetreiber gemäß TSI TAF/TAP (siehe [4, 5]) über den vorbereiteten Zug.

Zugfahrt

Ist der geplante Abfahrtszeitpunkt erreicht, kann der als „vorbereitet“ gemeldete Zug nach Erhalt der Movement Authority durch das ETCS-System losfahren. Dabei aktiviert das APM-OB das ATO-OB, das den Zug analog zum hochautomatisierten Fahren (GoA 2) gemäß Fahrplan steuert.

Objekterkennung

Während der Zugfahrt beobachtet heute der Tf den Fahrweg, erkennt Hindernisse und reagiert entsprechend der Situation. Diese Streckenbeobachtung ist auch für eine fahrerlose Fahrt erforderlich.

Die Festlegung des zu überwachenden Bereichs und die Art der zu erkennenden Hindernisse stellt einen integralen Bestandteil der Entwicklungsarbeit des GoA 4-Systems dar, da es hierfür keine bestehenden Vor-

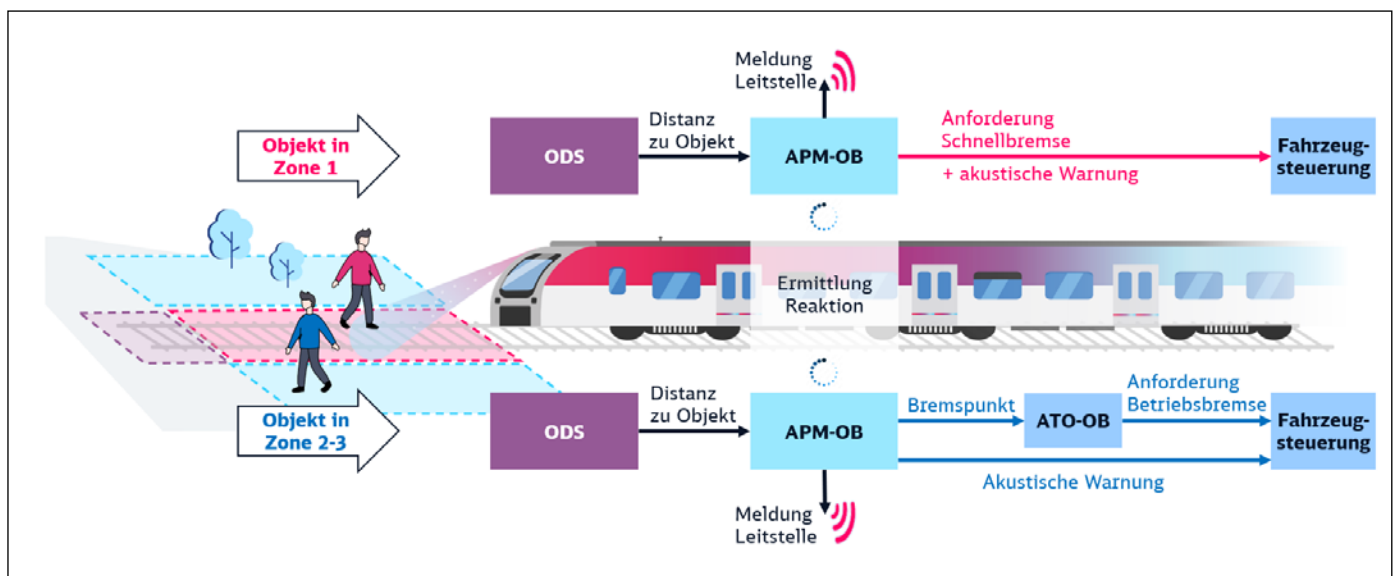


Abb. 3: Signalablauf Bremsenengriff

schriften oder Standards gibt, auf denen eine Systementwicklung aufbauen könnte.

Neben Personen sind aus betrieblicher Sicht auch Hindernisse relevant, die zu Schäden am Zug oder zu Verzögerungen im Betrieb führen können. Aus der Statistik der gemeldeten Vorfälle und einer Ableitung aus der Kollisionssicherheitsnorm DIN EN 15227 [6] wurden hier Objektgrößenkategorien definiert, die erkannt werden müssen. Damit soll eine äquivalente betriebliche Sicherheit und Verfügbarkeit erreicht werden, wie sie im heutigen Betrieb mit Tf besteht. Da sich Objekte (außer Tiere) in der Regel nicht bewegen, wird nur eine Reaktion auf Objekte im eigenen Fahrweg (Zone 1 und 3, Abb. 2) und in der Oberleitung realisiert. Bahnübergänge, an denen potenziell Verkehrsteilnehmer stehen oder kreuzen könnten, sind im projektspezifischen Anwendungsfall ausgenommen.

Aus aktueller Normensicht ist es sehr herausfordernd, sicherheitsrelevante Funktionen mit Künstlicher Intelligenz (KI)/Machine Learning (ML) zu realisieren (siehe DIN EN 50716 Anhang C.3 [7]). Deshalb ist das System zunächst so ausgelegt, dass auf alle Personen und Objekte, die sich im Fahrweg befinden (Zone 1), die gleiche Reaktion ausgeführt wird. D.h. es findet nur eine Detektion statt und keine Klassifikation, wofür KI erforderlich wäre.

Um die Anforderungen an die Objekterkennung abzuleiten, wurden folgende Aspekte berücksichtigt: funktionale Sicherheit, betriebliche Anforderungen, der ausgewählte Anwendungsfall sowie die technische Realisierbarkeit. Personen im Fahrweg stellen dabei die höchste Schutzanforderung dar. Zur Erfüllung der Schutzanforderungen wurde ein Zonenkonzept entwickelt, das in Abb. 2 beschrieben ist und in Tab. 1 im Detail erläutert wird.

Im Unterschied zum Straßenverkehr gibt es im Bahnbetrieb nur sehr selten relevante Objekte wie Personen oder Hindernisse im kritischen Bereich. Das System vergleicht die durch die Sensorik detektierten Objekte mit den Infrastrukturobjekten aus einer Digitalen Karte. Dadurch können nicht relevante Objekte herausgefiltert und somit Fehler in der Erkennung vermieden werden [8].

Um Personen zu erkennen, die sich auf den Fahrweg zubewegen (Zone 2), detektiert das System Objekte in „lauffähiger“ Personengröße mit einer deutlichen Bewegung in Richtung des Gleises. Auch hier wird keine Klassifikation benötigt, denn es ist betrieblich gewünscht, wenn das System z. B. auf größere Tiere oder Gegenstände ebenfalls in gleicher Weise reagiert, auch wenn es aus funktionaler Sicherheit nicht notwendig wäre.

Eine Erkennung von nicht autorisierten Personen (Zone 2 und 4) ist in der Auslegung des Systems für das Projekt nicht sicherheitsrelevant. Somit können KI und Verfahren des ML eingesetzt werden, z.B. zur Erkennung von Warnwesten.

Details zu der im Projekt verwendeten Sensorik für die technische Umsetzung der Streckenbeobachtung im Projekt AutomatedTrain finden sich in einem jüngst veröffentlichten EI-Beitrag [9].

Einleitung der Fahrzeugreaktion

Wie in Tab. 1 gezeigt, kann es entweder zu einer Betriebsbremsung oder einer Schnellbremsung als Reaktion auf ein Objekt kommen. Das APM-OB fungiert dabei als zentrales Steuerungselement des vollautomatisierten Systems und trifft die Entscheidungen bezüglich der Bremsenriffe. Nach Abwägung der Alternativen wurde im Projekt festgelegt, dass die Auslösung einer Betriebsbremsung unter Einbeziehung der ATO-OB erfolgt. Die Auslösung einer Schnellbremsung wird im Gegensatz zum aktuellen Stand europäischer Initiativen über eine Schnittstelle zwischen APM-OB und Fahrzeugsteuerung ohne Beteiligung der ETCS-OB durchgeführt.

Das sicherheitsrelevante Zusammenspiel zwischen den verschiedenen Systemen soll anhand eines Beispiels nachfolgend näher erklärt werden:

Während der Fahrt detektiert das Objekterkennungssystem ODS eine Person in Zone 3. APM-OB berechnet den Bremspunkt anhand der von ETCS-OB übermittelten und von APM-OB an den Anwendungsfall angepassten Bremscharakteristik des Zuges mit einer definierten Sicherheitsmarge vor der detektierten Person. Der Bremspunkt wird an ATO-OB übermittelt. Die Betriebsbremskurve des Zuges wird dort berechnet und die Geschwindigkeit des Zuges entsprechend angepasst. Zusätzlich veranlasst APM-OB über die Fahrzeugsteuerung eine akustische Warnung über das Signalhorn in Fahrtrichtung, um die Person frühzeitig auf die Gefahr aufmerksam zu machen. Der Bremspunkt wird fortlaufend von der APM-OB angepasst und an die ATO-OB übermittelt. Während der Berechnung muss die Eigenbewegung des Zuges berücksichtigt werden.

Sollte die Gefahrensituation bei weiterer Annäherung bestehen bleiben und die Person sich dann in Zone 1 befinden, hält der Zug mithilfe einer sicheren Bremsung (Schnellbremse). In diesem Szenario übermittelt APM-OB ein Signal an die Fahrzeugsteuerung mit der Anweisung zur Auslösung der Schnellbremsung. Aufgrund der vorgesehenen Sicherheitsmarge kommt der Zug rechtzeitig vor der Person zum Stillstand – selbst dann, wenn sich diese weiterhin in Richtung des Zuges bewegt. Auch bei dieser Reaktion erfolgt eine zusätzliche akustische Warnung (Abb. 3).

Diese Umsetzung der Bremsenriffe wurde aus folgenden Gründen gewählt:

- Modularisierung von Funktionen entsprechend ihres Verwendungszwecks und Verteilung dieser auf unterschiedliche Geräte. Dies führt zu weniger Aufwand in der Weiterentwicklung und verringertem Zulassungsaufwand. Zudem kann das Sicherheitslevel (SIL) der Anwendung im APM-OB dabei individuell festgelegt werden und ist nicht auf das SIL4



High-Performance Box PC für zukunftsichere Bahnanwendungen

- Intel Core Prozessor (Raptor Lake)
- Bis zu 96 GB Arbeitsspeicher
- WLAN, GNSS, bis zu vier 5G-Modems
- 10G Ethernet
- Wartungsfrei

Fahrgastinformationssysteme,
Zugserver, Videoüberwachung,
Wi-Fi- und KI-Dienste

Setzen Sie auf robuste Hardware, die für die raue Umwelt und die langen Lebenszyklen des Schienenverkehrs designet und zertifiziert ist.

Jetzt informieren!



www.duagon.com

der ETCS-OB inklusive aller Sicherheitsmargen angewiesen. Durch Reduzierung der Margen auf das Notwendige lassen sich vorteilhaftere Bremskurven für den Betrieb erzielen. Die notwendige Distanz zur sicheren Objekterkennung fällt dadurch geringer aus.

- Änderungen an der ETCS-OB und deren Zulassung sind aufgrund der europäischen Normung und des hohen Sicherheitsintegritätslevels (SIL4) langwierig und kostspielig, sodass auf größere Änderungen der ETCS-OB verzichtet werden sollte. Die Nutzung von der ETCS-OB zur Einleitung der Schnellbremsung wäre eine größere Änderung und kann in diesem Fall vermieden werden.
- Verkürzung der Reaktionskette für die Einleitung der Schnellbremsung durch Verzicht auf ein zusätzlich involviertes System in Form der ETCS-OB. Dadurch werden kürzere Reaktionszeiten sowie eine einfachere Wiederherstellung des Normalbetriebs nach einer Schnellbremsung gewährleistet.
- Eingliederung der Betriebsbremsung in den bereits vorhandenen Optimierungsprozess für Fahr- und Bremsprofile in ATO-OB und so Vermeidung einer weiteren Optimierungsfunktion in APM-OB. Der Änderungs- und Zulassungsprozess für das ATO-OB wird hierbei aufgrund der nicht vorhandenen Sicherheitsrelevanz als hinnehmbar angesehen.

Meldung von

Betriebseinschränkungen an Leitstelle

Erfolgt aufgrund eines Hindernisses eine automatische Bremsung des Zuges durch das System oder liegt eine andere betriebseinschränkende Situation vor, wie z. B. ein Brand im Zug, dann erfolgt eine Meldung an die Leitstelle. Von hier aus werden dann weitere Maßnahmen ergriffen, damit die Situation aufgelöst und der Zug wieder in den Regelbetrieb überführt werden kann. Die Meldung an die Leitstelle enthält unter anderem die folgenden Informationen:

- Typ der Situation (z. B. Objekt in Zone 1)
- relevante Daten des Objekts, das die Reaktion ausgelöst hat
- durchgeführte Reaktionen
- Zugposition.

Zusätzlich dazu wird auch das Auftreten von Fehlern während der Vorbereitung oder während der Zugfahrt an die Leitstelle gemeldet. Je nach Fehlerausmaß entscheidet die APM-OB über die weiteren Maßnahmen. Bei geringem Fehlerausmaß kann der Betrieb ungehindert fortgesetzt werden. Anderenfalls wird die aktuelle Aufgabe wie geplant beendet oder sofort ein sicherer Zustand hergestellt, um im Anschluss die Mission zu pausieren.

Die Mission kann dann entweder durch die Leitstelle abgebrochen oder wieder zur Durchführung freigegeben werden. Eine automatische Wiederfreigabe der Fahrt nach Bremsung bis zum Stillstand vor einem Hindernis erfolgt nicht. Dafür wäre eine sichere Ermittlung erforderlich, die bestätigt, dass das Hindernis nicht mit dem Zug kollidiert ist oder

sich außerhalb des Sichtbereichs der Sensoren (z. B. unter der Kupplung) befindet. Bei- des ist bislang nicht Teil des hier erarbeiteten Systems und wird in einer späteren Iteration auf Grundlage bereits vorliegender Konzepte (siehe [10]) zu entwickeln sein.

Zusammenfassung und Ausblick

Mit dem Projekt AutomatedTrain wird ein modularer Ansatz zur Umsetzung fahrerloser Zugfahrten (GoA 4) entwickelt, der insbesondere für Bereit- und Abstellungsfahrten als erster Anwendungsschritt konzipiert ist. Die vorgestellten Konzepte zur Zugaufrüstung, Objektüberwachung und Missionssteuerung bilden ein technisches Fundament, das derzeit prototypisch umgesetzt und erprobt wird.

Die beschriebenen Anforderungen an die Leitstelle erfordern eine Ausweitung der Entwicklungsaktivitäten, die zum Teil bereits begonnen wurden. Es gilt hierbei, einen optimalen Betriebsablauf für Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) und Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU) zu erarbeiten. Ein zentrales Anliegen ist dabei die möglichst eigenständige Ausführung von Missionen bei gleichzeitigem Erhalt der vollen Kontrolle und Übersicht durch die Leitstelle. Die Automatisierung des Zuges und seiner Kommunikation mit der Leitstelle schafft die Grundlage für mehr Leistungsfähigkeit und Flexibilität bei EVU und EIU. Die maschinenlesbare Gestaltung betrieblicher Abläufe erhöht nicht nur Sicherheit und Effizienz, sondern ermöglicht auch eine gezielte Entlastung verschiedener Berufsgruppen über das Triebfahrzeugpersonal hinaus – insbesondere vor dem Hintergrund wachsender Personalengpässe. In Kombination mit einer digitalen Verkehrssteuerung und Infrastruktur eröffnen sich zusätzliche Potenziale, um die Eisenbahn als Rückgrat nachhaltiger Mobilität zukunftsfähig auszubauen.

Der bewusst gewählte Einstieg über automatisierte Betriebsaufgaben schafft eine solide Grundlage für weiterführende Entwicklungen hin zu einem GoA 4-Regelbetrieb. Mit dem Aufbau der Prototypen im Rahmen des Projektes und den bevorstehenden Testkampagnen wird nun der Praxistransfer vorbereitet, der zeigen wird, inwieweit sich die entwickelten Konzepte bewähren und welche weiteren Potenziale sich daraus ableiten lassen. Des Weiteren sind die Ergebnisse wichtige Impulse für die Industrie zur Serienentwicklung bestellfähiger Systeme für einen vollwertigen GoA 4-Betrieb.

Nach dem erfolgreichen Abschluss des Projektes können die Industriepartner auf Grundlage der erzielten Ergebnisse unmittelbar mit ihren Serienentwicklungsphasen starten. Die Digitale Schiene Deutschland hat damit wichtige Impulse in den Sektor gesendet und den Grundstein gelegt, dass entsprechende Systeme bereits in naher Zukunft von EVU bei der Industrie bestellt werden könnten. ■

QUELLEN

- [1] Spiegel, D.; Hauswald, C.: „Vollautomatisiertes, fahrerloses Fahren auf der Schiene“, DER EISENBAHNINGENIEUR, 05/2024, pp. 18–21
- [2] Knitter, O.; Höhne, T.; Schultz, J.: „Projekt AutomatedTrain: Betriebskonzept und Systemarchitektur für die vollautomatisierte Bereitstellung von Triebzügen (GOA 4)“, Deine Bahn 11/2024, pp. 18–23
- [3] Digitale Schiene Deutschland/Siemens AG, „Entwicklungsprojekt AutomatedTrain“, [Online]. Available: https://digitale-schiene-deutschland.de/Projektfilme/video-thumb_2089_hero-home/DBSiemens_AutomatedTrain_deutsch_sub_mp4.mp4, [Zugriff am 08.07.2025]
- [4] Europäische Kommission, Technische Spezifikation für Interoperabilität – Telematikanwendungen im Güterverkehr, 03/2021
- [5] Europäische Kommission, Technische Spezifikation für Interoperabilität – Telematikanwendungen im Personenverkehr, 05/2019
- [6] Europäisches Komitee für elektrotechnische Normung, DIN EN 15227: Bahnanwendungen – Anforderungen an die Kollisionssicherheit von Schienenfahrzeugen; Deutsche Fassung EN 15227:2020+A1:2024
- [7] Europäisches Komitee für elektrotechnische Normung, DIN EN 50716 DE 0115-716:2024-09 Bahnanwendungen – Anforderungen für die Softwareentwicklung
- [8] Pfitzner, A.; Isaac, G.; Renner, T.: „Digitale Karten für das vollautomatisierte Fahren auf der Schiene“, DER EISENBAHNINGENIEUR 02/2025, pp. 6–9
- [9] Schilling, R.; Bauckhage, P.; Meller, M.; Rudolph, P.; Hauswald, C.; Wolf, R.: „Umfeldwahrnehmung für fahrerlose Bereit- und Abstellfahrten“, DER EISENBAHNINGENIEUR 05/2025, pp. 72–75
- [10] Digitale Schiene Deutschland, „Entwicklungsprojekt KI-MeZIS“, Deutsche Bahn AG, [Online]. Available: <https://digitale-schiene-deutschland.de/de/projekte/KI-MeZIS#tab-Projektbeschreibung>, [Zugriff am 10.07.2025]



Oliver Knitter, M.Sc.

Systemingenieur
DB InfraGO AG, Berlin
oliver.knitter@deutschebahn.com



Julian Hey, M.Sc.

Systemingenieur
DB InfraGO AG, Berlin
julian.j.hey@deutschebahn.com



Dr. Annette Scheel

Systemingenieurin
DB InfraGO AG, Frankfurt a. M.
annette.scheel@deutschebahn.com



Jakob Schultz, M.Sc.

Systemarchitekt
DB InfraGO AG, Frankfurt a. M.
jakob.schultz@deutschebahn.com



Dipl.-Ing. Henning Voelz

Systemingenieur
DB InfraGO AG, Berlin
henning.voelz@deutschebahn.com