
Positionspapier / August 2019

Autonomer Fahrbetrieb bei Straßenbahnen

Impressum

Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V. (VDV)
Kamekestraße 37–39 · 50672 Köln
T 0221 57979-0 · F 0221 57979-8000
info@vdv.de · www.vdv.de

Ansprechpartner

Martin Schmitz
T 0221 57979-123
F 0221 57979-8123
schmitz@vdv.de

Christoph Hessel
T 030 399932-23
F 030 399932-15
hessel@vdv.de

Udo Stahlberg
T 0221 57979-132
F 0221 57979-8132
stahlberg@vdv.de

Einleitung

2013 wurde erstmalig Sensorik zur Erkennung von Hindernissen im Fahrweg aus dem Automotive-Bereich auch bei Straßenbahnen eingesetzt. Seitdem sind die technischen Möglichkeiten nahezu exponentiell gewachsen.

Die damals konzipierten „Fahrerassistenzsysteme zur Kollisionsvermeidung“ (FAS) waren eine Revolution; heute sind sie im betrieblichen Einsatz Realität und werden bei fast jeder Fahrzeugausschreibung vorgegeben.

Flankiert durch den medienwirksam aufbereiteten Betrieb von mehr oder weniger autonom fahrenden Straßenfahrzeugen (im Individualverkehr oder im ÖPNV), hat auch der „autonome Betrieb von Straßenbahnen“ mit den auf der InnoTrans 2018 vorgestellten Projekten in Potsdam (Siemens), Karlsruhe (Thales) und Paris (Alstom) zumindest als Schlagwort in der Branche Einzug gehalten. Hinzu kommen noch Projekte in China (CRRC) und – ganz aktuell – in Russland.

Dieses von Mitarbeitern des VDV-Betriebsausschusses und VDV-Schienenfahrzeugausschusses erstellte Positionspapier soll die derzeitigen Entwicklungen einordnen, einen Ausblick auf die Möglichkeiten geben und die noch zu definierenden Eckpunkte für die Zukunft darlegen.

Heutiger Stand der autonomen Technologie

1984 wurde mit der H-Bahn in Dortmund die erste automatisiert fahrende Straßenbahn, d. h. eine ohne Fahrzeugführer betriebene Schienenbahn, in Deutschland in Betrieb genommen.

1994 folgte das People-Mover-System am Flughafen Frankfurt („SkyLiner“). In vielen weiteren Projekten wurde der automatische Fahrbetrieb verfeinert (u. a. U-Bahn Nürnberg) und ist heute international der Stand der Technik bei unabhängigen Nahverkehrs-Bahnen.

Die Fahrzeuge dieser Bahnen fahren automatisiert, d. h., sie werden durch ein Stellwerk und eine Sicherungsebene der ATC („Automatic Train Control“) gesteuert und gesichert. Der Fahrgastwechsel wird über Bahnsteigtüren oder Bahnsteiggleisüberwachung realisiert. Eine besetzte Betriebszentrale kann vorher abgespeicherte Betriebsprogramme vorgeben und diese automatisiert ausführen lassen (Automatic Train Operation (ATO)). Stellwerke und dezentrale Rechner der ATC übernehmen die signaltechnische Fahrwegsicherung und die nachgeschaltete Zugsicherung (Automatic Train Protection (ATP)). Die grundsätzliche Konfliktfreiheit zum umgebenden Verkehr wird durch Abgrenzung vom übrigen Verkehrsraum erreicht (Aufständigung, Einzäunung oder Tunnel), sie wird aber nicht durch Sensorik überwacht. Die für die Betriebssicherheit relevanten Funktionen umfasst üblicherweise das ATP-System.

Ein auf einem straßenbündigen oder besonderen Bahnkörper autonom fahrendes Bahnfahrzeug kann auf der beschriebenen ATO-Logik aufbauen, besitzt aber keine Stellwerks- oder ATP-Logik. Es orientiert sich wie ein Straßenbahnfahrer bei „Fahren auf Sicht“ alleine an der eigenen Wahrnehmung bzw. Beurteilung und muss daher die Fahrwegüberwachung und -beurteilung für sich und alleine (autonom) bewältigen. Realisiert wird dies mit den nachfolgend aufgeführten Sensoren, deren Signale/Daten in einem eigenen Rechner an Bord des Fahrzeuges ausgewertet und beurteilt werden:

- Radar
- LIDAR
- Videokameras (Mono oder Stereo)

Diese Vorgehensweise hielt mit der Konzeption der Fahrerassistenzsysteme (FAS) Einzug in den Straßenbahnbereich. Ihre Funktionsweisen sind in der VDV-Mitteilung 1520 beschrieben, und die Kriterien zur Projektierung und Verifizierung sind in der VDV-Schrift 191 festgelegt. Diese Systeme basieren z. T. auf Hard- und Software aus dem Automotive-Bereich und sind für den Einsatz im Bahnbetrieb angepasst worden. Sie können Hindernisse im Fahrweg zuverlässig erkennen, diese auf ihre Sicherheitsrelevanz einschätzen und automatisierte Bremsungen auslösen. Somit weisen diese FAS eine erste Baustufe einer „künstlichen Intelligenz“ (KI) zur Bewertung von Ereignissen im Umfeld des Fahrzeuges auf. Seit 2017 bewähren sich große Fahrzeugserien mit FAS in Frankfurt/Main und Den Haag im Fahrgastbetrieb. Als Weiterentwicklungen deutet sich in naher Zukunft die Erkennung von Fußgängern, Signalen und Weichenlagen an.

Im Rahmen der InnoTrans 2018 wurde in Potsdam ein Versuchsträger für ein autonom fahrendes Straßenbahnfahrzeug von der Firma Siemens vorgestellt. Er nutzt ein ATO-Modul zur Generierung der Fahr-/Bremsbefehle. Die Umfelderkennung wird durch eine sehr stark verfeinerte FAS-Sensorik realisiert. Essenziell ist auch hier ein KI-Modul in der Auswertung der Umfeldsensorik. Das von der Firma Thales in Karlsruhe ausgerüstete Karlsruher Stadtbahnfahrzeug basiert auf der gleichen Architektur; Ähnliches gilt für das Alstom-Projekt in Paris.

Es ist zu beachten, dass alle bisher bekannten Pilotprojekte das Ziel haben, die grundsätzliche Machbarkeit eines autonomen Fahrbetriebes einer Schienenbahn nachzuweisen. Diese Projekte

sind nicht für den Fahrgastbetrieb konzipiert; so wird z. B. die Durchführung des Fahrgastwechsels an einer innerstädtischen Haltestelle bisher in keinem Projekt als Projektziel betrachtet. Dagegen wird von allen Anbietern mittelfristig ein fahrerloser, autonomer Rangierbetrieb im Betriebshof als technisch machbar angesehen.

Im Mittelpunkt aller o. a. Projekte steht derzeit das Konzipieren einer sicheren Umfelderkennung und -interpretation (vergleichbar mit der ATP beim automatisierten Fahren), die im Bereich eines Safety Integrity Levels (SIL) 3 oder 4 liegen müssten.

Als vorläufiges Zwischenergebnis kann daher Folgendes festgestellt werden:

Die bisher verfügbaren Technologien und Pilotprojekte leisten einen signifikanten Beitrag zur Weiterentwicklung des Bahnbetriebes, werden aber in naher Zukunft nicht die erforderliche Betriebsreife erreichen. Die autonom, d. h. ohne Fahrzeugführer, fahrende Straßenbahn ist daher noch Zukunftsmusik und muss auch hinsichtlich ihrer Sinnhaftigkeit am jeweiligen Einsatzfall beurteilt werden.

Konkret bedeutet dies, dass die autonom fahrende Straßenbahn in einem isolierten Betrieb auf unabhängigem oder besonderem Bahnkörper mit baulich abgetrennten Stationsbauwerken bei Neubauprojekten durchaus denkbar ist und sinnvoll sein könnte, aber ihr Einsatz im innerstädtischen Bereich auf Bestandsnetzen auch langfristig noch fraglich ist.

Offene Punkte hinsichtlich eines autonomen Straßenbahnbetriebes

Zur Verwirklichung eines autonomen Straßenbahnbetriebes auf straßenbündigem Bahnkörper im städtischen Ballungsraum sind u. a. die folgenden Punkte ausführlich zu klären:

- Fahrgastwechsel an innerstädtischen Haltestellen im Straßenraum;
- Betriebsabwicklung bei Störungen und Umleitungen (z. B. Weichen- oder Türstörung);
- Fahrzeugverhalten bei Unfallschäden an der Umfeldsensorik (Straßenbahnfahrzeuge haben i. A. eine hohe Unfallhäufigkeit im vorderen, für die Umfeldsensorik essenziellen Fahrzeugbereich);
- Betriebslenkung und Disponierung von autonomen Fahrzeugen (z. B. durch Fernbedienung aus der Leitstelle);
- Kosten der Fahrzeugausstattung im Vergleich zum konventionellen Fahrbetrieb mit Fahrzeugführer (Erstinvestition und finanzieller Aufwand über die gesamte Lebensdauer des Fahrzeuges);
- Handhabung von Themen hinsichtlich der Verfügbarkeit und Obsoleszenz bei einer ansteigenden Anzahl von sicherheitsrelevanten Komponenten (insbesondere bei der Umfeldsensorik);
- Erkennen von Hindernissen, die seitlich in den Lichtraum gelangen;
- vorausschauende Bewertung von Ereignissen analog einem Fahrzeugführer.

All diese offenen Punkte wurden bei den bisherigen Testbetrieben nicht berücksichtigt. Insbesondere die betrieblichen Themen bedingen bei der klassischen Straßenbahn eine Fehlerbehebung durch Betriebspersonal; die Einsparung des Fahrzeugführers ist somit als sinnvolle Zielstellung fraglich. Ein autonomer Betrieb alleine im Betriebshof wird aber die durchzuführenden Investitionen wahrscheinlich nicht rechtfertigen.

Darüber hinaus besteht mit einer technischen „Hochrüstung“ der Fahrzeuge die Gefahr, dass die Straßenbahn ihre Stellung als leistungsfähiges und kostengünstiges innerstädtisches Massenverkehrsmittel verlieren könnte. Dies kann und darf nicht Ziel der Entwicklung sein.

Man kann daher den aktuellen Stand des „autonomen Straßenbahnbetriebs“ wie folgt zusammenfassen:

- Es gibt erheblich mehr technologische Möglichkeiten, allerdings ist der innerstädtische Straßenbahnbetrieb bisher ausgeklammert und dessen Besonderheiten sind teilweise unterschätzt worden. Momentan wird (nur) das technisch Machbare gezeigt; es existieren derzeit keine umfassenden Betriebskonzepte.
- Bei einem Betrieb in einem historisch gewachsenen Straßenbahnnetz im innerstädtischen Bereich ist es aufgrund der hohen Anforderungen an die Umfelderkennung und -bewertung technologisch nicht möglich, mittelfristig ohne Fahrzeugführer auszukommen. Bei Neubau- netzen können heute zwar optimierte Randbedingungen, z. B. vom Individualverkehr getrennte Fahrwege, geschaffen werden, aber aufgrund der noch nicht ausgereiften Technik und der fehlenden Regelwerke zur Betriebsabwicklung ist ein Fahrbetrieb ohne Fahrzeugführer auch hier zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht durchführbar.
- Eine Begleitung von autonomen Zügen durch Betriebspersonal oder ein Einsatz von Bahnsteigservicekräften würde die Kosten für das Fahrpersonal zwar senken, aber im Zusammenhang mit der notwendigen und aufwendigen Umfeldsensorik ein eher unsicheres Kostenein-

sparpotenzial darstellen. Allerdings ist demgegenüber zu erkennen, dass das Anwerben von Fahrbediensteten immer schwieriger wird, was wiederum die Entwicklung autonomer Schienenfahrzeuge fördern könnte.

- Es hat sich herausgestellt, dass die notwendige Umfeldsensorik oft kostenintensiv, aufwendig, filigran und unfallanfällig ist. Außerdem ist sie nicht ohne Anpassungen vom Automotive- zum Straßenbahn-Bereich übertragbar.
- Für einen autonomen Straßenbahnbetrieb, für straßenabhängige Bahnen existiert kein rechtlicher Rahmen analog den für unabhängige Bahnen gemäß BOStrab geltenden Technischen Regeln Straßenbahn „Fahrbetrieb ohne Fahrzeugführer“ (TR Strab FoF).
- Durch die vielen und in den Medien sehr stark vereinfacht dargestellten Pilotprojekte erscheinen die aktuellen Möglichkeiten zum autonomen Fahrbetrieb bei Straßenbahnen in der (Fach-)Öffentlichkeit einfacher und damit schneller erreichbar als real umsetzbar.

Ausblick auf die Möglichkeiten und künftige Handlungsfelder

Straßenbündige Bahnen im innerstädtischen Bereich teilen sich den Verkehrsraum mit anderen Transportmitteln wie dem motorisierten Individualverkehr und dem straßengebundenen öffentlichen Nahverkehr. Die Handlungsfelder zur Thematik „Autonomer Fahrbetrieb bei Straßenbahnen“ können daher nicht losgelöst von den Ansätzen und Entwicklungen in diesem Gesamtkontext betrachtet werden. Aufgrund der Branchengröße und der verfügbaren Forschungs- und Entwicklungsmittel wird die Automobilindustrie die Roadmap zum autonomen Fahren vorgeben. Die Bahnbranche wird dies berücksichtigen müssen, um die Stellung der Schienenbahnen als essenzieller Mobilitätsanbieter im urbanen Raum in Zukunft zu erhalten bzw. auszubauen.

Insbesondere Straßenbahn-Neubauprojekte, bei denen ein verkehrlicher und städtebaulicher Rahmen zur Verfügung gestellt wird, um die Vorteile einer autonomen Betriebsabwicklung ausnutzen zu können, z. B. Trassen für besondere Bahnkörper, Beschleunigungen und Bevorrechtigungen für Straßenbahnfahrzeuge und Reduzierung des Individualverkehrs, haben ein hohes Umsetzungspotenzial. Hier könnte ein neuer Typus der bisher bekannten Straßenbahn, die „autonome Straßenbahn“, entstehen.

Auch für unabhängige Bahnen könnte die autonome Betriebsabwicklung interessant sein. Sie könnte z. B. mittelfristig als Rückfallebene für automatisierte Systeme (siehe Ansätze bei chinesischen Metros) oder langfristig generell für neue unabhängige Bahnen (z. B. People-Mover-Systeme an Flughäfen) genutzt werden.

Rangierbetrieb ohne Fahrzeugführer im Betriebshof oder autonome Wendefahrten am Linienende könnten der erste Schritt hin zum autonomen Fahrbetrieb in Bestandssystemen auf straßenbündigem Bahnkörper in städtischen Ballungsräumen sein. Dafür müsste die in SIL 3 oder SIL 4 ausgeführte Umfeldsensorik sehr viel kostengünstiger zu realisieren sein, da die Nutzen-Kosten-Relation sonst sehr ungünstig wäre. Dies zeigen auch erste Erfahrungen aus dem Busbereich.

Da die Weiterentwicklung der Technologie für autonome Straßenbahnen jedoch als wichtig und richtig erachtet wird, sollten die folgenden Punkte unbedingt beachtet bzw. umgesetzt werden, da nur dann eine schnelle, effektive und kostengünstige Weiterentwicklung der autonomen Schienenfahrzeugtechnik möglich ist:

- Vernetzung der einzelnen Pilotprojekte, um sehr viele verschiedene Betriebsdaten erheben und auswerten zu können. Ein gemeinsames Vorgehen von Industrie, Betreibern, Wissenschaft und Behörden ist anzustreben.
- Schaffung eines regulatorischen Handlungsrahmens, um autonome Straßenbahnsysteme nicht nur projektieren, sondern auch in Betrieb nehmen zu können. Hierzu könnten die aktuell im Straßenverkehr angestoßenen Änderungen des Wiener Abkommens genutzt werden.
- Verfügbarkeit einer kostengünstigen Umfeldsensorik, die SIL 3 oder SIL 4 erfüllt; wenn möglich, aus Großserien des Automotive-Bereiches.
- Vernetzung der Fahrzeuge untereinander und zur umliegenden Straßeninfrastruktur, vergleichbar mit den Aktivitäten im Kfz-Bereich (V2X-Kommunikation).
- Beachtung der besonderen Anforderungen des Straßenbahnbetriebes und Fokussierung auf betrieblich/kommerziell sinnvolle Einsatzfelder, da nicht jedes Straßenbahnsystem sinnvoll vollkommen autonom betrieben werden kann. Unter Umständen könnte z. B. durch entsprechende Projektierung von Neubauprojekten (d. h. mit unabhängigem oder besonderem

Bahnkörper) eine Vereinfachung für einen kommenden autonomen Fahrbetrieb erreicht werden.

- Begleitung der Weiterentwicklung autonomer Straßenbahnen durch eine enge Kooperation der Industrie, der Betreiber, der Wissenschaft und der Behörden, die der VDV koordinieren würde. Diese Vorgehensweise dient auch dazu, diese sehr spezifische Thematik abgestimmt zu kommunizieren.
- Die Mitarbeiter, insbesondere die des Fahrdienstes, müssen eingebunden und einbezogen werden; Digitalisierung darf nicht zum Selbstzweck werden.

Fazit

Der VDV sieht die neuen technischen Möglichkeiten für die Branche als überaus interessant an und möchte die Entwicklung von autonomen Straßenbahnen begleiten und mit den Partnern aus Industrie, Wissenschaft und Behörden aktiv vorantreiben.

Konkret sind hierzu bereits weitere Schritte vereinbart; es geht dabei um die Definition, Entwicklung und Erprobung betrieblich sinnvoller Einsatzfälle wie teilautonomer Rangierfahrten in Betriebshöfen.