



Abb. 1: In Berlin fährt regelmäßig ein autonomes Shuttle mit Fahrgästen und Begleitperson von einer U-Bahnstation zum Tegeler See.

# Automatisiertes Fahren im ÖPNV

Ein Überblick über die Erprobung bei Schnellbahn, Straßenbahn, Bus und Shuttle

Frank Muth, M.A., Hamburg

**N**och vor wenigen Jahren war die Automatisierung des ÖPNV eher ein Randthema und betraf vor allem die Metros. Doch inzwischen gibt es zahlreiche Projekte für die Erprobung von ferngesteuertem, assistiertem, automatisiertem oder gar autonomem Fahren auch bei den Verkehrsmitteln des Oberflächenverkehrs. Dabei zeichnen sich noch erhebliche Herausforderungen ab, denn anders als bei Metros und Eisenbahnen ist der ÖPNV an der Oberfläche in das Straßenumfeld eingebettet und gestaltet sich die Übertragung der heutigen menschlichen Anpassung vom Fahrer auf künstliche Intelligenz sehr komplex.

Viele Versuche finden auch in dem neuen Bereich eines „individualisierten ÖPNV“ statt. Die Hoffnung: Autonom verkeh-

rende Kleinbusse („Shuttles“) könnten irgendwann auch jene dünn besiedelten Stadtteile und vor allem die ländlichen Regionen attraktiv erschließen, in denen die Verkehrsströme bisher nicht die für den klassischen ÖPNV notwendige Bündelung erlauben.

## Automatisierung von Schnellbahnen

Metrosysteme sind durch ihre weitgehend abgeschirmten Fahrwege und Betriebsanlagen recht einfach zu automatisieren. Dafür braucht „nur“ das Fahren auf Signal automatisiert zu werden und es sind Vorkehrungen für die Absicherung der Bahnsteigbereiche gegen das Eindringen von Gegenständen oder Personen zu treffen.

Schon die ersten Versuche mit automatisiertem Fahren bei den deutschen U-Bahnen sollten zwei Aufgaben erfüllen, die heute auch weiterhin wesentliche Treiber der Entwicklung bleiben. Bei den Hamburger Versuchen Anfang der 1960er Jahre stand der Wunsch nach deutlich mehr Kapazität im Mittelpunkt. Zehn Jahre später, als die Einführung in greifbare Nähe gerückt war, hatte der ÖPNV gegenüber dem Auto deutlich an Bedeutung verloren. Nunmehr stand der Wunsch nach Attraktivitätssteigerung stärker im Fokus, um die Abwanderung der Fahrgäste zum Auto zumindest zu verlangsamen: Mit kurzen Taktabständen sollten die Warte- und Umsteigezeiten reduziert und somit die Reisegeschwindigkeit gegenüber dem Auto wesentlich gesteigert werden.



## Zum Autor

**Frank Muth, M.A.**, ist seit vielen Jahren als freier Journalist und Sachbuchautor tätig. Er hat an der Universität Mannheim Politikwissenschaft, Medienwissenschaft und Anglistik studiert.

Beide Faktoren sind inzwischen sogar noch wichtiger geworden. Der starke Zuzug in die Metropolen und die gestiegene Mobilität haben dem ÖPNV einen starken Fahrgastzuwachs beschert, der auf vielen Linien inzwischen an Grenzen stößt. Nun kommt noch der Klimawandel hinzu, den eine „Verkehrswende“ aufhalten soll. Dazu müssen die Kapazitäten viel stärker ausgebaut und vor allem auch das Angebot tagsüber und in den Randzeiten auf das Niveau der Hauptverkehrszeiten angehoben werden.

Ein dritter Aspekt ist damit zwangsläufig die Personalverfügbarkeit, dabei suchen schon heute die meisten Verkehrsbetriebe nach Personal. Gerade in Berlin führen Stadtpolitiker neuerdings den Personal-mangel auch als wesentliches Argument für eine schnelle Automatisierung an [1]. Und schließlich kommt als Megatrend auch noch die Digitalisierung aller Lebensbereiche als Treiber für die Automatisierung des ÖPNV hinzu.

### Die Situation bei klassischen Metrosystemen in Deutschland und Österreich

1981 wurde erstmals weltweit im japanischen Kobe bei der Port Island Line ein vollautomatischer Betrieb realisiert. 1983

folgte die VAL-Metro in Lille als erste vollautomatische U-Bahn in Europa. Der fahrerlose Betrieb war ein wichtiger Bestandteil des französischen Vorhabens, Metrosysteme auch in mittelgroßen Städten realisieren zu können.

Ende 2018 gab es weltweit in 42 Städten (davon 16 in Europa) vollständig automatisch betriebene städtische Schnellbahnlagen mit einer Gesamtlänge von über 1000 Streckenkilometern. Dazu zählen seit 2010 auch die Linien U2 und U3 der U-Bahn Nürnberg (Abb. 2). Ende August beschäftigten sich auch die anderen vier klassischen Metro-Betriebe im deutschsprachigen Raum intensiv mit Fragen einer (Teil-) Automatisierung:

Berlin plant im Zuge der Erneuerung von Stellwerken für die Linien U5 und U8 einen automatischen Betrieb zunächst mit Fahrer um auf diesen Linien die Kapazitäten erhöhen zu können. Hamburg plant eine fünfte neue U-Bahnlinie, die für vollständig fahrerlosen Betrieb geplant und mit Bahnsteigtüren gebaut werden wird [2]. München fährt seit fast 50 Jahren zwischen den Stationen im Normalbetrieb teilautomatisch mit LZB und Fahrer an Bord, der auch für die Abfertigung zuständig ist. Im Zuge der Erneuerung der Leit- und Steu-

erungstechnik soll das System auf CBTC umgestellt werden, um fahrplanmäßig einen 120-Sekunden-Takt fahren zu können. Eine Nachrüstung von Bahnsteigtüren soll zunächst an der Station Olympiastadion erprobt werden. Die neue U9 soll für vollautomatischen Betrieb gebaut werden [3]. Wien fährt auf den klassischen Linien bereits automatisch aber mit Fahrer. Eine neu geplante Linie U5 soll für fahrerlosen Betrieb eingerichtet werden. Die Linie U5 wird einen Teilabschnitt der U2 übernehmen, der mit Bahnsteigtüren nachgerüstet werden soll [4].

### Projekt „Digitale S-Bahn Hamburg“

Auch die S-Bahn Hamburg bereitet die Vollautomatisierung vor: Bis zum ITS-Kongress im Oktober 2021 sollen vier S-Bahnzüge auf der 23 km langen Strecke der S21 zwischen Berliner Tor und Bergedorf „hochautomatisiert“ fahren. Dabei bleibt der Fahrer an Bord, wird aber in Bergedorf jeweils den Zug verlassen, bevor dieser vollautomatisch in die Wendeanlage und wieder zurück an seine Halteposition an den Bahnsteig fährt, wo dann Fahrer und Fahrgäste einsteigen werden.

Der hochautomatische Betrieb soll auf Basis von ETCS Level 2 mit dem künftigen europäischen Standard ATO erfolgen. Erste Komponenten für diesen Testbetrieb sind im elektronischen Stellwerk Bergedorf bereits verbaut und bis Jahresende soll feststehen, welche Komponenten in den Fahrzeugen verbaut werden sollen (Abb. 3).

Bei der S-Bahn Hamburg werden im derzeit geplanten Ausbauzustand ab etwa 2027 zumindest in den Hauptzeiten acht Linien die beiden Stammstrecken im Innenstadtbereich befahren müssen, bei denen sehr enge Abhängigkeiten an den Knotenpunkten Hauptbahnhof, Altona und Diebsteich bestehen. Auch wird die Hamburger S-Bahn dann drei eingleisige Abschnitte aufweisen und auf mehreren Abschnitten im Mischbetrieb mit dem Regional- und Güterverkehr verkehren. Zusätzlich soll der am stärksten belastete Ast nach Hamburg mit einer dritten Linie bedient werden. Daher soll der automatische Betrieb auch eine Steigerung der Kapazität und mehr betriebliche Flexibilität ermöglichen. Da das Stellwerk Harburg als nächstes zur Erneuerung ansteht, soll diese Strecke als zweite digitalisiert werden. Auch die neue S-Bahnstrecke S4 nach Ahrensburg wird bereits mit ETCS geplant. [5]



Abb. 2: Die Nürnberger U-Bahnlinien U2 und U3 verkehren als einzige in Deutschland vollautomatisch ohne Fahrer.

Foto: Frank Muth



Im Rahmen des Projekts „Digitale Schiene“ ist außerdem für die S-Bahn Stuttgart die Einrichtung des Zugbeeinflussungssystems ETCS geplant, das auf dem zentralen Netzabschnitt ein teilautomatisiertes Fahren (GoA 2) ermöglichen soll.

### Automatisierung von Straßenbahnen

Die Automatisierung von Stadt- und Straßenbahn ist erheblich anspruchsvoller, da sich diese Nahverkehrssysteme (überwiegend) nicht in einem abgeschlossenen Bereich befinden. Autonome Straßenbahnen müssen sich daher innerhalb des komplexen Umfeldes des allgemeinen Stadtverkehrs „intelligent“ verhalten: Sie müssen nicht nur auf die übrigen Verkehrsteilnehmer achten und deren Aktionen vorausberechnen, sondern auch die den Straßenverkehr regelnden Systeme wie die Straßenverkehrsordnung, Verkehrszeichen, und Signalanlagen beachten.

Dies wird bisher durch den Straßenbahnfahrer beim Fahren auf Sicht durch Intuition und Erfahrung beherrscht. Zwar haben teilautonome oder autonome Fahrzeuge den Vorteil, dass sie nicht ermüden, schneller reagieren können und ein breiteres Wahrnehmungsfeld besitzen, doch bleibt die Herausforderung, dass sich menschliche Intuition und Erfahrung nur begrenzt normieren und damit auch nur entsprechend schwierig programmieren lassen. Außerdem ist nicht jede Verkehrssituation vorhersehbar. Eine digitale Fahrzeugsteuerung muss daher schrittweise so programmiert werden, dass sie bei neuen Situationen immer flexibler reagiert und die Software muss in Millisekunden eine Entscheidung treffen oder gegebenenfalls Unterstützung anfordern können. Ferner ist die Infrastruktur im städtischen Raum historisch gewachsen und kaum veränderbar. Daher muss eine Anpassung für autonomes Fahren vor allem vom Fahrzeug geleistet werden.

#### Potential möglicher Zwischenschritte

Bei den Straßenbahnen sind eine Erhöhung der Kapazitäten und eine Verdichtung der Takte zwar ein Fernziel der Automatisierung. Auch könnten autonome Straßenbahnen wirtschaftlich in Randgebieten oder zu Nachtzeiten betrieben werden, wenn dort nur eine geringe Nachfrage besteht, die einen konventionellen Betrieb nie rechtfertigen würden. In absehbarer Zeit eher umsetzbar erscheint dagegen autonomes

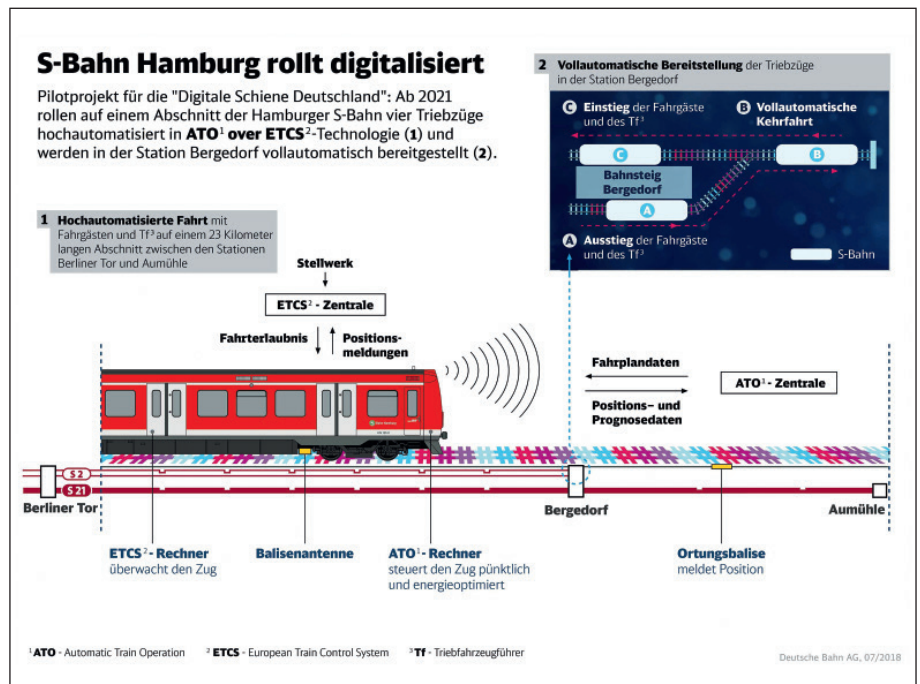


Abb. 3: Schematische Darstellung des technischen Aufbaus für den hochautomatisierten Betrieb auf der Hamburger S-Bahnlinie S21.

Fahren auf eintönigen Überlandabschnitten mit eigenem Bahnkörper, so dass der Fahrer in dieser Zeit eine Pause hätte. Im normalen Betrieb könnten mit der übrigen Verkehrsinfrastruktur vernetzte Assistenzsysteme etwa die Fahrgeschwindigkeit so an die Ampelanlagen anpassen, dass die Züge nicht mehr so häufig abbremsen und beschleunigen müssten. Die Sensoren der autonomen Fahrzeuge könnten zusätzlich auch für Messung von Umwelt- und Verkehrsdaten genutzt werden.

Ebenso zeichnen sich bei kostspieligen weil personalintensiven Rangier- und Betriebsfahrten interessante Perspektiven ab: Man denke nur daran, dass die Anpassung der Zuglängen in den 1980er Jahren auch deshalb entfiel, weil das Kürzen oder Verstärken der Züge zu aufwendig war. Die Automatisierung könnte also neue Fahrzeugkonzepte hervorbringen, zumal auch die Fahrerkabine entfallen und ganz neue Geschäftsmodelle denkbar würden.

Im Betriebshof könnten vollautomatische Fahrzeuge selbsttätig zunächst die Werkstatt für die Durchsicht und Nachfüllung der Betriebsstoffe anfahren und anschließend ihre Abstellplätze ansteuern und am nächsten Betriebstag rechtzeitig zur Übernahme durch einen Fahrer am Betriebshof vorfahren. Rangieraufgaben würden so entfallen; auch könnten die Auf- und Abbrüstzeiten deutlich reduziert werden.

Langfristig könnten Betriebshöfe anders gestaltet werden, wenn sich im Bereich der Betriebsgleise keine Menschen mehr bewegen müssten. Und ist ein Aufbau nach dem Durchlaufprinzip weiterhin mit zwei kostspieligen Weichenstraßen noch notwendig, wenn ein „Rückwärts-Einparken“ autonom durchgeführt würde?

#### Technische Ausrüstung

Zur Bewältigung dieser Aufgaben arbeiten in der in Potsdam erprobten autonom fahrenden Versuchsstraßenbahn drei Detektions-Systeme zusammen. Die Umgebung vorn und an den Seiten der Straßenbahn wird von verschiedenen Kameras erfasst. Die Auswertung erfolgte durch eine Software, die mit künstlicher Intelligenz „trainiert“ wurde, um Objekte oder Menschen in der Position zum Gleis und gegebenenfalls als Hindernis im Gleisbereich zu erkennen. Registrieren die Kameras ein „Halt“ zeigendes Signal, sorgt der Algorithmus dafür, dass das Fahrzeug zum Halten kommt oder beim Signalbild „Fahrt“ selbstständig losfährt.

Außerdem tasten drei Radar-Detektoren die Objekte in der Umgebung ab; sie berechnen die Geschwindigkeit und Entfernung dieser Objekte. Außerdem erfassen drei Lidar-Scanner als „digitale Augen“ das Umfeld um den Kopf der Straßenbahn mit einem Winkel von 270° und scannen es horizontal

Foto: Siemens

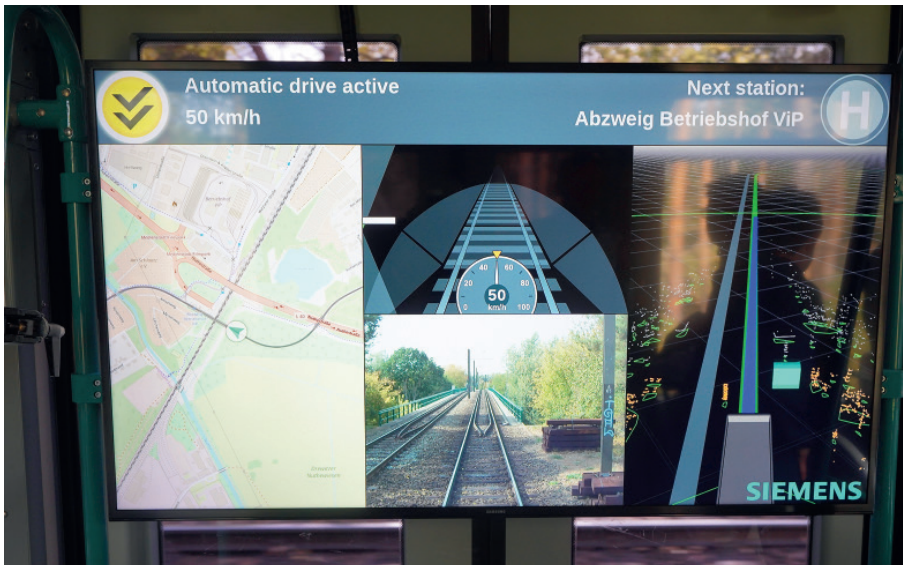


Abb. 4: Anzeige der Kamerabilder und virtuellen Erfassung im Innern des Testfahrzeugs beim Überfahren der Bahnbrücke unmittelbar vor der Abzweigung zum Betriebshof.

und vertikal. Werden zum Beispiel Personen erfasst, messen sie deren Geschwindigkeiten und errechnen ein stilisiertes dreidimensionales Abbild davon in der erfassten Umgebung. Die ermittelten Daten werden miteinander kombiniert und durch komplexe Algorithmen auf Hochleistungsrechnern ausgewertet. Die Algorithmen bewerten die Verkehrssituation, prognostizieren deren Weiterentwicklung und treffen auf dieser Basis Entscheidung über die Weiterfahrt, die an Klingel, Antrieb, Steuerelektronik und Bremssystem weitergeleitet werden. Dafür ist erforderlich, dass das Fahrzeug jede Route zuvor „erlernt“ (Abb. 4).

## Erste Stufe: Assistenzsysteme bei Straßenbahnen

Im Bereich Straßenbahn hatten etwa die VGF Frankfurt im Juli 2015 ein Fahrerassis-

tenzsystem zur Kollisionswarnung vorgestellt, das selbsttätig bei einer erkannten Gefahr eine Bremsung einleitet. Mittlerweile ist die ganze Tram-Flotte der VGF von 112 Fahrzeugen damit ausgestattet. Die 74 „S“-Wagen des Herstellers Bombardier haben ein eigenes Assistenzsystem, die älteren Wagen der Baureihe R des Herstellers Siemens nutzen ein Bosch-System. Ebenfalls von Bosch werden die bestellten 45 Neufahrzeuge der Bauart T von Alstom ab ihrer in 2020 beginnenden Auslieferung mit einem Assistenzsystem von Bosch ausgestattet. Bosch hatte sein Assistenzsystem unter Ausnutzung seiner Kompetenzen aus der automatisierten Großserienfertigung entwickelt. Neben beweglichen Hindernissen erkennt das Radarsystem auch feststehende Objekte, zum Beispiel Prellböcke.

Siemens hat außerdem zwölf Avenio-

M-Straßenbahnen der Stadtwerke Ulm mit seinem Assistenzsystem Tram Assistant ausgerüstet, zehn ältere Combinos sollen nachgerüstet werden wie auch 60 Avenio-Fahrzeuge in Den Haag. Auch die neuen Avenios für Den Haag, Bremen und Kopenhagen werden vom Siemens Tram Assistant profitieren. Als erste Erweiterung der Basisfunktionen wird nun die Reaktion auf Passanten getestet und evaluiert.

## Zweite Stufe: Versuchsfahrzeuge auf der Strecke

In drei Städten sind bereits Versuchsfahrzeuge am Start. Thales und die Karlsruher AVG hatten im September 2018 eine Kooperation bei der Entwicklung der autonomen Straßenbahn unterzeichnet. Die AVG will mit autonomen und ohne Fahrleitung verkehrenden Zügen neue Einsatzbereiche erschließen, dort wo auf dem Land ein wirtschaftlicher Betrieb von Schienenverkehrsmitteln heute noch nicht möglich ist. Das liegt nahe, denn die Karlsruher Tram-Trains fahren schon heute aus dem Karlsruher Straßennetz weit in die gesamte Region hinaus. Die erste Phase des Projekts konnte mit vollautomatischen Fahrten in den Automations-Leveln GoA 3 und GoA 4 innerhalb eines Betriebshofes erfolgreich abgeschlossen werden. Derzeit wartet man auf die Finanzierung der Stufe 2, die Fahrten im Streckennetz vorsieht [6].

Weltweites Aufsehen erregten 2018 die Testfahrten von Siemens mit einem Combino in Potsdam. Siemens will das autonome Fahren in der Betriebspraxis mit einem Erprobungsträger weiter entwickeln. Die Versuchsfahrten begannen im Mai 2018, begleitet von einem Sicherheitsfahrer, der nur bei Gefahr eingreift. Die Erkennungsprozesse bei der Auswertung der Daten aus Kameras und Detektoren in Echtzeit zeigt ein großer Monitor im Testfahrzeug (Abb. 4).

Die Teststrecke wurde bereits von 6 auf 13 km ausgeweitet und reicht nun vom ViP-Depot bis zur Endhaltestelle Marie-Juchacz-Straße. Auf einem 800 m langen eingedeckten und eingezäunten Streckenstück fahren auch Busse. Auf allen Teststrecken hält das Fahrzeug punktgenau am Bahnsteig und reagiert zuverlässig auf Lichtsignale. Personen, die sich dem Gleis schnell nähern, werden durch die Klingel gewarnt. Die autonome Tram fährt ohne Ruckeln oder scharfes Bremsen vor Kurven. Die technische Möglichkeit des autonomen Betriebs auf der Basis heutiger Technologien gilt damit als nachgewiesen (Abb. 5).

Foto: Siemens



Abb. 5: Die Teststraßenbahn in Potsdam reagiert sicher auf querende Fußgänger.



Als nächstes soll die Sensorerkennung bei reduzierten Sichtverhältnissen validiert und nötige Maßnahmen sollen davon abgeleitet werden. Auch sollen weitere Strecken in die Erprobung einbezogen werden, um zum Beispiel das Fahren mit zwei Bahnen hintereinander zu erproben. Insbesondere soll aber bis 2020 die Umsetzung des autonomen Betriebs auf dem Betriebshof weiter verfolgt werden, um dafür eine kommerzielle Anwendung zu entwickeln. Die Zuführung von Fahrzeugen ins Netz würde dabei teils schon autonom im öffentlichen Raum erfolgen. Alle Erkenntnisse sollen zunächst in die Weiterentwicklung von Assistenzsystemen für Bahnen zurückfließen, die einen schnellen Nutzen für den Kunden bieten können.

Der nächste große Schritt wäre dann das vollautomatische Fahren auf Teilstrecken mit geringer Dichte und unter spezieller Absicherung. Da es noch keine Zulassungsverfahren für autonome Schienenfahrzeuge gibt, arbeiten der VDV und Siemens Mobility zusammen, um bereits in dieser frühen Phase die sicherheitstechnischen und juristischen Rahmenbedingungen für die neuen Technologie zu definieren. Die Messfahrten finden alle mit einem Fahrer an Bord statt. Die gesammelten Daten werden entsprechend dem Stand der Technik digital verschlüsselt und vor unbefugtem Zugriff geschützt. Personen auf Aufnahmen werden nicht identifiziert [7].

### Ferngesteuerte Straßenbahn als Zwischenstufe?

Im Juni 2019 präsentieren die HEAG, die HEAG mobilo, die TU Darmstadt (Fachgebiet Fahrzeugtechnik), die Deutsche Telekom AG und die Digitalstadt Darmstadt das Forschungsprojekt MAAS (Machbarkeitsstudie Automatisierung und Assistenzsysteme der Straßenbahnen) und die zugehörige Forschungs-Straßenbahn (Abb. 6). Damit sollen bis April 2021 die Potenziale zur Automatisierung bei Straßenbahnen erforscht werden: Wie kann die digitale Transformation der Straßenbahn zu Ressourceneffizienz, Verbesserungen im Betriebsablauf und einem besseren Angebot für die Kunden beitragen?

Primär soll das Projekt MAAS aber geeignete Teilsysteme identifizieren und bewerten, mit denen die konventionelle Straßenbahn im digitalen Zeitalter weiterentwickelt werden kann. Dafür sollen verschiedene Hardware-Lösungen auf Ihre Eignung geprüft und Algorithmen entwickelt werden, die den autonomen Fahrbetrieb steuern könnten. Das Testfahrzeug soll auch im manu-

ellen Linienbetrieb weiter Daten sammeln, um zu sehen, ob der neue Algorithmus Umgebungsdaten in richtige Steuerungsbefehle umsetzen würde.

Alleinstellungsmerkmal des Darmstädter Projekts ist die Frage, inwieweit Teleoperation einen automatisierten Betrieb ergänzen oder diesem vorgeschaltet werden könnte. Dabei geht es nicht nur wie beim autonomen Auto [8] um die Frage, wie künftig mit einer automatisierten Straßenbahnverfahren werden soll, die aus Sicherheitsgründen stehenbleibt: Dann müsste ein Mitarbeiter der Leitstelle die Situation prüfen und das Fahrzeug gegebenenfalls ferngesteuert weiterfahren. Vorstellbar ist auch, dass zunächst das Fahren über Land oder auf abgeschirmten Abschnitten teleoperiert stattfindet, während der reguläre Fahrer eine Pause macht.

Der Mobilfunkstandard 5G verspricht dabei eine Übertragung der großen Datenmengen in Millisekunden und eine genügende Leistungsfähigkeit. Zunächst basieren die ferngesteuerten Testfahrten jedoch auf dem LTE-Standard. Sie sollen im Betriebshof beginnen und dann auf die Außenstrecke erweitert werden. Im zweiten Schritt sollen die ersten teleoperierten Straßenbahnfahrten Deutschlands auf der Strecke nach Griesheim ohne Fahrgäste und immer mit einem Fahrer an Bord stattfinden. Dort hat die Telekom bereits entsprechende 5G-Antennen aufgebaut [9].

### Autonomes Fahren bei Bus und Kleinbus

Hochautomatisierte Kleinbusse (Shuttle) werden in mehreren Dutzend Testfeldern in Europa, Asien, Australien und Amerika ein-

gesetzt. Europäische Beispiele sind Sion und Bern (Schweiz), Wien (Österreich), auf dem Gelände des Kernkraftwerks von EDF in Civaux (Frankreich), Helsinki, Espoo und Tampere (Finnland) sowie Singapur. Dabei wird Shuttles offensichtlich ein großes Potential zugetraut, denn mittlerweile existieren mehrere Kooperationen zur Entwicklung und Produktion solcher Fahrzeuge [10]. Im Unterschied zu Fahrzeugen mit mechanischer Spurführung müssen Shuttles und Busse zusätzlich auch eine virtuelle Spurführung erhalten und dafür ihre Strecke zentimetergenau „lernen“. In Deutschland sind auf den Pionier im bayerischen Bad Birnbach inzwischen weitere Probeeinsätze gefolgt. Einige seien im Folgenden kurz vorgestellt.

### See-Meile (Berlin)

Seit 16. August 2019 fährt erstmals ein hochautomatisierter Kleinbus im öffentlichen Straßenland einer deutschen Großstadt zwischen dem U-Bahnhof Alt Tegel und den Seeterrassen am Tegeler See (immer mit einem Begleiter der BVG). Das Forschungsprojekt „See-Meile“ gehört zum Digitalen Testfeld Stadtverkehr“. Auf dem etwa 1,2 km langen Rundkurs im Bezirk Reinickendorf hält der Bus zusätzlich in beiden Richtungen an einer Kreuzung. Die Betriebszeiten sind auf jeweils etwa sieben Stunden begrenzt und die Höchstgeschwindigkeit bei 15 km/h abgeregelt.

Während der Fahrt scannt der Kleinbus ständig seine Umgebung ab. Der Test soll zeigen, wie die sensiblen Sensoren auf Umwelt und Wetter reagieren, aber auch Aufschlüsse zur Akzeptanz von hochautomatisierten Shuttles im Nahverkehr durch die Nutzer bringen. Das Shuttle befördert sechs sitzende Personen und ist mit einer Rampe auch barriere-



Abb. 6: Das Testfahrzeug in Darmstadt ist auch äußerlich eindeutig zu erkennen.

Foto: HEAG



Foto: Christian Hinkelmann



Abb. 7: Testbetrieb für HEAT in der Hamburger HafenCity.

frei; für Rollstuhlfahrer muss ein Sicherheitsgurt nachgerüstet werden. [11]

## HEAT (Hamburg Electric Autonomous Transportation)

Der von IAV entwickelte, elektrisch angetriebene Kleinbus ist 5 m lang, 3 t schwer und hat Platz für bis zu zehn Fahrgäste. Er wird unter realen Bedingungen im öffentlichen Straßenraum getestet und soll mit bis zu 50 km/h autonom fahren können. Die Teststrecke in der zentralen Hamburger HafenCity wird insgesamt 1,8 km lang sein, musste aber aufgrund von Großbauprojekten in der HafenCity zunächst verkürzt werden. Auf der Gesamtstrecke steuert der Kleinbus drei reguläre HVV-Haltestellen und zwei für HEAT neu eingerichtete Haltestellen an (Abb. 7, 8).

Foto: Christian Hinkelmann



Abb. 8: Im Testbetrieb musste das Fahrzeug auch das Abbiegen mit Fußgängerüberweg bewältigen.

Der Testbetrieb ist hinsichtlich der Strecke bewusst so angelegt, um auf den einzelnen Stufen Erfahrungen zu sammeln und darauf aufbauend die Strecke verlängern, den Automatisierungsgrad erhöhen und die Geschwindigkeit steigern zu können. Die erste Testphase wurde im September 2019 abgeschlossen. Dafür war der autonome Kleinbus auf einer festgelegten Strecke ohne Fahrgäste und mit Fahrzeugbegleiter im Testbetrieb unterwegs. Im Fokus stand die Genauigkeit der Lokalisierung des Fahrzeuges, seine Reaktion auf Hindernisse sowie das Verhalten der Infrastruktur im Dauerbetrieb. Als herausfordernd erwiesen sich Radfahrer, andere Pkw und die Zweite-Reihe-Parker; so konnten unter Realbedingungen viele Anwendungsfälle erfasst werden. Als vorteilhaft erwies sich die straßenseitige Infrastruktur, da sie für das Fahrzeug eine Sichtfelderweiterung bedeutet.

Foto: Bad Birnbach/Eva Stranzinger



Abb. 9: Noch in 2019 soll der Fahrgastbetrieb des autonomen Shuttles in Bad Birnbach bis zum Bahnhof verlängert werden.

In den kommenden Monaten erfolgt eine umfassende Auswertung der aufgezeichneten Daten, um Sensoren, Infrastruktur und Software bis zur zweiten Testphase im Frühjahr 2020 weiter aufrüsten zu können. Ebenfalls wird die straßenseitige Infrastruktur des geplanten erweiterten Streckenabschnitts ausgebaut. Ab Mitte 2020 sollen dann auch erstmals Fahrgäste mitgenommen werden (mit Fahrzeugbegleiter). Bis zum ITS-Weltkongress im Oktober 2021 wird eine Zulassung für das automatisierte Fahren ohne Fahrzeugbegleiter gemäß SAE Level 4 angestrebt [12].

## Fortschritte in Bad Birnbach

Deutschlands allererster autonomer Shuttle in Bad Birnbach ist seit Oktober 2017 im



Fahrgastbetrieb (mit Begleiter) und befuhr zunächst eine etwa 700 m lange Strecke. Nunmehr ist die zweite Fahrzeuggeneration eingetroffen. Sie soll ähnlich wie die Verlängerung bis zum etwa 1,5 km vom Ortskern entfernten Bahnhof noch im vierten Quartal 2019 in Betrieb kommen. Dann wird auch erstmals tatsächlich eine unmittelbare Verknüpfung mit jedem abfahrenden und ankommenden Zug hergestellt („Letzte Meile“). Die Versuchsgeschwindigkeit von 15 km/h wird zunächst beibehalten (Abb. 9) [13].

**NAF-Bus  
(„Nachfragegesteuerter-Autonom-Fahrender Bus“ Nordfriesland)**

Das Projekt will mit autonomen Shuttles vor allem eine bessere Anbindung abgelegener Orte in Schleswig-Holstein erreichen, die derzeit mit dem ÖPNV nur sehr zeit- aufwändig erreichbar sind. Das Projekt soll neue Erkenntnisse zu Nutzererfahrung und -verhalten in autonomen Fahrzeugen gewinnen. Außerdem sollen neue Ansätze für die individuelle und gesellschaftliche Akzeptanz des neuen Verkehrsmodells sowie Risiko-Nutzen-Abwägungen gefunden werden.

In der ersten Umsetzungsstufe wird ein autonomes Fahrzeug auf dem Green-Tec-Campus in Enge-Sande getestet und eingesetzt. Seit 4. Mai 2019 verkehrt ein zweites Fahrzeug auf der Nordseeinsel Sylt auf einer Rundstrecke von insgesamt 2,7 km Länge im Kapitänsdorf Keitum. Der Betrieb ist zunächst bis zum 30. Juni 2020 geplant; eine Verlängerung ist angedacht. Seit April wurden mehr als 9000 Fahrgäste befördert und mehr als 3000 km zurückgelegt. Zur weiteren Akzeptanzanalyse sollen Nutzer und Einwohner befragt werden (Abb. 10).

Die dritte Stufe soll ab Herbst 2019 mit einem dritten Shuttle auf dem Festland im Kreis Dithmarschen in Lunden/Lehe umgesetzt werden. Die Teststrecke ist ebenfalls zunächst fest definiert und soll den Einwohnern der Orte Lunden und Lehe die Möglichkeit geben, sich zum Beispiel zum Bahnhof befördern zu lassen [14].

**TaBuLa Lauenburg**

In Lauenburg/Elbe im Südosten Schleswig-Holsteins wird ein Testzentrum für automatisiert fahrende Busse aufgebaut. Lauenburg steht exemplarisch für die Kategorie der Kleinstädte in ländlich geprägten Räumen, sodass übertragbare und verall-

gemeinerbare Ansätze für Verkehrssysteme der Zukunft generiert werden können.

In der historischen Altstadt finden sich unregelmäßiges Pflaster, enge Straßen mit viel Verkehr und steile Fahrwege. Dort wird eine Verkehrslösung für die Anwohner und Besucher der Stadt benötigt, die mit diesen lokalen Gegebenheiten zu-rechtkommt. Nach den Probefahrten ohne Fahrgäste sollen noch in diesem Jahr die Fahrten mit Fahrgästen und Begleiter starten und in der ersten Jahreshälfte 2020 dann auch ohne Begleiter stattfinden (Abb. 11) [15].

**Hambach-Shuttle**

Das Hambacher Schloss als Besuchermagnet zählt jährlich um die 350.000 Besu-

cher, die großenteils per Auto anreisen und dabei auch durch die engen Gassen des Dorfes Hambach fahren. Ab 2020 sollen Besucher mit bis zu vier autonomen Shuttles hinauf zum Schloss fahren können. Fernziel ist die Ausdehnung des autonomen Betriebs auf den ÖPNV im gesamten Gebiet vom benachbarten Neustadt an der Weinstraße. Eine attraktive Bedienungs-qualität sei mit Fahrern nicht wirtschaftlich darstellbar, brauche also zwingend die Automatisierung [16].

**Projekt Future Bus**

Auch die Hersteller normalgroßer Busse arbeiten an der Frage des autonomen Fahrens. Dabei zeichnet sich ab, dass eine Vollautomatisierung derzeit am leichtesten auf abgegrenzten Streckenführungen bei

Abb. 10: Auf Deutschlands nördlichster Insel ist der NAF-Bus autonom in Keitum unterwegs.



Foto: EurA AG



Foto: VHH

Abb. 11: Im Herbst 2019 soll auch in Lauenburg der Probetrieb mit Fahrgästen beginnen.

Foto: Daimler-Benz



Abb. 12: Am Future Bus erprobt Daimler-Benz Assistenzsysteme und das autonome Fahren auf eigenen Busstrecken.

BRT-Systemen einzuführen wäre, die zusätzlich den Vorteil hätte, dass damit auch das System Bus aufgewertet würde.

Daimler-Benz hatte schon 2016 den teilautonomisierten Future Bus als Technologieträger und Vision für den Stadtverkehr der Zukunft vorgestellt (Abb. 12). Basierend auf Entwicklungen aus dem Lkw-Bereich wurde speziell für Stadtbusse das System CityPilot weiterentwickelt, das mit der ortsfesten Infrastruktur kommuniziert und mit Kameras vernetzt ist, die die Fahrbahn scannen [17].

Stufenweise will Daimler-Benz weitere Assistenzsysteme in den Fahrzeugen einführen und damit den Fahrer sukzessive in kritischen Situationen unterstützen und von Routinetätigkeiten entlasten. Dafür müssen die notwendigen gesetzlichen und rechtlichen Rahmenbedingungen geschaffen werden.

## Autonome Busse im Stadtverkehr

15 Partner aus Automobilwirtschaft – darunter MAN Truck & Bus –, Zulieferindustrie, Software-Entwicklung, Wissenschaft und Forschungsinstituten haben sich Anfang 2019 in den beiden Initiativen @City sowie @City-AF zusammengeschlossen. Unterstützt durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), das die Projekte mit rund 20 Mio Euro fördert, erforschen die Projektpartner gemeinsam automatisierte Fahrfunktionen für die Stadt.

Dafür wird MAN einen Stadtbus mit Sensorik und Aktorik als Versuchsträger aufbauen, der unter anderem einen digitalen Assistenten erhalten soll, mit dessen Hilfe das automatisierte Anfahren einer Bushaltestelle ermöglicht wird. Weiterhin will MAN Truck & Bus den Interaktionsbedarf mit den Passagieren ermitteln und dar-

auf aufbauend eine interne und externe Mensch-Maschine-Schnittstelle prototypisch umsetzen. Ziel des Forschungsprojektes ist unter anderem die Schaffung eines gemeinsamen Verständnisses für automatisiertes Fahren in der Stadt. Damit gilt das Projekt @City auch als Wegbereiter für gemeinsame, industrielle defacto-Standards [18].

## Literatur/Anmerkungen

- [1] Abgeordnetenhaus zu Berlin: Drucksache 18/20378
- [2] <https://www.schneller-durch-hamburg.de/>
- [3] <https://www.mvg.de/ueber/presse-print/pressemeldungen/2019/august/2019-08-02-cbt-bahnsteigturen.html>
- [4] <https://uzu5.wien.gv.at/site/de-neue-u5/>
- [5] [https://www.deutschebahn.com/de/presse/pressestart\\_zentrales\\_uebersicht/Deutsche-Bahn-und-Siemens-entwickeln-digitalisierten-Betrieb-bei-der-S-Bahn-Hamburg--3183666](https://www.deutschebahn.com/de/presse/pressestart_zentrales_uebersicht/Deutsche-Bahn-und-Siemens-entwickeln-digitalisierten-Betrieb-bei-der-S-Bahn-Hamburg--3183666)
- [6] <https://www.thalesgroup.com/de/deutschland/press-release/autonomes-fahren-mit-stadtbahnen>
- [7] <https://new.siemens.com/global/de/produkte/mobilitaet/schienerverkehr/fahrzeuge/strassenbahnen/autonome-strassenbahn.html>
- [8] <https://www.autonomes-fahren.de/kommerzielle-fernsteuerung-in-texas/>
- [9] [https://www.fzd.tu-darmstadt.de/forschung/uni\\_car/maas/inhalt\\_mit\\_marginalienspalte\\_312.de.jsp](https://www.fzd.tu-darmstadt.de/forschung/uni_car/maas/inhalt_mit_marginalienspalte_312.de.jsp)
- [10] <https://www.autonomes-fahren.de/sony-yamaha-fuer-autonomes-fahren/>
- [11] <https://www.see-meile.com/>
- [12] [https://www.hochbahn.de/hochbahn/hamburg/de/Home/Naechster\\_Halt/Ausbau\\_und\\_Projekte/projekt\\_heat](https://www.hochbahn.de/hochbahn/hamburg/de/Home/Naechster_Halt/Ausbau_und_Projekte/projekt_heat)
- [13] <https://www.badbirnbach.de/presse/erster-autonomer-bus-in-deutschland>
- [14] <https://www.naf-bus.de/>
- [15] <https://www2.tuhh.de/tabula/>
- [16] <https://www.ru.uni-kl.de/stadtplanung/forschung/das-hambach-shuttle/>
- [17] <https://www.daimler.com/innovation/autonomes-fahren/future-bus.html>, vgl. DER NAHVERKEHR 9/2016 und DER NAHVERKEHR 4/2017
- [18] <https://www.atcity-online.de/download.php?file=2a-9b7a317366d376e0f7fd96bc65678>

## Zusammenfassung/Summary

### Automatisiertes Fahren im ÖPNV

In Deutschland sind bei Shuttles, Bussen, Straßenbahnen und Metros im Sommer 2019 eine Vielzahl von Projekten für automatisiertes und autonomes Fahren in der Durchführung oder stehen kurz davor. Der Beitrag gibt einen Überblick über die Bandbreite. Bei den Projekten werden die Herausforderungen für jeden Verkehrsträger deutlich und die Weiterentwicklung im realen Einsatz ermöglicht. Außerdem entstehen erste Ideen, mit welchen Zwischenschritten auf dem Weg zum vollautomatischen Fahren bereits in naher Zukunft der Betrieb weiter verbessert werden könnte.

### Automated driving within the public transport

Several projects for automated and autonomous driving of shuttles, buses, rail cars and metros have been started in summer 2019 or will soon be started in Germany. This article gives an overview on the range of possibilities. The projects show the challenges, each authority is facing and the chance of deployment under real conditions. Furthermore, first ideas will arise to further improve the operation of fully automatic driving in the near future.