

Autonomes Fahren im Schienenverkehr

Der Schienenverkehr befindet sich in einem vielschichtigen Spannungsfeld zwischen traditionellen Betriebsabläufen, innovativen Technologien, Klimazielen und dem internationalen Wettbewerb mit individuellen Verkehrslösungen. Dies macht flexible, sichere und nachhaltige Mobilitätslösungen notwendig. Hierbei ist autonomes Fahren ein entscheidender Faktor. Autonomes Fahren verspricht einige Vorteile wie beispielsweise die Steigerung der Effizienz und Flexibilität, jedoch gilt es auch den hohen Anforderungen an Technik und Sicherheit gerecht zu werden.

Dieser Faktencheck bietet einen Überblick der verschiedenen Automatisierungsgrade von Systemen – im Bereich des Schienenverkehrs – den vorhandenen Regelungen, nationalen und internationalen Aktivitäten sowie der Rolle der DKE bei der Entwicklung von Normen und Standards.

■ Marko Kesic

Projektmanager Mobilität bei DKE

Tel. +49 69 6308-417

marko.kesic@vde.com

■ Deniz Serifsoy

Projektmanager Mobilität bei DKE

Tel. +49 69 6308-418

deniz.serifsoy@vde.com

■ Artur Schmidt

Projektmanager Mobility bei DKE

Tel.: +49 6308-354

artur.schmidt@vde.com

Die Zukunft des Schienenverkehrs ist autonom

Als kritische Infrastruktur stellt die Bahn für Millionen von Menschen in Deutschland einen unverzichtbaren Teil der Mobilität dar und leistet jetzt schon einen großen Beitrag zur klimafreundlichen Mobilität. Um den wachsenden Forderungen einer modernen, nachhaltigen Gesellschaft nach komfortablen und schnellen Verbindungen gerecht zu werden, muss die Vernetzung und Zuverlässigkeit weiterentwickelt werden und gleichzeitig der CO₂-Ausstoß durch Effizienzsteigerung und konsequenter Elektrifizierung des Antriebs reduziert werden. Die Schienenverkehrsbranche setzt seit längerem neben der Elektrifizierung vor allem auf die

Automatisierung als vielversprechendster Hebel die gesetzten Klimaziele zu erreichen.

Die Vorteile automatisierter bzw. autonomer und vernetzter Fahrzeuge sind vielfältig. Sie steigern die **Effizienz** durch intelligente Auswertung des Fahrgastaufkommens und der Streckenbedingungen, durch z.B. optimale Beschleunigung bei Ab- und Anfahrt, oder Bergfahrten sowie dem Halten der Geschwindigkeit. Darüber hinaus reduzieren Sie den Verschleiß und Defekte an Bauteilen. Durch die verbaute Sensorik können Ausfälle frühzeitig erkannt und damit die **Zuverlässigkeit** erhöht werden, wodurch Sie die Lebensdauer erhöhen und das Ausfallrisiko senken.

Damit sind diese Systeme besonders **ressourcenschonend**, was sich wiederum auf die **Kosten** auswirkt. Autonome Systeme sind enorm **flexibel**, da schnell auf ein sich veränderndes Fahrgastaufkommen und Streckenbedingungen reagiert werden kann. Streckenbelegungen und Kapazitätsanpassungen durch z.B. zusätzliches Einspeisen von Zügen ins Netz kann ohne größere Personalanpassung auch kurzfristig erfolgen. Auch erhöht sich der Komfort, da der Bahnbetrieb pünktlicher und besser aufeinander abgestimmt werden kann. Ein wesentlicher Vorteil autonomer Züge ist ihr Potenzial zur Verbesserung der Sicherheit. Menschliches Versagen ist eine der Hauptursachen für Eisenbahnunfälle und autonome Züge könnten das Unfallrisiko verringern, indem sie die Möglichkeit menschlichen Versagens ausschließen. Dies könnte den Schienenverkehr zu einem noch sichereren Verkehrsmittel machen und seine Beliebtheit weiter steigern.

Bis voll autonome Fahrzeuge allerdings eingeführt werden können, braucht es noch weitere technischen Entwicklungen sowie die Klärung offener Fragen im Bereich Normung und Standardisierung.

Fahrerlose Schienenfahrzeuge sind bereits Wirklichkeit

Das autonom fahrende Auto macht derzeit Schlagzeilen. Durch die im Gegensatz zum Straßenverkehr einfacher zu beherrschenden Randbedingungen wie

z.B. vorhersehbarer Fahrtweg (Schienen) und i.d.R. keine Fußgänger / spielende Kinder auf den Schienen, sind Züge mit hohem Automatisierungsgrad schon seit vielen Jahren Realität und blicken auf eine mittlerweile 30-jährige Historie zurück. Die erste fahrerlose U-Bahn wurde bereits 1983 in Lille, Frankreich in Betrieb genommen. Mittlerweile werden auf der ganzen Welt Züge mit unterschiedliche Automatisierungsgraden eingesetzt. In Deutschland setzt die Nürnberger U-Bahn seit 2008 erfolgreich vollautomatisierte Züge ein und am Frankfurter Flughafen transportiert die Hochbahn Skyline jeden Tag bis zu 25.000 Fahrgäste vollautomatisch und ohne Fahrer. Auch in Hamburg wird seit September 2022 im Rahmen des Vorhabens „Digitale Schiene Deutschland“ auf autonome S-Bahnen gesetzt, die selbstständig anhalten und weiterfahren können. In Australien gibt es das erste automatische Schwerlast-Schienennetz der Welt – dort transportieren fahrerlose Züge Erzeugnisse aus Eisenminen hunderte Kilometer durch das Land.

Das nachfolgende Bild mit allen in Betrieb und in Planung befindlichen automatisierten U-Bahnen in europäischen Städten verdeutlicht, dass die Zukunft des autonomen Fahrens auf der Schiene bereits begonnen hat. Die Technologie hat in den letzten Jahren rasante Fortschritte gemacht und es ist zu erwarten, dass in Zukunft immer mehr Bahngesellschaften auf autonome Züge setzen werden.

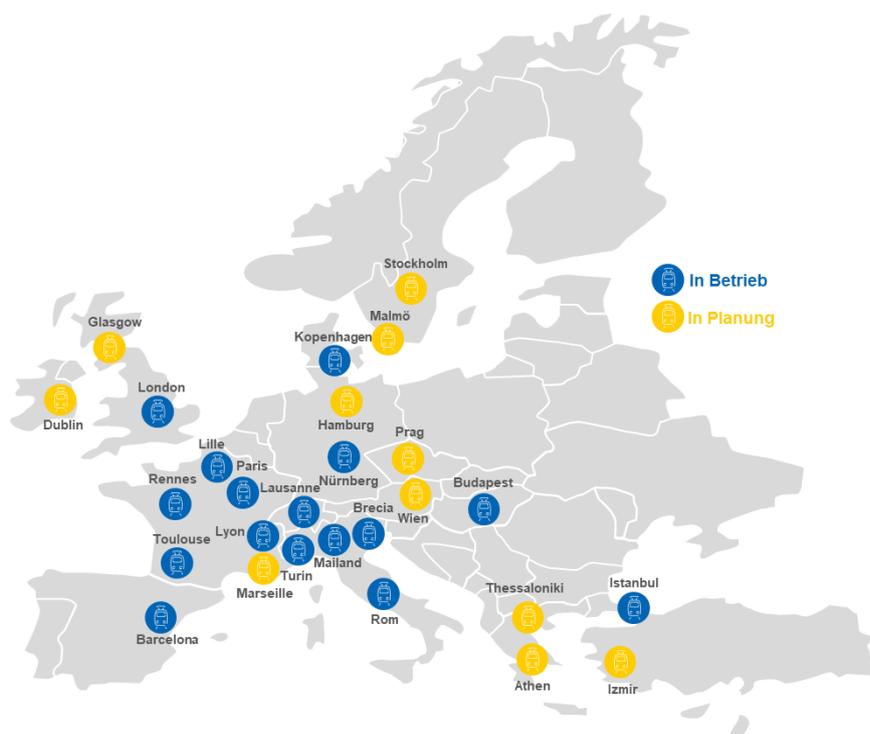


Abbildung 1: Status automatisierte U-Bahnen in Europa; Eigene Darstellung in Anlehnung an [1]

Was ist automatisiertes Fahren?

Autonomes Fahren im Schienenverkehr bezieht sich auf den Einsatz selbstfahrender Systeme, um Züge ohne menschliches Bedienpersonal zu betreiben. Gemäß der Norm IEC 62267 der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) bezieht sich der Automatisierungsgrad (Grade of Automation - GoA) eines Eisenbahnsystems auf den Grad der Automatisierung des Zugsteuerungs- und -betriebsverfahrens. Die Norm definiert fünf Automatisierungsgrade, die von GoA 0 (keine Automatisierung) bis GoA 4 (vollautomatisch) reichen.

- **GoA 0** bezieht sich auf ein nicht automatisiertes Eisenbahnsystem, in dem die gesamte Zugsteuerung und -bedienung von menschlichen Bedienern durchgeführt wird. Dies ist die einfachste Automatisierungsstufe und ist typischerweise auf älteren oder kleineren Bahnsystemen zu finden.
- **GoA 1** bezieht sich auf ein Eisenbahnsystem mit begrenzter Automatisierung, bei dem einige Zugsteuerungsfunktionen automatisiert sind, aber ein menschliches Bedienpersonal für die Ausführung bestimmter Aufgaben erforderlich ist. So kann beispielsweise ein automatisches Zugsicherungssystem vorhanden sein, um Kollisionen zu vermeiden, aber der Zugführer ist immer noch für die Steuerung der Geschwindigkeit und Bewegung des Zuges verantwortlich.

- **GoA 2** bezieht sich auf ein Bahnsystem mit einem hohen Automatisierungsgrad, bei dem die meisten Zugsteuerungsfunktionen automatisiert sind, aber immer noch ein menschliches Bedienpersonal im Zug anwesend sein muss. Die Hauptaufgabe des Bedieners auf dieser Ebene besteht darin, die automatisierten Systeme zu überwachen und bei Bedarf einzugreifen.
- **GoA 3** bezieht sich auf ein Eisenbahnsystem mit einem sehr hohen Automatisierungsgrad, bei dem alle Zugsteuerungsfunktionen automatisiert sind und kein menschliches Bedienpersonal im Zug erforderlich ist. Die Rolle des Bedieners auf dieser Ebene beschränkt sich auf die Überwachung des Zugbetriebs von einem entfernten Standort aus.
- **GoA 4** bezieht sich auf ein vollautomatisches Eisenbahnsystem, bei dem die gesamte Zugsteuerung und der Betrieb von automatisierten Systemen durchgeführt werden und kein menschliches Bedienpersonal erforderlich ist. Dies ist die höchste Automatisierungsstufe, die derzeit in der Eisenbahnindustrie nicht weit verbreitet ist.

Automatisierungsgrad Fahrbetrieb		Anfahrt	Bremsen	Türabfertigung	Betrieb im Störfall
GoA 0 Fahrt auf Sicht		Fahrer	Fahrer	Fahrer	Fahrer
GoA 1 Manuelle Fahrt mit Zugbeeinflussung (ATP)		Fahrer	Fahrer	Fahrer	Fahrer
GoA 2 Halbautomatischer Zugbetrieb mit Fahrer (STO)		Automatisch	Automatisch	Fahrer	Fahrer
GoA 3 Begleiteter, fahrerloser Zugbetrieb (DTO)		Automatisch	Automatisch	Zugbegleiter	Zugbegleiter
GoA 4 Vollautomatischer, fahrerloser Zugbetrieb (UTO)		Automatisch	Automatisch	Automatisch	Automatisch

Abbildung 2: Automatisierungsgrade; Eigene Darstellung in Anlehnung an [2] und Projektpräsentation „safe.trAI“

Infobox – Der Unterschied zwischen Automatisch und Autonom

Automatisch = Von selbst durch Steuerung oder Regelung von außen erfolgend.



Autonom = selbständig, selbstverantwortlich und unabhängig.



Abbildung 3: Unterschied zwischen automatischem und autonomem Schienenverkehr nach [3]

Voraussetzungen und Herausforderungen

Mit steigendem Automatisierungsgrad steigen die Herausforderungen an das Gesamtsystem – woraus sich der Bedarf nach immer leistungsfähigeren Technologien ergibt, die erst im Zusammenspiel diesen Herausforderungen gerecht werden können. Heutige Lösungen basieren auf einer Vielzahl von Sensoren, wie Lidar, Radar und Kameras, die es dem Zug ermöglichen, seine Umgebung wahrzunehmen und Entscheidungen über seine Bewegungen zu treffen. Diese Technologien werden im Folgenden kurz erläutert.

LiDAR (Light Detection and Ranging) beruht auf dem Prinzip der Analyse von Lasersignalen, die in die Umgebung emittiert werden und deren Reflexion analysiert wird. Damit wird eine Entfernungsmessung zwischen Objekt und Fahrzeug ermöglicht. LiDAR-Sensoren senden bis zu einer Million Laserpulse pro Sekunde aus und fassen die Ergebnisse in einer hochauflösenden 3D-Karte der Umwelt mit hoher Reichweite zusammen.

Radar (radio detection and ranging) frei übersetzt „funkgestützte Ortung und Abstandsmessung“ ermöglicht das Erkennungs- und Ortungsverfahren auf der Basis elektromagnetischer Wellen im Radiofrequenzbereich (Funkwellen). Radar-Sensoren sind längst die Schlüsselkomponente autonomer Systeme. Sie sind

robust, kostengünstig und liefern auch bei schlechten Witterungsbedingungen meist zuverlässige Daten.

Aktuelle **Kamerasysteme** weisen hohe Auflösungen auf wodurch via Bildverarbeitung Objekte und deren Position im Raum erkannt bzw. eingeschätzt werden kann. Durch Methoden der künstlichen Intelligenz wie Machine Learning (ML) kann z.B. die Objekterkennung antrainiert und eigenständig im laufenden Betrieb optimiert werden. Die Zuverlässigkeit von Kameras ist bei schlechten Umweltbedingungen wie Nebel, Schnee und Eis sowie Dunkelheit eingeschränkt.

Jede dieser Technologien weist, abhängig vom jeweiligen Szenario, Vor- und Nachteile auf. Je besser die Systeme aufeinander abgestimmt sind, desto zuverlässiger werden Objekte erkannt und in Konsequenz sicherer bewegt sich der Zug. Erst die so genannte Sensorfusion, also die Verknüpfung und Auswertung der Ausgabedaten mehrerer Sensoren-/typen, ermöglicht den sicheren Betrieb auf höchsten Automatisierungsstufen.

Eine weitere Schlüsseltechnologie für automatisierte Züge ist die GPS-Technologie (Global Positioning System), die es dem Zug ermöglicht, seinen Standort zu bestimmen und seine Bewegungen zu verfolgen. Dies kann in Verbindung mit Karten und anderen Daten genutzt werden, um dem Zug bei der Navigation zu

helfen und Entscheidungen über seine Bewegungen zu treffen.

Auch die Kommunikationstechnologie ist für das automatisierte Fahren unerlässlich, da sie die Kommunikation mit anderen Zügen, der streckenseitigen Infrastruktur und den Leitstellen ermöglicht. Dazu können Technologien wie Funk-, Mobilfunk- und Satellitenkommunikationssysteme gehören.

Um diese auch auf dem Schienenfahrzeug zu verarbeiten sind zusätzliche Systeme wie die automatische Zugsicherung ATP (Automatic Train Protection) und die automatische Zugsteuerung ATO (Automatic Train Operation) notwendig. Die ATP errechnet, kontrolliert und optimiert die Abstände zwischen den Zügen und deren Geschwindigkeit auf der Strecke, während die ATO für das autonome Fahren zuständig ist. Da die fahrerlosen Bahnen ständig untereinander Daten austauschen, wird dieses System auch als CBTC (Communication Based Train Control) bezeichnet.

Nach Stand der Technik kann ein vollautonomes (Zug-) System in den vorherrschenden komplexen Umgebungen durch klassische Automatisierungstechnologien allein nicht gelöst werden. Wiederum sind bei der Entwicklung von Technologien im Bereich des automatisierten Fahrens in den letzten Jahren bemerkenswerte Fortschritte erzielt, die auf der Leistungsfähigkeit von Künstlicher Intelligenz (KI) basieren. Der Einsatz dieser KI-basierten Verfahren, wie beispielsweise Maschinelles Lernen / Machine Learning (ML), wird derzeit als vielversprechendster Ansatz gesehen, um das autonome Fahren realisieren zu können. Wenn solche KI-basierten Systeme zum Einsatz kommen sollen, werden KI-Methoden benötigt, die nachweisbar robust und sicher sind, um z.B. Hindernisse auf der Strecke mit der notwendigen Robustheit und Verlässlichkeit erkennen zu können. Normen und Standards sind das Mittel, um diese Sicherheit in Produkten zu garantieren.

Normen & Standards – Die Rolle der DKE

Das Fahren auf Schienen ist eines der sichersten Mobilitätslösungen und nicht zuletzt dank Standardisierung und Regulierung im Verlauf ihrer Entwicklungsgeschichte immer sicherer geworden.

Die vom VDE getragene DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik ist die Plattform für rund 9.000 Expert*innen aus Wirtschaft, Wissenschaft und Verwaltung zur Erarbeitung von Normen, Standards und Sicherheitsbe-

stimmungen für die Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik. Normen unterstützen den weltweiten Handel und dienen u. a. der Sicherheit, Interoperabilität und Funktionalität von Produkten und Anlagen. Als Kompetenzzentrum für elektrotechnische Normung vertritt die DKE die Interessen der deutschen Wirtschaft in europäischen (CENELEC, ETSI) und internationalen Normenorganisationen (IEC).

Für die elektrische Ausrüstung von Bahnen ist das [DKE/K 351](#) zuständig, welches die allgemeinen Sicherheitsbestimmungen im Bereich der elektrischen Bahnen, d. h. Eisenbahnen Straßen-, Stadt- und U-Bahnen sowie O-Busse vorgibt. Die Mitarbeitenden des Gremiums [DKE/AK 801.0.8](#) „Spezifikation und Entwurf autonomer / kognitiver Systeme“ haben den ersten KI-Standard in Form der [VDE-AR-E 2842-61-1](#) entwickelt. Dadurch wird ein internationaler Weg für eine strukturierte sowie nachweislich sichere Entwicklung von KI-basierter Systeme ermöglicht und ein Referenz-Standard zur Verfügung gestellt, der in einem KI-Prüfsiegel münden kann. Mit der [VDE SPEC AI Trust Standard](#) entstand ein erster Entwurf einer europäischen Norm und gleichzeitig ein erster wirklich praktikabler Ansatz, der die Standardisierung des hochkomplexen Themas der KI-Ethik möglich macht. Darüber hinaus steuert die DKE gemeinsam mit BMWK, BMAS, BMBF und DIN die [Normungsroadmap Künstliche Intelligenz](#) und beteiligt sich aktiv am vom BMWK geförderten Projekt „[safe.trAI](#)n“. Im Fokus steht u.A. die Entwicklung von Prüfstandards und Methoden für den Einsatz von Künstlicher Intelligenz am Beispiel eines fahrerlosen Regionalzuges

Ausblick & Fazit

Den Herausforderungen hinsichtlich Sicherheit und Zuverlässigkeit autonomer Systeme stehen zahlreiche Chancen gegenüber. Künftig wird entscheidend sind, wie die Nachweisführung KI basierter Systeme umgesetzt und geprüft werden kann. Das Vorhandensein von Normen und Standards kann dabei eine wichtige vertrauensfördernde Maßnahme sein. Politik und Wirtschaft haben gezeigt, dass sie gewillt sind, diesen Weg zu gehen und autonome Schienenfahrzeuge werden in Zukunft dazu beitragen den Schienenverkehr nicht nur sicherer, sondern auch attraktiver zu gestalten.

Quellen:

[1]: „Selbstfahrende Metros in Europa: Eine Milliarde Fahrgäste jedes Jahr“ (2016, 16. November), <https://www.allianz-pro-schiene.de/presse/pressemitteilungen/uebersicht-selbstfahrende-metros-europa/>

[2]: C. Schindler: „Schienenverkehrstechnik 4.0“. In: Handbuch Industrie 4.0: Recht, Technik, Gesellschaft. Hrsg. von W. Frenz. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2020, S. 719–757. isbn: 978-3-662-58473-6. doi: 10.1007/978-3-662-58474-3-38.

[3]: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Nils Nießen· 08.04.2019, Fachtagung Eisenbahnrecht und Technik 2019, Verkehrswissenschaftliches Institut und Lehrstuhl für Schienenbahnwesen und Verkehrswirtschaft der RWTH Aachen