

Autonomes Fahren – technisch betrachtet

Univ.-Prof. Dr.-Ing Nils Nießen

Verkehrswissenschaftliches Institut der RWTH Aachen

Zusammenfassung

Auch unter dem Druck eines voraussichtlich stattfindenden Technologiesprungs im Straßenverkehr muss die Schiene Strategien entwickeln, um durch ein wirtschaftliches und attraktives Angebot am Verkehrsmarkt in Zukunft bestehen zu können. Digitalisierung, automatisches und autonomes Fahren stellen dabei wichtige Bausteine der Zukunftsfähigkeit der Bahn dar.

Keywords: Automatischer Schienenverkehr; Autonomer Schienenverkehr; ATO; GoA

1 Einleitung

Sowohl für den Güter- als auch den Personenverkehr wird in den nächsten Jahren ein Wachstum prognostiziert [1]. Besonders in Hinblick auf die Umweltverträglichkeit erlangt der Schienenverkehr dabei immer mehr an Bedeutung, auch, um die formulierten Anforderungen der Reduzierung des CO₂-Ausstoßes zu erreichen. So ist es erklärtes Ziel der Europäischen Union, dass bis 2050 im Personenverkehr „der Großteil“ der Fahrten auf mittlerer Entfernung per Bahn stattfinden und bis 2030 dreißig Prozent des Straßengüterverkehrs mit über 300 km Beförderungsweg auf die Schiene oder den Schiffsverkehr verlagert werden sollen [2].

Zusätzliche Verkehre auf dem vorhandenen Eisenbahnnetz gestalten sich jedoch schwierig. Zum einen stößt der Schienenverkehr bereits heutzutage auf den Hauptachsen an

seine Kapazitätsgrenzen [3], andererseits lässt sich im ländlichen Raum oftmals Schienenpersonennahverkehr nicht wirtschaftlich und mit einem attraktiven Angebot betreiben.

Einige vielversprechende Möglichkeiten zur Minderung dieser Probleme werden im Rahmen der Digitalisierung gesehen. So planen die DB Netz AG und die Bundesregierung im Rahmen des Projekts „Digitale Schiene Deutschland“ u.a. Stellwerke, Sicherungs- und Betriebsleittechnik zu erneuern und damit Leistungsfähigkeitssteigerungen zu erreichen [4]. Aber auch automatische Zug- und Rangierfahren werden im Rahmen dieses Projekts analysiert und exemplarisch, wie beispielsweise bei der Hamburger S-Bahn, umgesetzt. Bis Oktober 2021 soll auf einer Teilstrecke der S-Bahn ein hochautomatisierter Betrieb eingeführt werden, die dafür ausgerüsteten Fahrzeuge gehen anschließend in das konventionell betriebene Restnetz der S-Bahn über [5].

In der öffentlichen Diskussion überwiegt jedoch die Wahrnehmung autonomer Fahrzeuge im Straßenverkehr wie beispielweise Google Car [6] und nicht der Schienenverkehr. Prinzipiell wird bei autonomen Straßenfahrzeugen eine Sensorik auf dem Fahrzeug benötigt, welche den (Gesichts-)Sinn des Fahrers substituiert und das Fahrzeug bewegt, wenn der Weg auf Sicht frei ist. Die Deutung und Auswertung von Verkehrssituationen, Schildern und Lichtsignalanlagen übernehmen dabei fahrzeugseitig eingespielte Algorithmen, zudem kann zur Verkehrsflussoptimierung eine Kommunikation der Fahrzeuge untereinander stattfinden [7]. Die Spurhaltung erfolgt dabei durch fahrwegseitige Markierungen oder kann durch hinterlegte Koordinaten realisiert werden. Insgesamt werden durch autonome Fahrzeuge weniger Unfälle entstehen, da „menschliches Versagen“ oder Missachten der Verkehrsregeln ausgeschlossen sind. Neue Fehlerquellen ergeben sich hingegen durch „unsaubere Daten“, fehlerhafte Algorithmen oder unzureichende Systemspezifikationen [8].

2 Grades of Automation

Im Vergleich zum Straßenverkehr ist der Schienenverkehr aufgrund der systembedingten Spurführung für ein automatisiertes oder autonomes Fahren prädestiniert, dabei wird allerdings bei vielen Anwendungsgebieten kein autonomer, sondern ein automatischer Verkehr angestrebt. Im automatischen Betrieb braucht das Fahrzeug von außen einen Auftrag, um sich zwischen zwei Orten zu bewegen. Die Steuerung oder Regelung erfolgt in diesem Fall von außen beispielsweise durch eine Leitzentrale, welche die Randbedingungen der Fahrt prüft und im Anschluss einen Fahrauftrag erteilt (vgl. Abbildung 1). Im

Gegensatz dazu entscheidet beim autonomen Schienenverkehr das Fahrzeug selbständig und unabhängig auf Basis der ihm zur Verfügung stehenden Informationen, wie die Fahrt fortzusetzen ist.

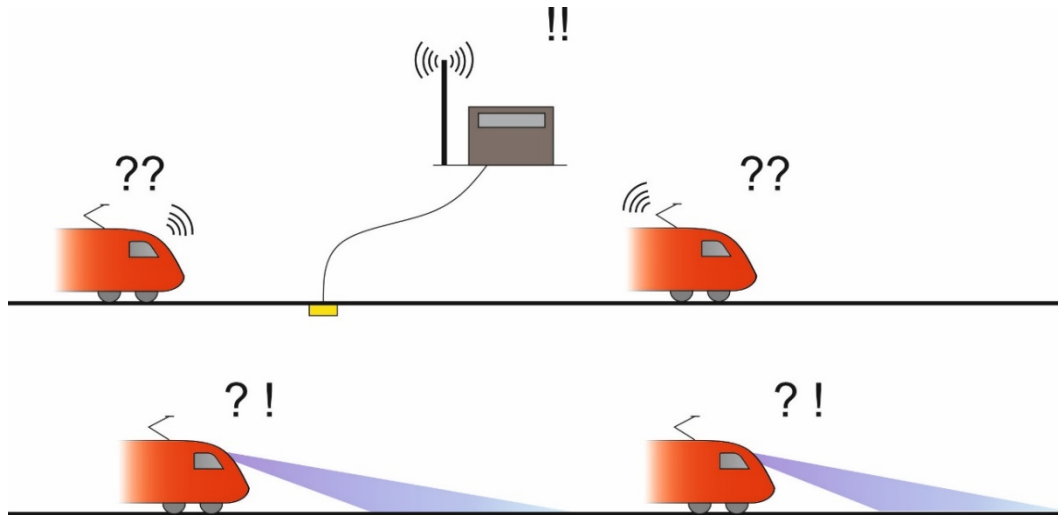


Abbildung 1: Informationsgewinn und Steuerung im automatischen (oben) und autonomen Betrieb (unten)

Im Eisenbahnwesen werden vier Automatisierungsstufen, sogenannte Grades of Automation (GoA), unterschieden (vgl. Abbildung 2). Während bei GoA 1 ein Zugbeeinflussungssystem die Zugfahrt überwacht, ansonsten aber der Triebfahrzeugführer die Kontrolle über das Fahrzeug innehat, findet bei GoA 2 auch die Zugsteuerung (Beschleunigen und Bremsen) automatisch durch den Einsatz von ATO-Systemen (Automatic Train Operation) statt. Bei der Stufe GoA 3 ist noch ein Zugbegleiter an Bord, welcher die Türschließung überwacht und bei Störungen eingreifen kann. Regulär übernimmt er jedoch keine Aufgaben im Fahrbetrieb mehr. In der Stufe GoA 4 werden auch diese Tätigkeiten automatisch bzw. ohne unmittelbares Beisein von Personal durchgeführt, was dazu führt, dass zur Störungsbehebung alternative technische Lösungsansätze gefunden werden müssen [9]. Der automatisierte Betrieb (GoA 2) stellt den Stand der Technik für Vollbahnen dar. Im Nahverkehr existieren auch vollautomatische Systeme (GoA 4), die jedoch im Gegensatz zur Vollbahn in aller Regel vollständig abgeschlossen verkehren. Beispiele hierfür sind die U-Bahn in Nürnberg und der SkyTrain in Düsseldorf [10, 11]. Zudem bestehen vereinzelt autonome Lösungen auch im schweren Güterverkehr, so verkehren die Erzzüge des australischen Bergbaukonzerns Rio Tinto bereits mehrheitlich autonom [12].

Automatisierungsgrad	Art des Zugbetriebs	Beschleunigen Bremsen	Türschließung	Störungsbehebung
GoA 1 	ATP mit Fahrer	Fahrer	Fahrer	Fahrer
GoA 2 	ATP und ATO mit Fahrer	Automatisch	Fahrer	Fahrer
GoA 3 	Fahrerlos	Automatisch	Zugbegleiter	Zugbegleiter
GoA 4 	Unbegleitet	Automatisch	Automatisch	Automatisch

ATP – Automatic Train Protection
ATO – Automatic Train Operation

Abbildung 2: Grades of Automation gemäß Internationalem Verband für öffentliches Verkehrswesen (UITP) [9]

Vor- und Nachteile der verschiedenen Automatisierungsstufen werden in [13] diskutiert. Bei der Bewertung der Automatisierungsgrade muss insbesondere auch das Marktsegment berücksichtigt werden, da sich die Anforderungen in den Einsatzfeldern Personen- und Fernverkehr sowie im Güterverkehr deutlich unterscheiden können.

3 Automatischer Schienenverkehr

Der (voll-)automatisierte Schienenverkehr basiert auf dem derzeitigen Systemverständnis „Bahn“ mit externer Fahrwegstellung und -sicherung [14], also der Sicherung aller Zugbewegungen von außen. Dieses System hat sich insbesondere aufgrund der langen Bremswege von Schienenfahrzeugen, die einer Fahrt auf Sicht entgegenstehen, etabliert.

Beim vollautomatisierten Schienenverkehr GoA 4 wird das Fahrzeug in der Regel von außen über eine Leitstelle geführt. Dabei werden die Fahrtfreigabe und Restriktionen von der zentralen Leitstelle vorgegeben, die auch in Verbindung mit dem Stellwerk als Sicherungsebene und Dispositionssystemen steht. Das daraus resultierende Fahrgeschwindigkeitsprofil sowie die Bremskurven können zentral vorgeben (beispielsweise LZB [15]) oder auf dem Fahrzeug berechnet werden (beispielsweise ETCS [16]). Die Kommunikation mit dem Fahrzeug und dessen Ortung kann kontinuierlich über Funk, aber auch über Balisen oder ähnliche Systeme, abgewickelt werden. Im Personenverkehr muss zusätzlich noch die Türüberwachung beim Fahrgastwechsel realisiert werden. Dies kann entweder

per Videoübertragung durch die zentrale Leitstelle, über bahnsteigseitige Vorkehrungen wie zum Beispiel Bahnsteigtüren und positionsgenaues Halten oder eine Gefahrenraumüberwachung am Bahnsteig umgesetzt werden.

Bei Verlust oder eingeschränkter Verbindung zur Leitstelle muss das Fahrzeug in einen sicheren Zustand zurückfallen (fail safe-Prinzip). Dies wäre dann z.B. Fahren auf Sicht, sofern das Fahrzeug von einer Leitstelle aus noch mit Kameras ferngesteuert werden kann, oder andernfalls der Stillstand.

Für den vollautomatischen Betrieb werden daher in der Regel die folgenden technischen Einrichtungen benötigt:

- Zugsicherung mittels Stellwerk
- Zentrale Leitstelle
- Zugbeeinflussung (z. B. ETCS, LZB)
- Zugsteuerungssysteme
- Ortung
- Türüberwachung beim Halt

Abbildung 3 zeigt exemplarisch die Ausstattung einer eingleisigen Strecke für den vollautomatisierten Betrieb. Das Stellwerk verantwortet dabei auch die Abstandhaltung zwischen zwei Fahrzeugen, in diesem Fall realisiert über die klassische Teilung der Strecke in einzelne Blöcke zur Wahrung des Fahrens im Raumabstand.

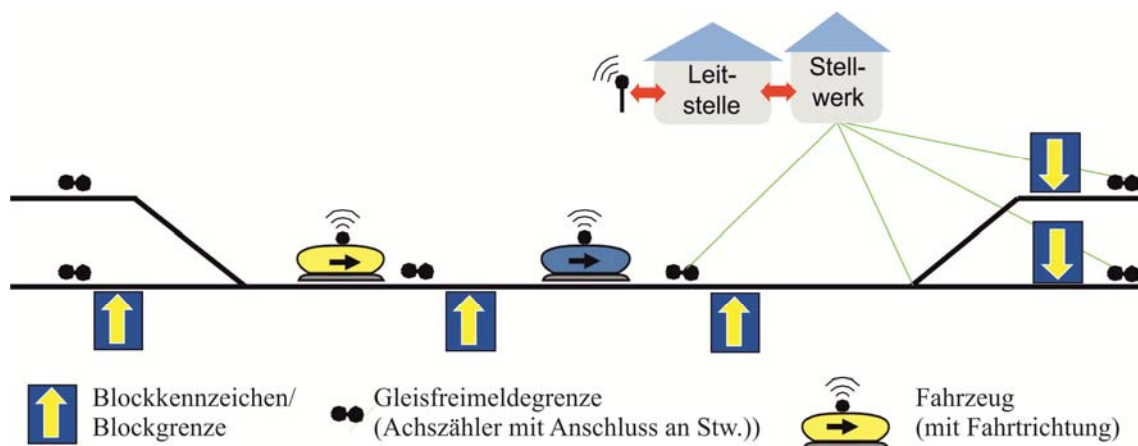


Abbildung 3: Streckenausstattung für vollautomatischen Betrieb

4 Autonomer Schienenverkehr

Beim autonomen Schienenverkehr erfasst das Fahrzeug seine Umgebung durch an Bord installierte Sensorik und künstliche Intelligenz vollkommen selbständig und bewegt sich in seinem Umfeld fort. Die Fahrzeuge organisieren sich eigenständig und dezentral und kommen – ggfs. bei geringerer Performanz gegenüber klassischer Leit- und Sicherungstechnik – ohne externen Informationszufluss und Hilfsmittel ans Ziel. Autonom verkehrende Fahrzeuge müssen unvorhergesehene Änderungen der Umgebungsbedingungen wahrnehmen und auf diese selbständig reagieren können. Hierzu ist eine Sensorik an den Fahrzeugen notwendig, welche erkennt, ob der Fahrweg frei von Hindernissen und anderen Fahrzeugen ist.

Gegenüber der konventionellen Bildung von Fahrwegen werden Weichen eigenständig vom Fahrzeug angefordert gestellt und die Sicherung sonstiger Fahrwegelemente wie Bahnübergängen angestoßen. Der Fahrverlauf und die zulässigen Geschwindigkeiten sind dem Bordcomputer bekannt und fließen in das berechnete Fahrprofil des Fahrzeugs ein. Ergänzend ist bei autonomen Schienenverkehr eine Kommunikation der Fahrzeuge untereinander zur Kollisions- und Deadlockvermeidung notwendig.

Für den autonomen Betrieb werden daher in der Regel die folgenden technischen Einrichtungen benötigt:

- Zugsicherung durch Fahrzeuge (beispielsweise Folgefahrerschutz durch Kamera oder Radar, Gegenfahrerschutz durch Informationsaustausch zwischen den Fahrzeugen, Vollständigkeitsprüfung)
- Dezentrale Steuerung des Fahrzeugs
- Ansteuern von Weichen, und Bahnübergängen durch Fahrzeuge
- Eigenständige Ortung
- Türüberwachung beim Halt



Abbildung 4: Eingleisige Strecke mit Fahrzeugen im autonomen Betrieb

Abbildung 4 zeigt exemplarisch die Ausstattung einer eingleisigen Strecke für den autonomen Betrieb. Gegenüber dem Konzept in Abbildung 3 wird erkennbar auf eine technische, infrastrukturseitig installierte Gleisfreimeldung und eine Leitung des Betriebs von außen verzichtet.

5 Schlussfolgerungen

Der Schienenpersonenverkehr findet bereits heutzutage oftmals zumindest teilautomatisiert statt. Dabei hat sich im Fernverkehr GoA 2 (z. B. als ATO over ETCS) als Serienprodukt am Markt etabliert. Eine Vollautomatisierung wäre hier zwar umsetzbar, ist aber nicht unbedingt notwendig, da diese in der Regel bis auf den Verzicht auf einen Triebfahrzeugführer keine weiteren Vorteile mit sich bringt. Bereits durch GoA 2 und die automatische Zugsteuerung lassen sich der Energieverbrauch verringern, durch das planmäßigere An- und Abfahren die Pünktlichkeit erhöhen und die Kapazität leicht steigern [17].

Im Schienennahverkehr kommen in abgeschotteten Systemen heutzutage beim Neubau oftmals vollautomatische Systeme mit GoA 4 zum Einsatz. Darüber hinaus ergeben sich in schwach ausgelasteten Regionalnetzen und auf Nebenstrecken auch Anwendungsfälle für einen autonomen Betrieb. Hier kann beispielsweise eine Angebotsausweitung oder Verkehr nach Bedarf eingerichtet werden. Insbesondere im ländlichen Raum werden voraussichtlich kleinere Einheiten wie zum Beispiel das Aachener Rail Shuttle (siehe Abbildung 5) zur Anwendung kommen. Durch den Verzicht auf einen Triebfahrzeugführer und den Entfall des Fahrerraums ergibt sich ein Platzgewinn für die Fahrgäste.



Abbildung 5: Aachener Rail Shuttle [18]

Der Regelbetrieb lässt sich technisch betrachtet bereits in vielen Fällen sowohl (voll-)automatisch als auch autonom abwickeln. Die noch offenen Fragen und Probleme beim unbegleiteten Fahren nach GoA 4, sei es vollautomatisch oder autonom, ergeben sich insbesondere in Hinblick auf die Frage der Rückfallebene bei unvorhergesehenen Ereignissen, wenn eine technische Störung am Zug oder an der Infrastruktur auftritt. Mögliche, noch weiter zu untersuchende Lösungen stellen die Bereithaltung von Notfallmanagern, die Fernwartung und Diagnose oder ein Aufschalten der Strecke in die Leitzentrale dar, wo Personal durch Hilfsmittel wie Kameras am Fahrzeug und streckenseitig dessen Steuerung übernehmen kann [19].

Letztendlich ist neben den beschriebenen technischen Aspekten auch die Nutzerakzeptanz für einen fahrerlosen Betrieb ausschlaggebend. Hierbei muss insbesondere das Sicherheitsempfinden der Reisenden während der Schwachlastzeiten berücksichtigt werden, das ebenfalls bedeutend für das Image verschiedener Verkehrssysteme ist [20].

6 Literatur

- [1] Bundesministerium für Verkehr und Digitale Infrastruktur (BMVI), „Verkehrsprognose 2030,“ 2014. Online verfügbar: www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/verkehrsprognose-2030-praesentation.pdf. [Zugriff am 13. August 2019].
- [2] Europäische Kommission, Weißbuch - Fahrplan zu einem einheitlichen europäischen Verkehrsraum – Hin zu einem wettbewerbsorientierten und ressourcenschonenden Verkehrssystem, Brüssel, 2011.
- [3] K.-H. Rochlitz, „Kapazität, Überlastung und Schienenverkehrsregulierung“ *Eisenbahn-Revue International*, S. 301 - 307, Juni 2016.
- [4] Eisenbahn Ingenieur Redaktion, „Deutsche Bahn: Digitale Schiene Deutschland“ *Eisenbahn Ingenieur*, März 2018.
- [5] N.N, „Digitalisierter Bahnbetrieb bei der Hamburger S-Bahn“ *Deine Bahn*, S. 52 - 55, Juli 2019.
- [6] Waymo LLC, Online verfügbar: www.waymo.com. [Zugriff am 13. August 2019].

- [7] H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz und C. Singer, Handbuch Fahrerassistenzsysteme - Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort, Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2015.
- [8] M. Maurer, J. C. Gerdes, B. Lenz und H. Winner, Autonomes Fahren, Berlin: Springer-Verlag GmbH, 2015.
- [9] Internationaler Verband des öffentlichen Verkehrswesens (UITP), „PRESS KIT – METRO AUTOMATION FACTS, FIGURES AND TRENDS,“ 2012. Online verfügbar: www.uitp.org/sites/default/files/Metro_automation_-_facts_and_figures.pdf. [Zugriff am 13. August 2019].
- [10] R. Müller, K. Schmidt, „Eine automatische U-Bahn – Technische Besonderheiten der AGT-Fahrzeuge für Nürnberg“ *Eisenbahntechnische Rundschau*, S. 679 - 685, November 2003.
- [11] H. Rahier, P. Scharf, „Sicherheitstechnische Prüfung der fahrerlosen Kabinenbahn des Flughafens Düsseldorf“ *Signal + Draht*, S. 20 - 22, Oktober 2002.
- [12] Redaktion S+D, „Rio Tintos vollautomatisierte Züge zugelassen“ *Signal + Draht*, S. 117, September 2018.
- [13] N. Nießen, C. Schindler und D. Vallée, „Assistierter, automatischer oder autonomer Betrieb - Potentiale für den Schienenverkehr“ *Eisenbahntechnische Rundschau*, S. 32 - 37, April 2017.
- [14] J. Pacht, Systemtechnik des Schienenverkehrs - Bahnbetrieb planen, steuern und sichern, 8. Auflage Hrsg., Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 2016.
- [15] DB Netz AG, Richtlinie 810.0300A02 Technischer Netzzugang für Fahrzeuge - Linienförmige Zugbeeinflussung - LZB, 2016.
- [16] A. Feltz, N. Nießen, T. Walke und J. Jacobs, „Analyse und Optimierung von ETCS-Parametern im Luxemburger Eisenbahnnetz,“ *Signal + Draht*, S. 6 - 17, März 2017.
- [17] D. Morton, M. Bähr, o. Detering und G. Theeg, „Optimierung der Zugfolgezeiten mittels ETCS und ATO“ *Signal + Draht*, S. 16 - 19, Oktober 2012.

- [18] Institut für Schienenfahrzeuge und Transportsysteme, Online verfügbar:
www.ifs.rwth-aachen.de. [Zugriff am 13. August 2019].
- [19] N. Brandenburger, A. Naumann, J. Grippenkov und M. Jipp, „Der Train Operator“ *Der Eisenbahningenieur*, S. 13 - 15, September 2017.
- [20] W. Lorenz, „Sicherheitsempfinden in öffentlichen Verkehrsmitteln“
Eisenbahntechnische Rundschau, S. 26 - 29, November 2013.

Autor



Nießen, Nils

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Nils Nießen ist seit 2013 Professor für Schienenbahnwesen und Verkehrswirtschaft und Leiter des Verkehrswissenschaftlichen Instituts (VIA) der RWTH Aachen. Nach dem Studium des Bauingenieurwesens und der Wirtschaftsgeographie an der RWTH Aachen promovierte er dort 2008. Anschließend war er Projektingenieur bei der HaCon Ingenieurgesellschaft in Hannover und danach Geschäftsführer der VIA Consulting & Development GmbH.