

GoA4-Readiness – Herausforderungen für zukünftige Fahrzeuggenerationen

GoA4-Readiness – Challenges for Future Rail Vehicles

Dipl.-Ing. Richard Wolf, Dr.-Ing. Hans-Georg Langer, Erlangen (Deutschland)

Zusammenfassung

Autonomes Fahren ist seit vielen Jahren ein zentrales Innovationsthema im Mobilitätssektor. Im Bahnsektor ist das vollautomatische Fahren im Metrobereich bereits Stand der Technik. Beim vollautomatischen Betrieb werden die Fahrzeuge von einer Zentrale gesteuert. Dieser Ansatz ermöglicht die Erhöhung des Fahrzeugdurchsatzes pro Strecke um bis zu 30%. Zudem wird die Abhängigkeit von hochqualifiziertem Personal an Bord der Fahrzeuge reduziert. Im nächsten Schritt werden der urbane Verkehr sowie der Regional-, Fern- und Güterverkehr höher automatisiert, um den Durchsatz weiter zu vergrößern und durch einen engen Fahrtakt die zunehmende Verlagerung des Verkehrs von der Straße auf die Schiene zu bewältigen. Dieser Artikel befasst sich mit den Herausforderungen der Automatisierung im Vollbahnbereich und der Fragestellung, wie diese Entwicklungen bereits heute bei neuen Fahrzeuggenerationen berücksichtigt werden. Anhand von Beispielen wird aufgezeigt, wie Siemens Mobility schrittweise die Vollautomatisierung umsetzt und welcher Regelungsbedarf sich daraus ergibt. Dabei wird auch auf die besondere Rolle der betrieblichen Regelungen hingewiesen. Diese haben einen großen Effekt auf die Investitionskosten für die Entwicklung der Technologie für einen fahrerlosen Betrieb.

Abstract

Autonomous driving has been a key innovation topic in the mobility sector for many years. In the railway sector, fully automatic driving in the metro sector is already state of the art. In fully automatic operation, the vehicles are controlled by a control center. This approach allows to increase the vehicle throughput per route of up to 30%. In addition, the dependency on highly qualified personnel on board the vehicles can be reduced. In the next step, urban transport as well as regional, long-distance and freight transport will be automated to a higher level to further increase throughput by realizing a tighter train schedule and to cope with the increasing shift of traffic from road to rail. This article addresses the challenges of automation in the mainline sector and the question how these developments are already taken into account today in new vehicle generations. Using examples, it will be shown how Siemens Mobility is gradually implementing full automation and which regulatory requirements result from this. Attention is also drawn to the special role of operational rules. These have a major effect on the investment costs for the development of the technology for driverless operation.

1 Automatisierung im Bahnsektor – Stand und Ausblick

Der Bahnsektor hat gegenüber dem Individualverkehr den Vorteil von festgelegten Fahrwegen und Sicherungseinrichtungen, die dafür Sorge tragen, dass die Schienenfahrzeuge nicht kollidieren können. Die Realisierung basiert dabei auf klassischer Automatisierungstechnologie, für die es etablierte Verfahren zur Argumentation der Sicherheit gibt (CSM Verordnung 352/2009, Normenreihe EN 5012X).

Auf dieser technologischen Basis gibt es hauptsächlich im Metro-Bereich weltweit schon viele Anlagen, die vollautomatisch, d.h. ohne Triebfahrzeugführer an Bord fahren.

Für das Automatisierte Fahren sind 4 Stufen der Automatisierung im Bahnsektor etabliert, die in der Norm IEC 62290-1-2014 als GoA1 bis 4 (Grade of Automation) aufeinander aufbauend wie folgt definiert sind [1]:

GoA1: Non-automated train operation (Nicht automatisierter Zugbetrieb)

Ein Zugsicherungssystem überwacht die Maximalgeschwindigkeit und sichert den Fahrweg, sodass es nicht zu Kollisionen von 2 Zügen kommen kann. Das Fahrzeug wird durch einen Triebfahrzeugführer individuell gefahren.

GoA2: Semi-automated train operation (Halb automatisierter Zugbetrieb)

Die Geschwindigkeit wird durch einen nicht sicheren Fahrautomaten gesteuert, der das zu fahrende Geschwindigkeitsprofil zwischen Haltestellen auf Basis des ihm bekannten Fahrplans entsprechend

berechnet. Der Triebfahrzeugführer hat die Aufgabe den Fahrweg sowie die Abfertigung zu überwachen und gibt den Startbefehl für die Fahrt. Bei Ausfall des Fahrautomaten oder besonderen Situationen, die einer Entstörung bedürfen, übernimmt der Triebfahrzeugführer wieder die vollständige betriebliche Verantwortung.

Die erste GoA2-Anlage auf Basis einer ETCS-Zugsicherung (ETCS: European Train Control System) ist seit 2018 im kommerziellen Betrieb. Siemens Mobility hat diese auf der Thameslink Linie in London (*Bild 1*) realisiert. Die Ergebnisse dieser Entwicklung hat Siemens Mobility in den Definitionsprozess für die Technologie „ATO over ETCS“ (ATO – Automatic Train Operation) im europäischen Shift2Rail-Projekt eingebracht. Die dort abgestimmte Architektur und Spezifikationen ([2] FIS Subsets 139) fließen in die TSI CCS 2022 [3] ein (TSI: Technische Spezifikation für die Interoperabilität). Im Projekt Digitale S-Bahn Hamburg realisiert Siemens auf dieser Basis gemeinsam mit der Deutschen Bahn erstmals den automatisierten Bahnbetrieb mit ATO over ETCS in Deutschland [4].

GoA3: Driverless train operation (Führerloser Zugbetrieb)

Es ist kein Triebfahrzeugführer mehr an Bord, der das Fahrzeug im Normalfall bedient. Die Anlage muss mit hoher Zuverlässigkeit automatisch fahren. Der Fahrweg muss einen gewissen Schutz gegen Eindringen von Objekten aufweisen. Eine betriebsrelevante Person ist noch an Bord, die bei außergewöhnlicher Situation auf Fernanweisung Störungen beseitigen und Anweisungen an die Fahrgäste geben kann.

GoA4: Unattended train operation (Unbegleiteter Zugbetrieb)

In dieser Betriebsart ist keine betriebliche Person mehr an Bord. Um einen reibungslosen Betrieb zu gewährleisten müssen nun nicht nur die Hauptfunktionen des Fahrzeugs wie Fahren, Bremsen, Türen öffnen/schließen, Licht, Klimaanlage voll automatisiert werden, sondern es muss eine hohe Zuverlässigkeit erreicht und weitgehend eine Entstörung des Fahrzeugs aus der Leitwarte ermöglicht werden.

Siemens Mobility realisiert seit den 90er Jahren GoA4-Metro-Anlagen. Beispiele



Bild 1: Thameslink-Fahrzeug für ersten kommerziellen ATO over ETCS-Betrieb

hierfür sind die Anlagen vom Typ VAL in mehreren Städten in Frankreich und die U-Bahn Nürnberg als erste GoA4-Metro in Deutschland. Heute gibt es kaum eine Metro-Ausschreibung, in der nicht GoA4-Betrieb gefordert wird. In Metro-Anlagen sind die Randbedingungen meist klar begrenzt: es gibt einen Betreiber für Infrastruktur und Fahrzeuge, es existiert eine homogene Fahrzeugflotte mit annähernd identischen Eigenschaften sowie eine geschlossene und meist geschützte Infrastruktur.

Der Vollbahnbereich unterscheidet sich dadurch, dass verschiedene Eisenbahnverkehrsunternehmen mit unterschiedlichen Fahrzeugen auf einer offenen komplexen Infrastruktur verschiedene Arten von Verkehr (Personen oder Güter) betreiben. Dadurch ist die Automatisierungsaufgabe im Vollbahnbereich wesentlich komplexer. Für den Schritt zu GoA4 mittels ATO over ETCS im Vollbahnbereich ist der Entwurf einer Grobarchitektur im Shift2Rail-Projekt entstanden. Das Thema wird nun ein Hauptentwicklungsthema in dessen Nachfolgeprojekt.

Je höher die Automatisierung einer Anlage, desto höher sind auch die Investitionskosten. Im Vollbahnbereich müssen die Systeme wie bereits beschrieben meist offen für Mischverkehr sein, während im Metrobereich geschlossene Systeme vorherrschen. Auch würden Automatisierungslösungen für verschiedene Zugsicherungssysteme immer wieder neue Entwicklungskosten verursachen. Deshalb unterstützt Siemens Mobility den Weg, im Vollbahnbereich weiterer Automatisierungsschritte GoA2 bis GoA4 auf Basis

des europäischen ETCS-Zugsicherungssystems zu gehen. Während der Schritt von GoA1 zu GoA2 noch überschaubare Ergänzungen in den Fahrzeugen und am Gesamtsystem benötigt, ist der Schritt zu GoA3 oder GoA4 erheblich komplexer.

2 Harmonisierte Betriebsbedingungen senken die Kosten für GoA4

Beim Schritt zu GoA4 ist darauf zu achten, dass in Europa nicht das gleiche Problem entsteht wie bei der Konzeption von ETCS. Aus dem Ziel ein europäisches Zugsicherungssystem zu entwickeln, wurde ein System mit über 30 verschiedenen zuzulassenden Varianten. So gibt es beispielsweise 15 unterschiedliche Prozeduren für den „Start of mission“ (Beginn einer neuen Fahrt). Dies führt zu entsprechend hohen Kosten in der Umsetzung und Zulassung für die Betreiber.

Die Lehre aus der Einführung von ETCS ist, dass die Betriebsbedingungen zwischen den Betreibern harmonisiert werden müssen. Diese Standardisierung ist einer der größten Hebel, um die notwendigen Investitionen für höhere Automatisierung in Grenzen zu halten. *Bild 2* gibt eine Übersicht über die Vielfalt der Betreiberregelwerke in Europa. Die bisherige Erarbeitung eines vereinheitlichten Regelwerks, welches durch die TSI OPE [5] verpflichtend umzusetzen ist, lässt immer noch sehr viele länderspezifische Regelungen zu. Dies wird in vielen Ländern genutzt, um den bestehenden Betrieb aufrecht zu erhalten.

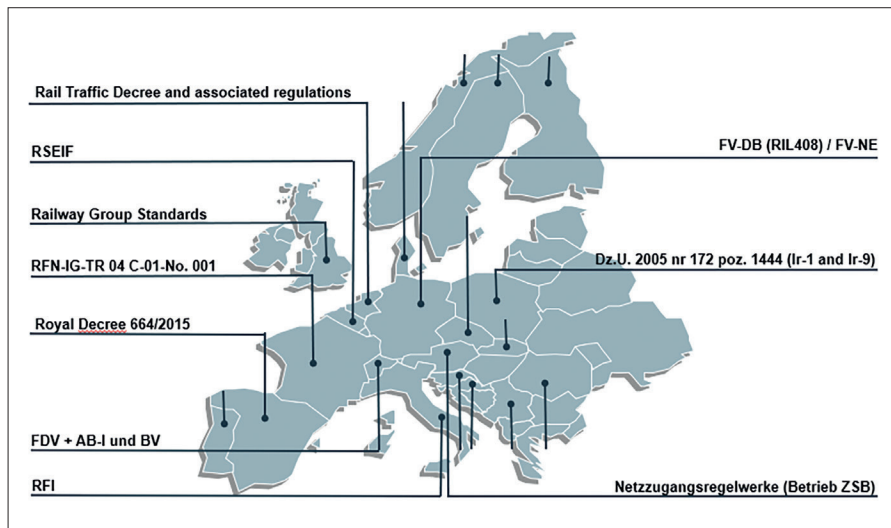


Bild 2: Beispiele für Betreiberregelwerke in Europa

In all diesen Regelwerken gibt es Themen, die beim Übergang zum Automatisierungsgrad GoA4 direkten Einfluss auf die Realisierung einer zu automatisierenden Funktion und auf deren sicherheitstechnische Einstufung haben. Geht jedes Land, jeder Betreiber den Weg der Automatisierung allein auf Basis seiner Regelungen, so wird jeder Betreiber auch seine individuell zugeschnittene Automatisierungslösungen bezahlen müssen. Die notwendigen Investitionskosten für höhere Automatisierung im Schienenverkehr in Europa werden maßgeblich dadurch beeinflusst, ob es gelingt, den Betrieb zu vereinheitlichen.

Die Einführung eines GoA4-Betriebs basierend auf ATO over ETCS in Europa bringt eine neue Betriebsart, für die heute in keinem Land betriebliche Regelungen existieren. Dies eröffnet die Möglichkeit für alle Bahnbetreiber in Europa ein betriebliches Regelwerk aufzustellen. Gemeinsame Netzwerks Zugangsbedingungen und gemeinsame betriebliche Regeln für GoA3/4-Betrieb in Europa sind die Chance, die Digitalisierung im europäischen Bahnsektor zu beschleunigen und die Kosten zu minimieren.

Die Vorteile die sich aus so einem Vorgehen ergeben sind immens:

- eine europaweite Zulassung, keine landespezifischen Zulassungen notwendig,
- schnellere Inbetriebsetzung,
- leichtere Interoperabilität und
- einheitliche funktionale Spezifikationen der Automatisierungsfunktionen

ermöglichen europäische Test-Kriterien.

3 GoA4 – Die Anforderungen an ein automatisiertes Fahrzeug

Die Anforderungen an ein (voll-)automatisiertes Fahrzeug werden aktuell in verschiedenen nationalen und internationalen Gremien diskutiert. Je nach Einsatzgebiet (operational design domain) und Zielrichtung ergeben sich Anforderungen, die im Europäischen Raum im Shift2Rail-Projekt in mehreren funktionalen Clustern [6] zusammengefasst wurden.

Für den in der TSI CCS 2022 [3] definierten GoA2-Betrieb kommen eine streckenseitige ATO-Einrichtung und ein fahrzeugseitiges ATO-System hinzu. Für den GoA4-Betrieb sind aus Sicht von Siemens Mobility folgende funktionale Cluster notwendig:

– Incident Prevention Module (IPM)

Diese Funktion analysiert Einflüsse auf den Bahnbetrieb und setzt Routinen zur Sicherstellung und Optimierung des automatisierten Betriebs um. Sie besteht aus einer landseitigen und einer fahrzeugseitigen Einrichtung.

– Perception (PER)

Diese Funktion beobachtet die Umgebung des Fahrzeugs und analysiert die Situationen auf Relevanz für den Betrieb. Sie besteht dabei aus mehreren Modulen, wie zum Beispiel der Fahrzeuginnenraumüberwachung aber

auch der Fahrwegbeobachtung inklusive Hinderniserkennung. Dabei können auch Informationen durch stationäre Einrichtungen an besonderen Orten wie Bahnsteigen oder Bahnübergängen durch separate Systeme erfasst und verarbeitet werden. Eine Instanz dieser Information muss voraussichtlich in den anderen Funktionen für GoA4 vorgehalten werden.

– Digital Map (DM)

Diese Funktion liefert eine digitale Karte mit allen für den Bahnbetrieb relevanten Objekten. Besonders wichtig ist sie für die Umgebungswahrnehmung und die Lokalisierung.

– Remote Train Operation (RTO) [7]

Diese Einrichtung ermöglicht im Falle von Betriebsbeeinträchtigungen das Fahrzeug von einer Leitstelle aus zu bedienen. Dies kann von den Betreibern zur Fahrzeugüberwachung, der Vorkommnisbearbeitung oder auch dem Fernbedienen von Fahrzeugfunktionen dienen. Die Funktion stellt auch eine Rückfallebene für den automatisierten Betrieb dar.

Bild 3 zeigt die notwendigen Fahrzeugsysteme für GoA3/4. Für die Integration dieser neuen funktionalen Cluster müssen die bestehenden Fahrzeugsysteme hinsichtlich ihrer Funktionen aber auch hinsichtlich ihrer nicht-funktionalen Anforderungen (z.B. RAMS – Reliability, Availability, Maintainability, Safety) überprüft und angepasst werden. Zur Integration dieser neuen funktionalen Cluster in ein Fahrzeug müssen diesen Clustern konkrete Elemente und Schnittstellen zugewiesen werden. Hier gibt es von Siemens Mobility bereits Lösungen im Rahmen des Projekts Digitale S-Bahn Hamburg. Hier wird eine vollautomatisierte Rangierfahrt realisiert, bei der das Fahrzeug ohne Begleitpersonal wendet [4].

Für den Betrieb in GoA2 ist die Schnittstelle zwischen dem Fahrautomaten auf dem Zug und dem Verkehrsrechner an Land, der die optimale Zugreihenfolge berechnet und die entsprechenden Fahrpläne zu den Zügen kommuniziert, in den letzten Jahren international definiert worden [2]. Somit sind die Hersteller heute in der Lage, die Fahrzeuggestechnik funktional für den Betrieb von ATO over ETCS vorzubereiten.

Zum vollautomatischen Fahren GoA4 müssen die Funktionen im Gesamtsystem, die Teilfunktionen an Land und Teilfunktionen auf dem Zug haben, Ende zu Ende sicher und verfügbar funktionieren. Sie betreffen den Fahrgastbetrieb, das Bereitstellen und Parken der Züge, Kuppeln und Entkuppeln und auch Rückfallebenen, um Störfälle zu beherrschen. Sie umfassen nicht nur die Basisfunktionen Fahren, Bremsen, Türen und Zugsicherung, sondern auch beispielsweise Fahrgastinformation, Fahrgastraumüberwachung und Kommunikationsmöglichkeiten. Folglich wird die technische Schnittstelle zwischen Fahrzeug und Landseite entsprechend breiter und komplexer als für den GoA2-Betrieb.

4 Fahrzeuge von Siemens Mobility werden stufenweise GoA4-ready

Auch wenn heute weder eine abgeschlossene Spezifikation auf internationaler oder nationaler Ebene noch ein betriebliches Konzept für einen GoA3- oder GoA4-Betrieb vorliegt, erwarten Betreiber, dass Fahrzeuge, die heute gebaut werden, später auch für GoA4-Betrieb nachgerüstet werden können. Siemens

Mobility geht hier in folgenden Stufen vor (Bild 4).

4.1 Mechanische und elektrische Vorrüstung für GoA3/4

In der ersten Stufe wird von einem Fahrzeug ausgegangen, das funktional schon auf GoA2 vorbereitet ist, d.h. der Fahrautomat ATO ist mit seinen Schnittstellen realisiert. Auf Basis der Annahmen der zusätzlich notwendigen Cluster, kann für die zusätzlichen notwendigen Komponenten eine mechanische und elektrische Vorrüstung geplant werden. Dabei spielt die Vorsehung von Platz-, Gewichts- und Leistungsreserven eine große Rolle. Auch für notwendige Verkabelung müssen Reserven vorgesehen werden. Gerade ein Perception-System wird in Hinblick auf die benötigte Rechnerkapazität für künstliche Intelligenz und Deep Learning-Lösungen und für die Verarbeitung der benötigten Sensordaten einen wesentlichen Anteil am Vorrüstungskonzept innehaben [8].

Das Rail Perception-System kombiniert verschiedene Sensormodalitäten [8] und hat aus diesem Grund hohe Anforderungen an die Integration. So müssen ver-

schiedene Systeme funktional durch z.B. spezielle Gläser aber auch aerodynamisch in der Fahrzeugfront vorgesehen werden. Diese müssen zusätzlich noch eine robuste Reinigungsfunktion haben und auch instandhaltungstechnisch zugänglich sein.

4.2 Für GoA3/4 funktional vorbereitetes Fahrzeug

Für diese Stufe ist es notwendig, dass die Sicherheitsanalyse des GoA4-Gesamtsystems auf Basis ATO over ETCS vorliegt und eine Sicherheitsarchitektur für das Fahrzeug abgeleitet wurde. Auf dieser Basis werden die Automatisierungsfunktionen für das Fahrzeug definiert. Die Funktionen müssen den Komponenten zugewiesen werden und Schnittstellen spezifiziert werden. Nach Abschluss dieser Klärungen kann eine funktionale Vorrüstung der Fahrzeuge erfolgen.

4.3 Für GoA3/4 ausgerüstetes Fahrzeug

Hierunter versteht Siemens Mobility ein Fahrzeug, in dem alle notwendigen und international abgestimmten Spezifikationen

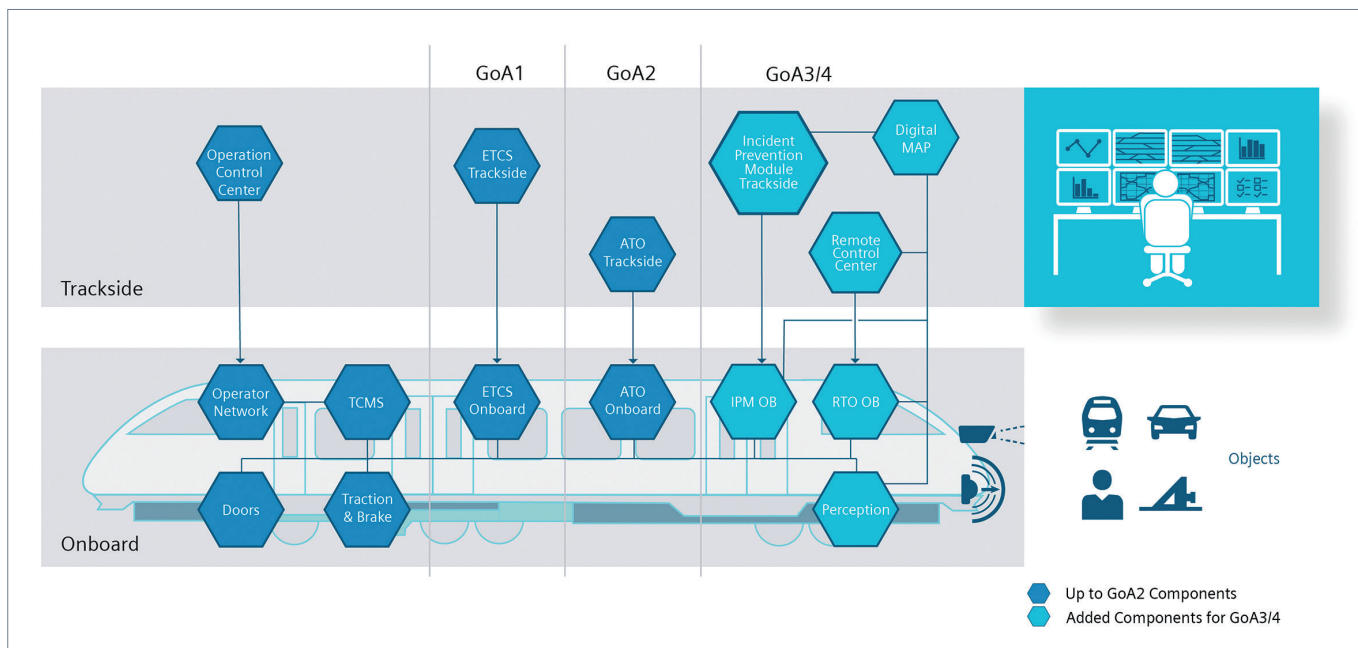


Bild 3: Fahrzeugsysteme für GoA3/4



Bild 4: Stufen der Automatisierungsvorrüstung



Bild 5: Sensorbox, mit der Sensoren für eine Hinderniserkennung nachträglich in Bestandsfahrzeuge integriert werden können

für einen GoA3/4-Betrieb basierend auf ATO over ETCS-Betrieb umgesetzt sind.

5 Erfahrungen aus den Pilotprojekten

In verschiedenen Pilotprojekten entwickelt und getestet Siemens Mobility Verfahren zur Integration von GoA4-Komponenten in die Fahrzeuge. Für das Advanced Trainlab (ICE-TD VT 605) [8] wurde eine spezielle Sensorbox entwickelt (Bild 5), die nach den Bahnanforderungen EN 50155/EN 50121 zertifiziert wurde und für den nachträglichen Einbau der

Sensorik für eine Hinderniserkennung geeignet ist. Der rechte Teil von Bild 5 zeigt eine Draufsicht des Frontpanels und der dahinterliegenden Senioreinhausung mit elektrischem Anschluss, in der Mitte die Vorderansicht des Frontpanels mit dahinterliegender Sensorik und unten die transparente rückseitige Ansicht der gesamten Sensorbox mit elektrischer sowie Datenschnittstelle.

Innerhalb der Box können Sensoren in unterschiedlichen Winkeln und Kombinationen angeordnet werden. Im Rahmen der Kooperation mit der DB wird Sensorik für ein kostengünstiges Assistenzsystem erprobt.

Das System besteht aus zwei Kameras und einem Lidar.

Um den richtigen Einbauort für die Sensorik in den Fahrzeugkopf zu finden, verwendet Siemens Mobility Simulationsverfahren, die durch praktische Messungen mit Hilfe einer speziell dafür entwickelten, temporären Sensorhalterung unterstützt werden. Diese wird auch verwendet, um neue Sensoren schnell und effizient zu testen. Auf dem Advanced Trainlab werden die Sensorik und die Einbauorte durch Messfahrten bei unterschiedlichen Witterungs- und Betriebsbedingungen getestet, um Erkenntnisse für die Konzeption aktueller und zukünftiger Fahrzeuggenerationen zu sammeln.

Ein wichtiges Untersuchungsgebiet ist die Verschmutzung der Sensoren und die Beeinflussung durch Witterungsbedingungen wie beispielsweise Regen, Nebel, Schnee und Vereisung. Durch automatisierte Verfahren wird die Erkennungsperformance der Sensoren analysiert, kontinuierlich gemessen und es werden daraus Anforderungen an die Systeme zur Reinigung, Verschmutzungsvermeidung und Beheizung abgeleitet.

Das Forschungsprojekt Autonomes Tram in Potsdam [9] wird in zwei Stufen realisiert. In der ersten Stufe 2016-2019 wurde das autonome Fahren durch die Potsdamer Innenstadt mit Sicherheitsfahrer erprobt und auf der Innotrans 2018 dem Fachpublikum demonstriert. In der zweiten Stufe (2019-2022) wird an weiteren Fragen des autonomen Tram-Betriebs im Depot gearbeitet. Dafür wurde ein umfassendes Sensorsystem in eine Siemens Mobility Combino-Tram (Bild 6) mechanisch und elektrisch integriert. In eine speziell entwickelte Frontschürze wurden jeweils 3 Lidar- und Radar-Sensoren verbaut. Im überwachten Bereich wurden 7 Kamera-Systeme in einer Spezialhalterung integriert, die mittels 3D-Druck gefertigt wurde und die durch ein integriertes Kabelführungssystem optimal für das Fahrzeug angepasst ist. Sie ermöglicht eine flexible Ausrichtung der Kameras und wurde auf die Scheibe geklebt. Durch das Aufkleben auf die Scheibe wird ausgeschlossen, dass es zu Spiegelungen kommt. Ein Regensensor sorgt dafür, dass die Scheibe automatisch gereinigt wird. Gleichzeitig misst ein Algorithmus die Erkennungsqualität der Kameras und gibt diese an das Control Center (Arbeitsplatz des Operators) weiter. Dieser hat dann die Möglichkeit,



Bild 6: Combino von Siemens Mobility mit Ausrüstung zur Hinderniserkennung

die Scheibe über eine Fernsteuerung zusätzlich reinigen zu lassen.

Die Erfahrungen aus dem Forschungsprojekt fließen in die neue Siemens Mobility Tram-Fahrzeuggenerationen ein, in der die Vorrüstung für Assistenzfunktionen vorgesehen ist. Die Sensoren können dann je nach Anwendungsfall einfach nachgerüstet und installiert werden. Ebenfalls werden Einbauräume und Verkabelung in den Dach-Containern und Schaltschränken vorgesehen.

6 Zusammenfassung und Empfehlung

Die Tram- und Vollbahnfahrzeuge von Siemens Mobility werden bereits heute für den zukünftigen vollautomatisierten und digitalen Fahrbetrieb vorbereitet. Sie können schon heute mit einer Vorrüstung für assistiertes Fahren gebaut werden und für fahrerlosen Betrieb durch Freihalten von Bauräumen, elektrische Leistungs- und Gewichtsreserven sowie ggfs. Kabel für die Automatisierungskomponenten vorbereitet werden. Um die Fahrzeuge weitergehend auch funktional und kosteneffizient auf einen vollautomatischen Betrieb vorzubereiten, sollten vereinheitlichte Betriebskonzepte erarbeitet und standardisiert werden.

Darüber hinaus hat Siemens Mobility bereits Lösungen entwickelt, um Bestandsfahrzeuge mit Sensorsystemen für eine Hinderniserkennung auszurüsten. So können die Triebfahrzeugführer bereits heute unterstützt und Kollisionen vermieden werden. Die Systeme zur Hinderniserkennung werden im operativen Betrieb zusammen mit den Betreibern optimiert und weiterentwickelt.

Durch das Anlernen der Algorithmen der Hinderniserkennung für die verschiedenen Strecken und unterschiedlichen Gegebenheiten wird Siemens Mobility die Performance schrittweise anheben. Dadurch werden die Systeme für einen vollautomatischen Betrieb ertüchtigt und qualifiziert. Gleichzeitig arbeitet Siemens Mobility zusammen mit den Betreibern, den Zulassungsbehörden und Gutachtern intensiv an einer Spezifikation, der Architektur sowie deren Nachweisführung. Dabei spielt die Sicherheitsargumentation der Systeme für den vollautomatischen Betrieb eine maßgebliche Rolle.

Eine erste Stufe für die Einführung von GoA4-Systemen kann das vollautomatisierte Fahren im Depot und das fahrerlose Ab- und Bereitstellen der Fahrzeuge sein. Siemens Mobility hat im August 2021 mit der autonomen Tram im vollautomatisierten Depot in Potsdam die Machbarkeit dafür demonstriert. Diese Arbeiten und die Ergebnisse aus weiteren Pilotprojekten sind wichtige Entwicklungsschritte hin zum fahrerlosen und unbegleiteten Betrieb.

#734_A3

(Bildnachweis: 1 bis 6, Verfasser)

Literatur

- [1] IEC 62290-1-2014.
- [2] UNISIG Subset 139, ATO over ERTMS; ATO-OB / Vehicle Interface Specification FIS, Shift2Rail.
- [3] https://ec.europa.eu/transport/modes/rail/ertms/2022-ccs-tsi-revision_en, abgerufen am 11.09.2021.
- [4] Schröder, J.; Alpoim, CH. G.; Dickgießer, B.; Knollmann, V.: Digitale S-Bahn Hamburg – Erstmalige Realisierung von „ATO over ETCS“ in Deutschland. Signal+Draht, Ausgabe 07-08/2021.

- [5] Durchführungsverordnung (EU) 2019/773 der Kommission vom 16. Mai 2019.
- [6] https://projects.shift2rail.org/s2r_ip2_n.aspx?p=X2RAIL-4, abgerufen am 11.09.2021.
- [7] https://projects.shift2rail.org/s2r_ipx_n.aspx?p=tauro, abgerufen am 11.09.2021.
- [8] Fischer, T.: Radü, Ch.: Das advanced TrainLab ist Versuchsträger für innovative Technologien, ZEVrail 145 (2021) 4, S. 116-123.
- [9] <https://www.mobility.siemens.com/global/de/portfolio/schiene/fahrzeuge/strassenbahnen/autonome-strassenbahn>, abgerufen am 11.09.2021.



Dipl. Ing. Richard Wolf (37). Studium Mechantronik an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. Seit 2011 bei Siemens Mobility in den Bereichen Zugsicherungstechnik und Vollautomatisierung im Vollbahnbereich tätig. Senior Specialist Architecture Automatic Driving. Seit 2019 Technical Manager und Lead System Architect für fahrerlose und unbegleitete Schienenfahrzeuge von Siemens. Anschrift: SMO GmbH, SMO RS EN ASR FA, Siemenspromenade 8, 91052 Erlangen, Deutschland. E-Mail: richard.wolf@siemens.com



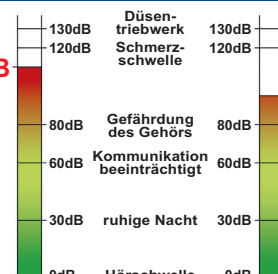
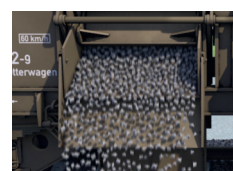
Dr.-Ing. Hans-Georg Langer (60). Studium Elektrotechnik an der RWTH Aachen. Promotion am Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe der RWTH Aachen. Seit 1994 bei Siemens Mobility in verschiedenen Aufgabenfeldern tätig u.a. sieben Jahre Projektabwicklung vollautomatische Metrofahrzeuge und acht Jahre Leitung der Fahrzeugsteuerungsentwicklung. Seit 2020 als Principal Key Expert tätig. Anschrift: SMO GmbH, SMO RS EN, Siemenspromenade 8, 91052 Erlangen, Deutschland. E-Mail: langer-hg@gmx.de



Lärmreduzierung beim Schottern!

Unsere PU-Lärmschutzmatten reduzieren den Geräuschpegel um 16 dB und verringern so die Schallintensität um das ca. **32-fache!** Zum Schutz der Beschäftigten, der Anwohner und der Umwelt.

ohne Lärmschutzmatten **110dB**



mit Lärmschutzmatten **94dB**

