

# 09.22

Lizenziert für Rhein-Main-Verkehrsverbund Servicegesellschaft mbH.  
Die Inhalte sind urheberrechtlich geschützt.

## V+T Verkehr und Technik

75. Jahrgang  
September 2022  
Seite 265 – 308

[www.VTdigital.de](http://www.VTdigital.de)

Organ für den Öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV)  
Verkehrstechnik · Verkehrswirtschaft · Verkehrspolitik



Taking Public Transport to the  
**next level**

|  |  |
|--|--|
|  | Besuchen<br>Sie uns:<br><b>Halle 2.1</b><br><b>Stand 440</b> |
|--|--|

Auf der InnoTrans präsentiert INIT ihre Innovationsoffensive „nextGen“. Damit werden unsere Lösungen künftig noch präzisere Informationen liefern, Situationen selbsttätig erkennen und webbasiert zur Verfügung stehen. Automatisierte Abläufe beschleunigen darüber hinaus Reaktionszeiten und tragen zur Sicherung der Servicequalität bei.

Sehen Sie die ersten Lösungen der nächsten Generation auf unserem Messestand:

- ▣ Betriebssteuerung
- ▣ Fahrgastinformation
- ▣ Bedarfsverkehr
- ▣ Personaldisposition
- ▣ Fahrzeughardware

**init**  
The Future of Mobility

[sales@initse.com](mailto:sales@initse.com) | [www.initse.com](http://www.initse.com) | INIT Group      

**ESV** ERICH  
SCHMIDT  
VERLAG

Photo: © iStock

22001

TORSTEN SCHMIDT | THORSTEN MÖGINGER | MARKUS MENZEL | MATTHIAS FISCHER  
ANNE KLINGNER | SOFIA PAVLAKIS

# Erster Betrieb von autonomen Fahrzeugen ohne Sicherheitsfahrer im RMV-Projekt „EASY“ (Teil I)\*

**Torsten Schmidt**  
und **Anne Klingner**,  
Straßengebundener  
ÖPNV, Fahrzeug-  
management Region  
Frankfurt RheinMain  
GmbH (fahma);  
**Thorsten Möglinger**,  
Teamleiter  
New Mobility, und  
**Sofia Pavlakis**,  
Junior Consultant  
Organisationsbera-  
tung & IT-Lösungen,  
Rhein-Main-  
Verkehrsverbund  
Servicegesellschaft  
mbH (rms);  
**Markus Menzel**,  
Fachbereichsleiter  
Betriebsplanung  
und Leistungserfas-  
sung, Betriebsleiter  
BOKraft, Stadtwerke  
Verkehrsgesellschaft  
Frankfurt am Main  
(VGF);  
**Matthias Fischer**,  
Geschäftsführer  
& Transportation  
Designer, neomind  
GmbH

## 1. Hintergrund

### 1.1 Autonomes Fahren in Deutschland

Das Gesetz zur Änderung des Straßenverkehrsgesetzes und des Pflichtversicherungsgesetzes – Gesetz zum autonomen Fahren vom 12. Juli 2021 – erlaubt in festgelegten Betriebsbereichen selbständig fahrende Kraftfahrzeuge mit autonomer Fahrfunktion (SAE-Level 4). Für unlösbare Situationen, welche beim gegenwärtigen Stand der Technik noch auftreten können, sieht das Gesetz im Hintergrund die Technische Aufsicht als juristische Person vor, welche das Fahrzeug deaktivieren und in bestimmten Fällen Fahrmanöver freigeben kann. Für die Aufgaben der Technischen Aufsicht müssen entsprechende entscheidungsrelevante Daten vom Fahrzeug zur Verfügung gestellt werden. Darüber hinaus kann die Technische Aufsicht das Fahrzeug an einer geeigneten Stelle in den sogenannten risikominimalen Zustand versetzen, sofern eine Weiterfahrt technisch nicht möglich ist. Über eine Verordnungsermächtigung ist das Bundesministerium für Digitales und Verkehr berechtigt, die weiteren Einzelheiten zu regeln. Die Verordnung zur Genehmigung und zum Betrieb von Kraftfahrzeugen mit autonomer Fahrfunktion in festgelegten Betriebsbereichen (Autonome-Fahrzeuge-Genehmigungs-und-Betriebs-Verordnung – AFGBV) vom 24.06.2022 wurde am 30.06.2022 im Bundesgesetzblatt veröffentlicht. Die Verordnung legt das Genehmigungsverfahren detailliert fest.



Bild 1: Zukünftiges Fahrzeugkonzept in der Variante „Small“  
(Bild: Matthias Fischer/neomind GmbH)

## 2. RMV-Projekt „EASY“

Seit dem Start des Projektes „EASY“ (Electric Autonomous Shuttle for You/Deutsch: Elektrisch autonom fahrendes Fahrzeug für Dich) wurden auf unterschiedlichen Testfeldern jeweils zwei Fahrzeuge der französischen Hersteller EasyMile und NAVYA eingesetzt. Während dieses betrieblichen Langzeiteinsatzes konnten verschiedene lokale Projektpartner erste Erfahrungen mit den unterschiedlichen Aspekten des Betriebs von autonomen Fahrzeugen im ÖPNV inmitten einer Großstadt, aber auch im ländlichen Raum sammeln. Zwischenzeitlich konnten auch mit den beiden Fahrzeugen von NAVYA und den Testfeldern auf dem privaten Gelände des Klosters Eberbach sowie im Straßenverkehr in Bad Soden Salmünster die Erfahrungen aus dem ersten Testfeld am Frankfurter Mainufer erfolgreich vertieft und ausgebaut werden. (vgl. Bild 2)

Dieser Fachartikel befasst sich mit dem zweiten Projekt der Fahrzeuge von EasyMile. Für das erste Testfeld am Frankfurter Mainufer wird auf den Fachartikel „Meilensteine im Projekt „EASY“ von der Idee bis hin zum ersten Testfeld“, erschienen in der V+T Verkehr und Technik, Heft 12/2020, S. 419–426, verwiesen.

## 3. Zweites Testfeld in Frankfurt – Betrieb ohne Operatoren

### 3.1 Projektidee

Während in Deutschland die gesetzlichen Rahmenbedingungen für autonomes Fahren diskutiert und das Gesetz zur Änderung des Straßenverkehrsgesetzes und des Pflichtversicherungsgesetzes – Gesetz zum autonomen Fahren – im Sommer 2021 beschlossen wurde, haben in Frankfurt, nach Ende des erfolgreichen EASY-Testfelds am Frankfurter Mainufer, die Projektpartner, bestehend aus Rhein-Main-Verkehrsverbund (RMV) und Stadtwerke Verkehrsgesellschaft Frankfurt am Main mbH (VGF) sowie die RMV-Töchter Fahrzeugmanagement Region Frankfurt RheinMain GmbH (fahma) und Rhein-Main-Verkehrsverbund Servicegesellschaft mbH (rms) die Idee entwickelt, erste Erfahrungen in einem praxisnahen, hochautomatisierten und autonomen Betrieb zu sammeln. Das heißt, im Vergleich zu den bisherigen Testfeldern mit Sicherheitsfahrern, den sogenannten Operatoren, sollte der Betrieb

\* Der Beitrag wird in V+T 10.22 fortgesetzt.

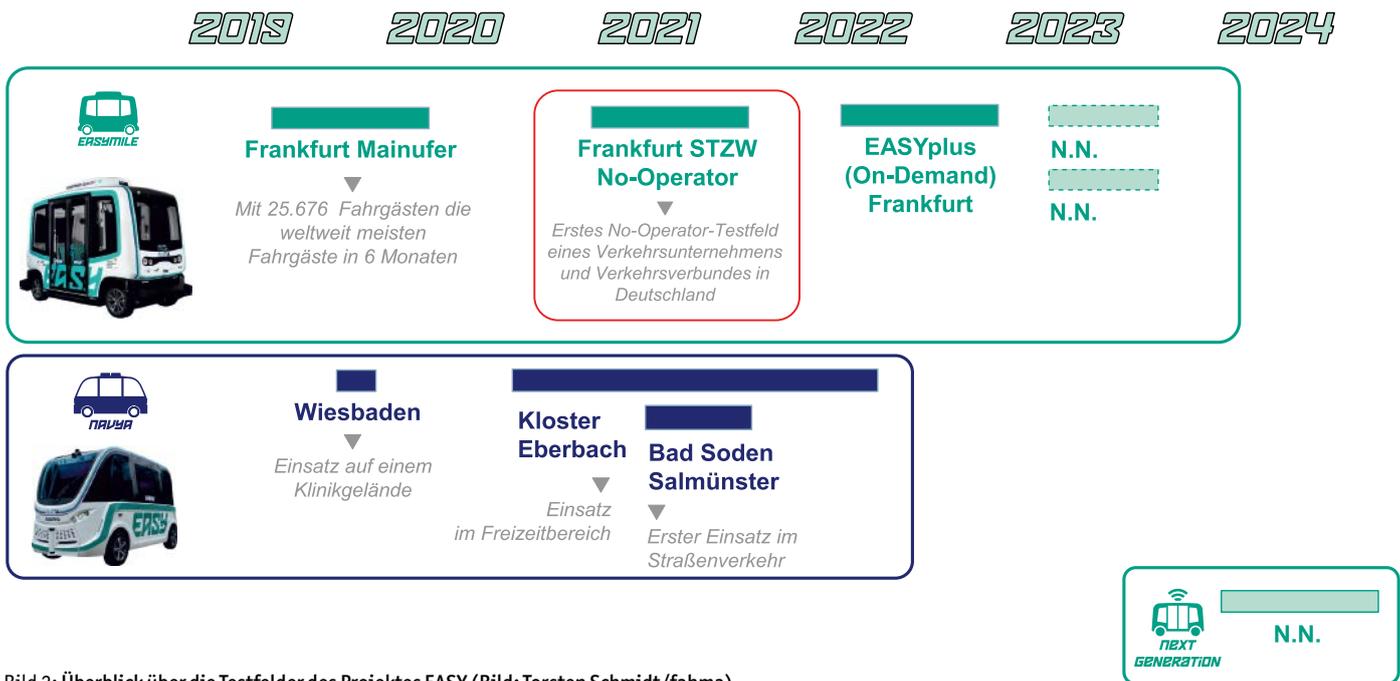


Bild 2: Überblick über die Testfelder des Projektes EASY (Bild: Torsten Schmidt/fahma)

ohne mitfahrende Operatoren mit einer Überwachung durch eine Leitstelle durchgeführt werden. Zielsetzung des Projektes war es, im Hinblick auf die Verordnung entsprechende Fachkenntnis in Bezug auf die gegenwärtige Fahrzeug- und Softwaretechnik zu erhalten. Zum Zeitpunkt der Projektdurchführung, und noch ohne die bereits erwähnten gesetzlichen Änderungen, war dies im öffentlichen Straßenverkehr nicht möglich. Realisiert wurde das Testfeld daher auf dem privaten und umzäunten Gelände der Stadtbahnzentralwerkstatt (Stzw) der VGF in Frankfurt-Rödelheim. Das in diesem Fachartikel beschriebene Testfeld wurde komplett aus Eigenmitteln des RMV über seine beiden Töchter fahma und rms finanziert.

### 3.2 Umsetzung des ersten No-Operator-Testfelds im RMV-Projekt „EASY“

Für alle Projektpartner war es das oberste Ziel, einen sicheren Betrieb zu gewährleisten. Im Gegensatz zum Testfeld am Frankfurter Mainufer, welches aufgrund des Betriebes der Fahrzeuge im öffentlichen Straßenraum ein Zulassungs- und Genehmigungsverfahren vorsah, existierten zum Zeitpunkt der Planung des Testfeldes im Herbst/Winter 2020 noch keine gesetzlichen Regelungen. Es musste also für ein solches Projekt zunächst eine Verfahrensweise entwickelt werden, in welcher die hohen Sicherheitsansprüche zur Geltung kamen. Daher wurde zur Realisierung des Betriebes ohne Operatoren und Stand-by-Überwachung durch eine Leitstelle mit Unterstützung von EasyMile ein Konzept von Betriebsstufen entwickelt. Dabei wurde der Operatorenbetrieb heruntergefahren, während der Betrieb in der Leitstelle zunächst hochgefahren und dann im Stand-by-Betrieb weiter getestet wurde. Die Gesamtkonzeption basiert im Wesentlichen auf einer Genehmigung der im normalen Straßenverkehr vorgesehenen internen sowie externen Begutachtungen des Gesamtsystems: also von Fahrzeug und Strecke. Darüber

hinaus hat die VGF durch ihren Betriebsleiter BOKraft ein entsprechendes Betriebskonzept auf Basis von Dienstabweisungen (DA) und Arbeitsanweisungen (AA) erstellt. Der Betrieb wurde dabei in verschiedene Betriebsstufen unterteilt. Das Gesamtkonzept, zu dem es bisher keine Vergleiche in Deutschland gibt, wurde im Rahmen eines Sicherheitsgutachtens vom TÜV Hessen begleitet und vollumfänglich beleuchtet (vgl. Bild 3).

Der Betrieb lässt sich in drei Hauptkategorien teilen:

- Operatorenbetrieb
- Backup-Operatorenbetrieb
- No-Operatorenbetrieb

Das Testfeld wurde zunächst ohne eine Leitstelle im Hintergrund gestartet, welches dem Betrieb auf allen weiteren Testfeldern entspricht. Nach Ausbildung der Mitarbeiter der Leitstelle, konnten diese den Betrieb über die Leitstellensoftware zunächst nur beobachten und später auch überwachen. Im Operatorenbetrieb oblag die Führung des Fahrzeuges ausschließlich den Operatoren. Die Füh-

**externes Sicherheitsgutachten**

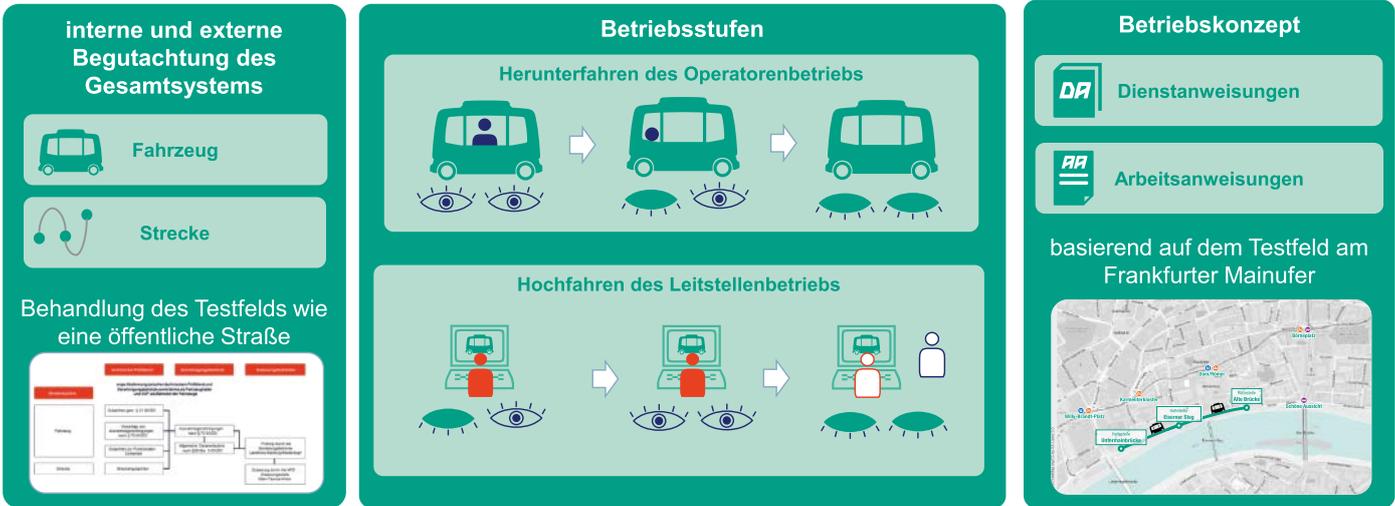


Bild 3: Gesamtkonzeption des Testfeldes (Bild: Torsten Schmidt/fahma)

Die Begutachtung des Gesamtsystems wurde im Backup-Operatorenbetrieb auf die Leitstelle übertragen. Dabei waren die Operatoren jeweils im Fahrzeug bzw. haben außerhalb des Fahrzeuges dieses begleitet. Im No-Operatorenbetrieb wurde das Fahrzeug zunächst weiterhin kontinuierlich aus der Leitstelle überwacht. Operatoren standen nur noch für Störungen zur Verfügung, bis deren Funktion auch auf die Leitstellenmitarbeiter übergegangen war. Im letzten Schritt wurde auch die kontinuierliche Überwachung durch eine aktive Meldung der Fahrzeuge ersetzt (vgl. Bild 4).

Auf der rund 1,3 km langen Strecke um die Stadtbahnzentralwerkstatt wurde bis Anfang November 2021 eine Gesamtstrecke von rund 1.700 km an 76 Betriebssta-

gen realisiert. Dabei erfolgte der Einsatz der Fahrzeuge unter unterschiedlichsten Wetterbedingungen – sogar bei starkem Wind und bei Schnee. Während öffentlicher Veranstaltungen konnten an sieben Tagen mehr als 200 Fahrgäste die Fahrzeuge testen und ihre Anregungen und Wünsche zu den autonomen Fahrten und Fahrzeugen äußern (vgl. Bild 5).

**3.3 Erkenntnisse**

Bei einer Online-Umfrage der Frankfurt University of Applied Sciences konnte ein Einblick in das Fahrerlebnis der Fahrgäste gewonnen werden. Außerdem wurden Wünsche und Sorgen der Fahrgäste bezüglich eines Betriebs

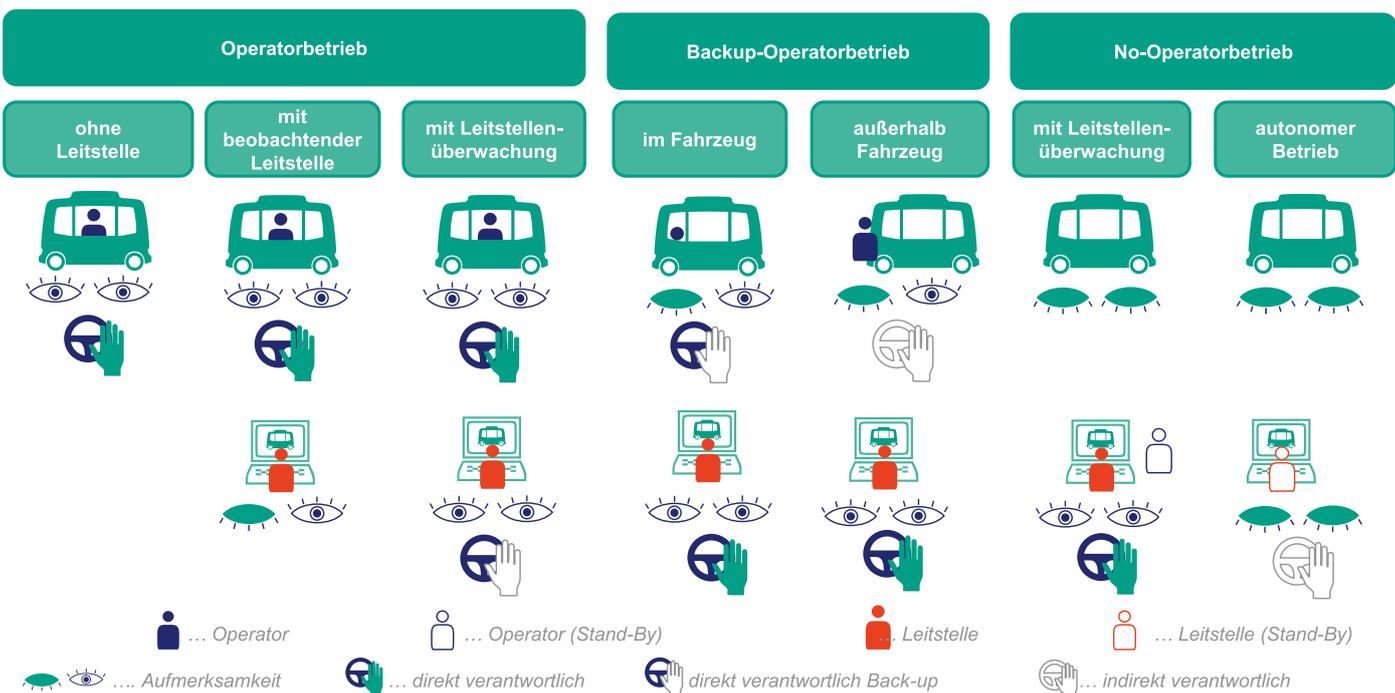


Bild 4: Betriebsstufen zur Realisierung des Betriebs ohne Operatoren im Fahrzeug und Stand-By-Überwachung durch eine Leitstelle (Bild: Torsten Schmidt/fahma)

ohne Operator erfasst. Diese ergaben, dass sich 93 % der Befragten während der Fahrt im Shuttle sehr sicher oder sicher fühlten, obwohl sich kein Sicherheitsfahrer im Innenraum befand. Außerdem gaben immerhin 67 % der Fahrgäste an, dass die Anwesenheit eines Sicherheitsfahrers das Sicherheitsgefühl während der Fahrt nicht erhöhen würde. Dies ist für den zukünftigen Regelbetrieb autonomer Shuttles im ÖPNV ein positives Signal, da es zeigt, dass die Fahrgäste der Technik bereits heute vertrauen. Darauf basierend sollte in Zukunft auch bei Tests ohne Operatoren auf öffentlichen Straßen das Sicherheitsgefühl der Fahrgäste erfragt werden. Eine weitere positive Rückmeldung der Fahrgäste ist, dass sich ein Großteil vorstellen kann, autonome Shuttles in Zukunft in ihren Alltag zu integrieren (94 %).

Im Vergleich zum Betrieb am Frankfurter Mainufer ist den Fahrgästen während des Betriebs auf der Stadtbahnzentralwerkstatt der bessere Halt in den Sitzen positiv aufgefallen. Durch eine einfache Sitzflächenpolsterung auf den Holzsitzen konnte das subjektive Sicherheitsgefühl der Fahrgäste bereits gesteigert werden. Auch wünschen sich die Fahrgäste eine jederzeit mögliche Kommunikation mit einem Mitarbeiter der Leitstelle (100 %). Die Kommunikationswege sollten hierfür besser gekennzeichnet werden. Im Hinblick auf eine veränderte Mobilität vermissen viele Fahrgäste die Möglichkeit, Gepäck sicher in den Fahrzeugen zu verstauen. Ebenso negativ aufgefallen ist die fehlende Barrierefreiheit des Fahrzeuges in Bezug auf den Einstieg vom Straßenniveau sowie der fehlende Rollstuhl-Stellplatz mit Rückhaltesystem.

Den Projektpartnern liegen die Fahrgastwünsche sowie Erkenntnisse des autonomen Betriebes vor. Daraus lässt sich ein detaillierter Anforderungskatalog für den

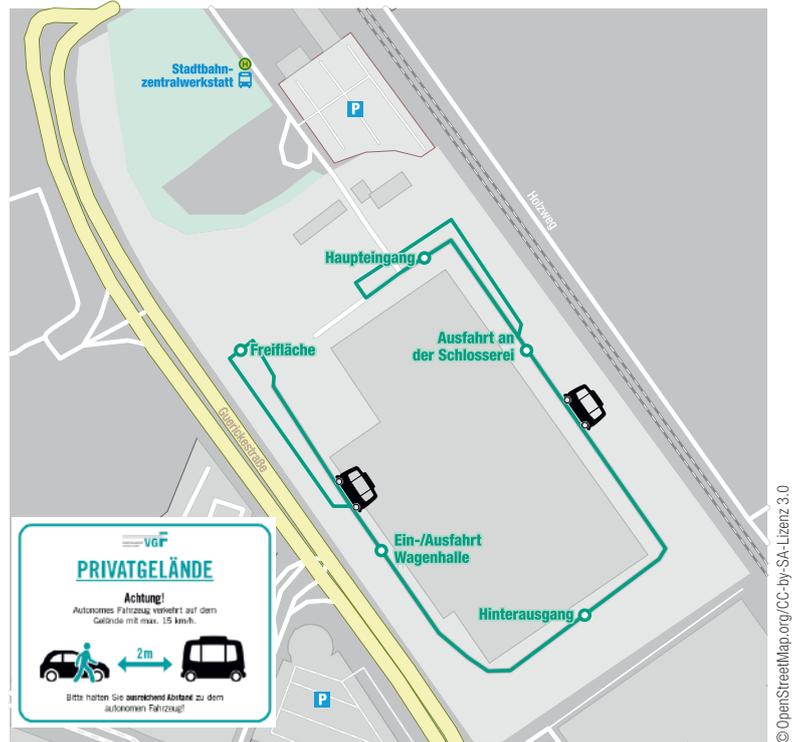


Bild 5: Eckpunkte zum Testfeld „Stzw“ (Karte: RMV)

Betrieb sowie die technischen Anforderungen autonomer Fahrzeuge und deren Leitstellen-Software zum hochautomatisierten bzw. autonomen Fahren ableiten. Durch den Test von Fahrzeug und Leitstelle wurde hierbei klar, dass vieles noch auf den Betrieb mit Operatoren ausgerichtet ist. ■

TORSTEN SCHMIDT | THORSTEN MÖGINGER | MARKUS MENZEL | MATTHIAS FISCHER  
ANNE KLINGNER | SOFIA PAVLAKIS

## Erster Betrieb von autonomen Fahrzeugen ohne Sicherheitsfahrer im RMV-Projekt „EASY“ (Teil II)\*

**Torsten Schmidt**  
und **Anne Klingner**,  
Straßengebundener  
ÖPNV, Fahrzeug-  
management Region  
Frankfurt RheinMain  
GmbH (fahma),  
**Thorsten Möglinger**,  
Teamleiter  
New Mobility, und  
**Sofia Pavlakis**,  
Junior Consultant  
Organisationsbera-  
tung & IT-Lösungen,  
Rhein-Main-  
Verkehrsverbund  
Servicegesellschaft  
mbH (rms),  
**Markus Menzel**,  
Fachbereichsleiter  
Betriebsplanung  
und Leistungserfas-  
sung, Betriebsleiter  
BOKraft, Stadtwerke  
Verkehrsgesellschaft  
Frankfurt am Main  
(VGF)  
**Matthias Fischer**,  
Geschäftsführer  
& Transportation  
Designer, neomind  
GmbH

### 4. Entwicklung von ersten Visionen

#### 4.1 Allgemein

Auf Basis der Erkenntnisse wurden erste Visionen von Fahrzeug und Bedienung aus der Leitstelle entwickelt. Diese basieren auf dem Austausch innerhalb des Projektteams und stellen noch kein vollumfängliches Konzept dar. Im Rahmen dieses Fachartikels wird auf folgende Punkte der Visionen eingegangen:

- Modulares Fahrzeugkonzept
- Barrierefreiheit
- Organisation und Bedienung

#### 4.2 Zukünftiges Fahrzeugkonzept als Modulsystem

Bei der Gestaltung der künftigen Fahrzeuge müssen neben den Wünschen der Fahrgäste auch technische und gesetzliche Rahmenbedingungen berücksichtigt werden. Im Hinblick auf eine Typenzulassung der Fahrzeuge ergibt sich die Fragestellung, ob die Fahrzeuge sich zukünftig einer bereits bestehenden Klasse zuordnen lassen, oder ob diese Fahrzeuge neue Vorgaben erstellt werden.

- Klasse M1 „Personenkraftwagen“  
Fahrzeuge zur Personenbeförderung mit höchstens acht Sitzplätzen außer dem Fahrersitz (umgangssprachlich Automobile und Wohnmobile)
- Klasse M2 ( $\leq 5$  t) / Klasse M3 ( $> 5$  t)  
Aufbau B „Reisebus“  
Fahrzeuge zur Personenbeförderung von bis zu 22 sitzenden Fahrgästen außer dem Fahrersitz und mit einer zulässigen Gesamtmasse bis zu (M2) / von mehr als 5 Tonnen (M3). Fahrzeuge, die nicht zur Beförderung stehender Fahrgäste ausgelegt sind; in einem Fahrzeug dieser Klasse sind keine Stehplätze vorgesehen (typischer Reise-Midibus).
- Klasse M2 ( $\leq 5$  t) / Klasse M3 ( $> 5$  t)  
Aufbau A „Kleinbus“  
Fahrzeuge zur Personenbeförderung von bis zu 22 Fahrgästen außer dem Fahrersitz und mit einer zulässigen Gesamtmasse bis zu (M2) / von mehr als 5 Tonnen (M3). Fahrzeuge, die zur Beförderung stehender Fahrgäste ausgelegt sind; ein Fahrzeug dieser Klasse verfügt über Sitze und es müssen Stehplätze vorgesehen sein (typischer Midibus in Linienbusausführung).

Aus der klassischen Sicht des ÖPNVs ist zumindest eine Erfüllung der Anforderungen der Klasse M2 bzw. M3 wün-

\* Fortsetzung des Beitrags aus V+T 09.22, S. 274 ff.

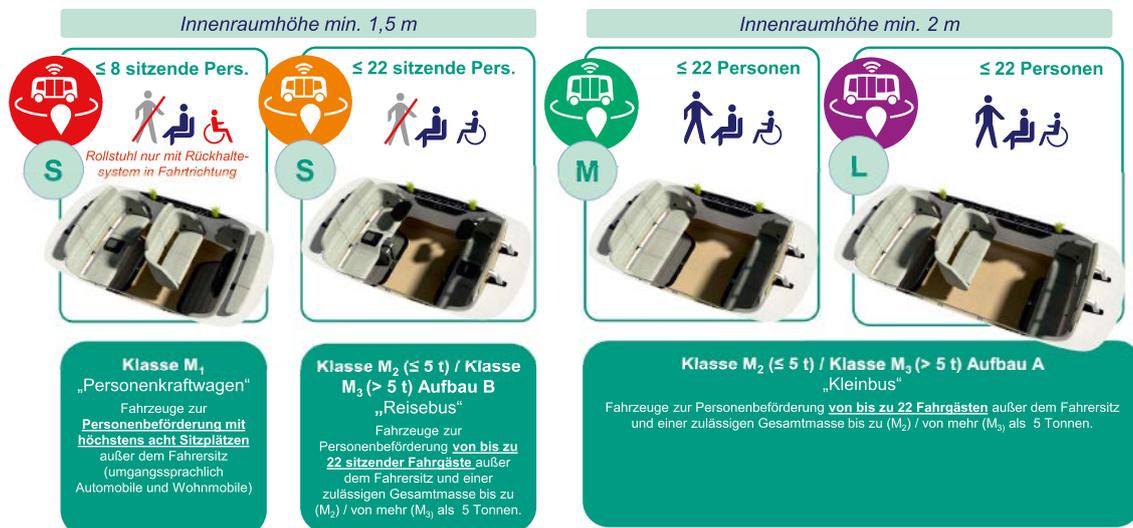


Bild 1: Entwicklung von vier möglichen Fahrzeugkonzepten in den Fahrzeugklassen M1, M2 bzw. M3 Aufbau B und M2 bzw. M3 Aufbau A (Bild: Torsten Schmidt/fahma, Fahrzeuggrafiken: Matthias Fischer/neomind GmbH)

schenswert. In Bezug auf autonome On-Demand-Verkehre wäre auch die Fahrzeugklasse M1 zu berücksichtigen (vgl. Bild 1).

Im Austausch mit anderen Testfeldbetreibern und dem Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) wurde dem Projektteam sehr deutlich, dass es unterschiedliche Anforderungen in Bezug auf die Einsatzgebiete und die jeweils erforderliche Kapazität geben wird. Diese Anforderung schlägt sich unweigerlich auf die notwendige Fahrzeuglänge nieder. Dies könnte bei der Definition der Fahrzeuglänge durch Fahrzeughersteller dazu führen, dass künftig zu kleine bzw. große Fahrzeuge eingesetzt werden müssten. Eine Lösung könnte die Modularisierung sein. Die Idee modularer Systeme ist in der Fahrzeugindustrie nicht neu. Das Schlagwort ist „Individualisierung“. Hier soll das Fahrzeug allerdings selbst als Basis für die Modularisierung stehen, genauer gesagt, geht es um anwenderspezifische Anpassungen: Varianten, z. B. in „S – Small“, „M – Midsize“ und „L – Large“, bieten daher die Möglichkeit, auf einer Plattform Fahrzeuge für unterschiedliche Zwecke bereitzustellen. Ausgehend davon, dass diese Fahrzeuge ausschließlich mit alternativen Antrieben ausgerüstet sind, könnten über den modularen Aufbau auch die notwendigen Energiespeicher für Batterie oder Wasserstoff in der Kapazität angepasst werden.

Neben der zukünftigen Entwicklung von autonomen PKW (Klasse M1) und perspektivisch auch Omnibussen (Klasse M3, Klasse I und II) geht das Projektteam davon aus, dass ein auf den Klassen M1 bis M3 basierendes Shuttlekonzept am Markt benötigt wird. Ein Vorteil der Fahrzeugklassen M2 und M3 ist die einfachere Realisierung eines entgegen der Fahrtrichtung ausgerichteten Rollstuhlplatzes. Des Weiteren kann bei einer ausschließlichen Beförderung von sitzenden Fahrgästen in der Klasse M2 bzw. M3 Aufbau B eine geringere Deckenhöhe analog zur Klasse M1 realisiert werden. Bisher ist der ÖPNV als Massenverkehrsmittel auf die Beförderung von stehenden Fahrgästen ausgelegt. Dies kann in den Klassen M2 bzw. M3 Aufbau A umgesetzt werden (vgl. Bild 2).

Zur Unterstützung bei dieser Fragestellung konnte das Projektteam das Industriedesign-Büro neomind aus München gewinnen. In verschiedenen Workshops wurden die Anforderungen und Rahmenbedingungen gegenübergestellt und ein modulares Shuttlekonzept entwickelt. Dieses sieht ein in Fahrzeuglänge und -höhe modular konfigurierbares Fahrzeug vor, welches an die individuellen Anforderungen und Rahmenbedingungen des Betreibers angepasst werden kann (vgl. Bild 3).

In Abhängigkeit der Fahrzeugklasse können nur sitzende bzw. stehende und sitzende Fahrgäste befördert werden. Auch in Bezug auf die Mitnahme von rollstuhlfahrenden Personen gibt es Unterschiede. Ferner bedarf es bei der Verpflichtung von Anschnallsystemen auch einer technischen Lösung für Kindersitze bzw. Arretierungs- und Rückhaltesysteme für rollstuhlfahrende Personen (vgl. Bild 4).

Gegenwärtig wird ein erstes Zielbild der Gestaltung von Interieur und Exterieur mit neomind erarbeitet. Dabei wird berücksichtigt, dass für die unterschiedlichen Fahrzeugklassen möglichst einheitliche Elemente verwendet

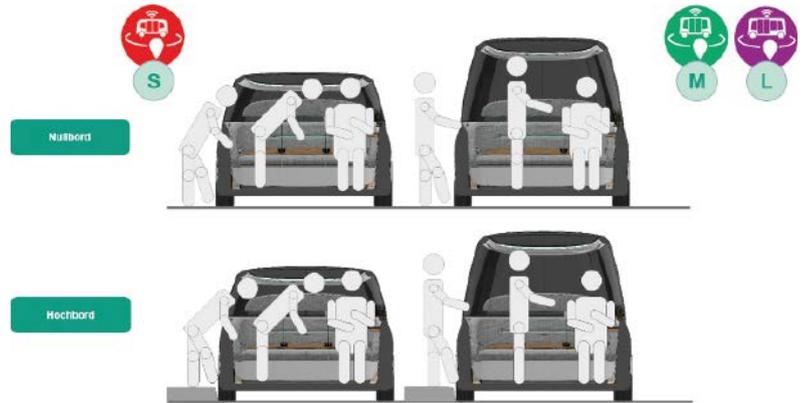


Bild 2: Einstieg und Haltung in das Fahrzeug (Bild: Matthias Fischer/neomind GmbH)



Bild 3: Darstellung der verschiedenen Fahrzeugvarianten in Fahrzeuglänge und Höhe (Bild: Matthias Fischer/neomind GmbH)

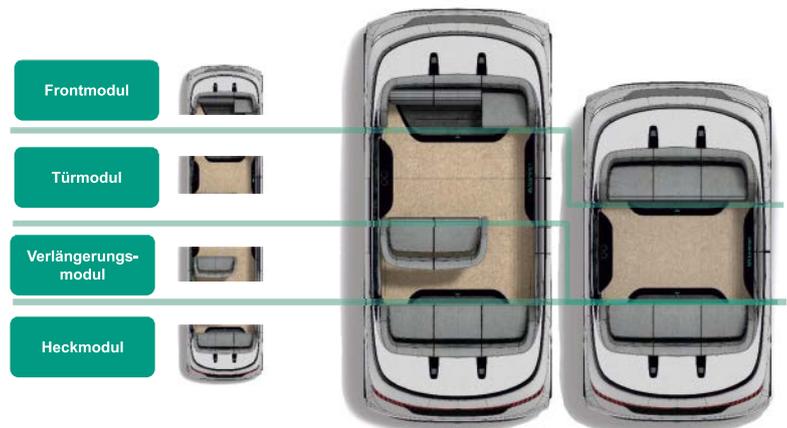


Bild 4: modulares Fahrzeugkonzept (Bild: Torsten Schmidt/fahma, Fahrzeuggrafiken: Matthias Fischer/neomind GmbH)

werden, um zum Beispiel Kosten für die Lagerhaltung von Ersatzteilen zu reduzieren (vgl. Bild 5).

### 4.3 Barrierefreiheit

Die Fahrzeuge müssen, neben den für den klassischen Linienverkehr ausgebauten barrierefreien Haltestellen, im On-Demand-Verkehr auch virtuelle Haltestellen mit wesentlich kleiner ausfallenden Bordhöhen anfahren können. In den meisten gegenwärtigen Testfeldern von On-Demand-Verkehren können dabei virtuelle Haltestellen auch in zweiter Reihe auf Straßenniveau vorgesehen sein. Beim Einstieg vom Straßenniveau im Testfeld auf der Stadtbahnzentralwerkstatt wurde sehr deutlich, dass dies für autonome Fahrzeuge nicht im finalen Ausbaustand anzustreben ist. Eine wesentliche städtebauliche Aufgabe ist es dabei, kleinere virtuelle Haltestellen am Gehsteig zu realisieren. Die Herausforderung besteht auch darin, zukünftig eine



Bild 5: Rollstuhlstellplatz mit Funktion (Bild: Matthias Fischer/neomind GmbH)

akzeptable bzw. vollständige Barrierefreiheit gemäß der DIN 18040-3 mit einem maximalen Spalt- und Stufenmaß von jeweils 50 Millimetern oder geringer zu realisieren.

Vor dem Hintergrund der sehr präzisen Ortungstechnik ist ein Restspalt bei ausreichend vorhandenem Fahrraum in jedem Fall von bis zu 50 mm realisierbar. Entscheidend ist hier allerdings die Höhe des Bordsteines. Ausgehend von einer Einstiegshöhe eines Omnibusses von rund 340 mm und einer maximal möglichen Absenkung (Kneeling) des Fahrzeuges von zirka 70 mm, ergibt sich eine Einstiegshöhe von 270 mm. Für eine vollständig barrierefreie Haltestelle mit einer maximalen Reststufe von 50 mm wäre ein Bord von 220 mm erforderlich. Virtuelle Haltestellen weisen jedoch auch wesentlich niedrigere Einstiegshöhen auf:

- Straßenniveau bzw. Nullbord mit 0 mm Bordsteinhöhe und 270 mm Reststufe
- Abgesenkter Bordstein mit 30 mm Bordsteinhöhe und 240 mm Reststufe
- Hochbord-Bordstein mit 150 mm Bordsteinhöhe und 120 mm Reststufe
- Haltestelle mit erhöhtem Bord mit 180 mm Bordsteinhöhe und 90 mm Reststufe
- Vollständig barrierefreie Haltestelle mit 220 mm Bordsteinhöhe und 50 mm Reststufe

Zielsetzung wäre es, zusätzliche Ausgaben bzw. kosten-treibende Anforderungen in Richtung der Straßeninfrastruktur bei virtuellen Haltestellen zu vermeiden. Bei der

Fahrzeugtechnik wäre eine Einstiegshöhe nach Absenkung des Fahrzeuges mindestens auf 200 mm anzustreben, damit ein vollständig barrierefreier Einstieg in das Fahrzeug bei einem Hochbord von min. 150 mm realisiert werden kann. Im Gegenzug wären virtuelle Haltestellen mit einem kleineren Hochbord bis hin auf Straßenniveau und mit einem abgesenkten Bordstein – mit dem entsprechenden seitlichen Platzbedarf – eingeschränkt barrierefrei realisierbar (vgl. Bild 6).

Der seitliche Platzbedarf für den barrierefreien Zustieg liegt bei barrierefreien Haltestellen bei 1,5 m. Beim Einsatz einer elektrischen Rampe werden 2,4 m benötigt. Auch hier kann fahrzeugseitig durch eine kleine elektrische Rampe der seitliche Platzbedarf auf zirka 1,9 m reduziert werden (vgl. Bild 7).

#### 4.4 Vision der EASY-Leitstelle 2.0

Neben der im Gesetz definierten Technischen Aufsicht als juristische Person, muss eine betriebliche Organisation entwickelt werden. Das Projektteam geht davon aus, dass bereits vorhandene Strukturen des ÖPNV für den Betrieb von autonomen Fahrzeugen verwendet werden bzw. angepasst werden können. Vor allem die Funktion des Betriebsleiters nach BOKraft könnte hier erweitert werden.

In der Vision geht das Projektteam davon aus, dass für den Betrieb eine weitere Unterteilung der Aufgaben und Zuständigkeiten in verschiedene Rollen notwendig ist. Zum einen muss eine Person die Überwachung des gesamt-

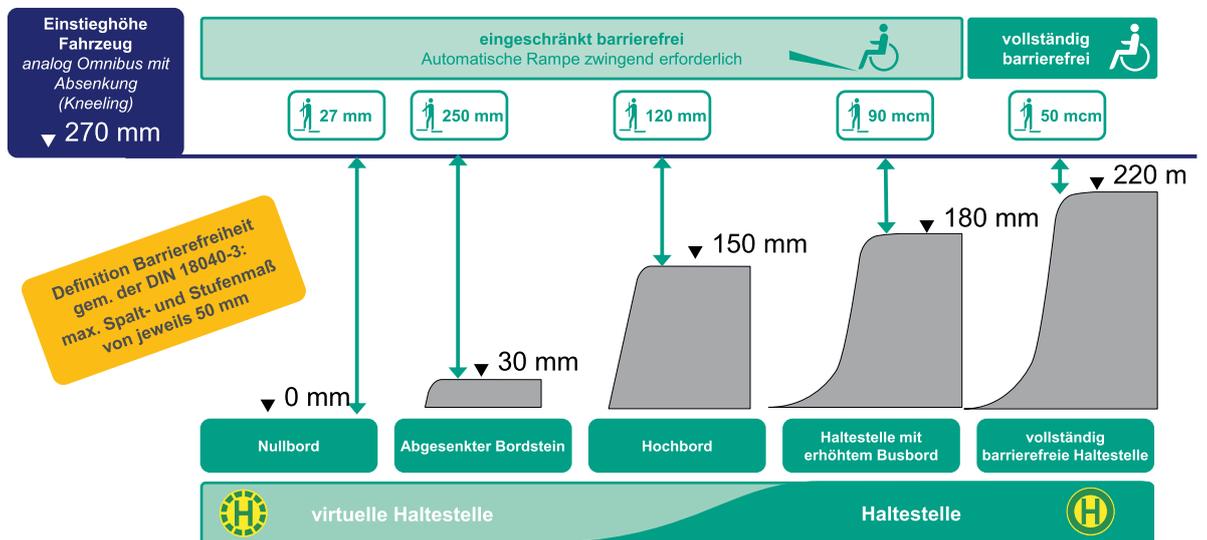


Bild 6: Barrierefreiheit rund um den Einstieg (Bild: Torsten Schmidt/fahma)

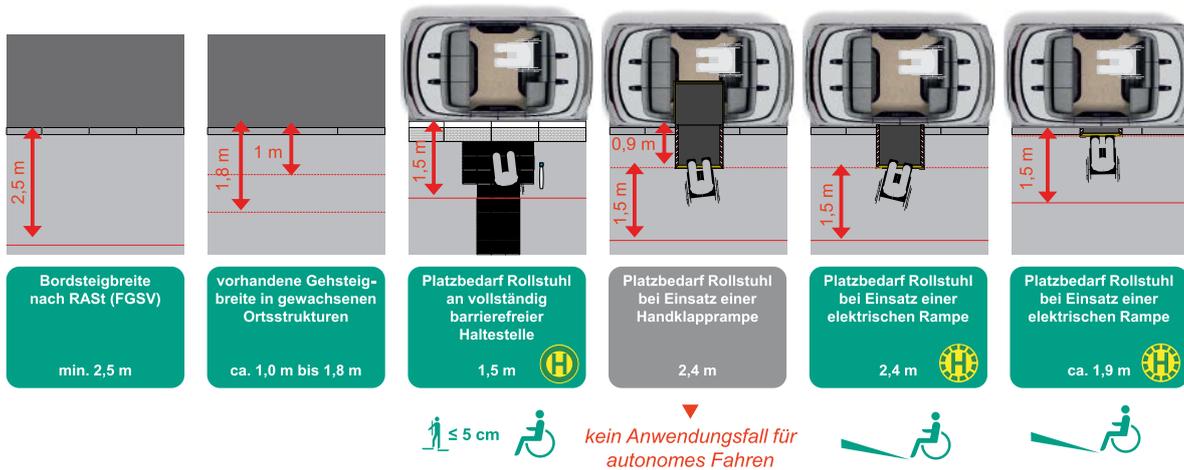


Bild 7: Platzbedarf für den Zugang von rollstuhlfahrenden Personen (Bild: Torsten Schmidt/fahma, Fahrzeuggrafiken: Matthias Fischer/neomind GmbH)

ten Betriebes sicherstellen, was in der Regel Disponenten in der Leitstelle übernehmen. Diese leiten im Störfall Maßnahmen ein und stehen als Ansprechpartner für die Einsatzleitung sowie für Mitarbeiter vor Ort zur Verfügung. Darüber hinaus werden „Fernoperatoren“ benötigt, welche sich jeweils auf ein Fahrzeug aufschalten und die Freigabe von Fahrmanövern bzw. -aufträgen veranlassen, aber auch weitere Tätigkeiten aufnehmen. Dabei können Disponenten und Fernoperatoren ggf. auch räumlich getrennt sein. In der Phase einer Betriebsaufnahme sowie bei noch nicht ausreichender Verkehrskompetenz von Fahrzeug und Software ist davon auszugehen, dass sich Fernoperatoren vermehrt auf Fahrzeuge aufschalten müssen, sofern diese entsprechend Freigaben benötigen (vgl. Bild 8).

In der Verordnung für autonome Fahrzeuge, deren Genehmigung und Betrieb (AFGBV) wird derzeit für die Personale innerhalb der Technischen Aufsicht mindestens ein Abschluss als staatlich geprüfter Techniker oder ein Studienabschluss in den Fachrichtungen Maschinenbau, Fahrzeugtechnik, Elektrotechnik oder Luft- und Raumfahrttechnik/Luftfahrzeugtechnik gefordert. Dies wurde bereits von mehreren Seiten, u.a. vom Bundesverband Digitale Wirtschaft (BVDW) sowie vom VDV als „unnötige Überregulierung“ kritisiert. In den heutigen Leitstellen der Verkehrsunternehmen arbeitet gut ausgebildetes Fachpersonal ohne Ingenieursstudium. Die Aufgaben einer Technischen Aufsicht (Interaktion mit Fahrzeug, Insassen und Umwelt) kann ebenso zuverlässig übernommen werden.

Natürlich kann ein autonomer Betrieb von Fahrzeugen nicht alleine mit Mitarbeitern einer Leitstelle realisiert werden. Es bedarf vielmehr, wie beim klassischen ÖPNV, eines Verkehrsmeisters, welcher in Störsituationen vor Ort eingreifen kann. Hierbei wäre gerade in ländlichen Strukturen zu überlegen, ob die Aufgaben des Verkehrsmeisters aufgeteilt und ein sogenannter Testfeld-Betreuer für kleinere Störfälle oder Störungen gerufen werden kann und schneller vor Ort ist. Aus den Erfahrungen des Betriebes auf der Stadtbahnzentralwerkstatt konnte auch ein erster Anforderungskatalog für die technische Ausstattung der Leitstelle sowie der Software entwickelt werden. Mögliche Zielsetzung ist es dabei, die Bedienung für autonome

Fahrzeuge unabhängig vom tatsächlich eingesetzten Hersteller und Fahrzeugtyp zu realisieren und weitestgehend zu standardisieren. Hierdurch können die Investitionskosten, aber auch die laufenden Kosten in Bezug auf die Schulung wesentlich reduziert werden.

Die Leitstelle sieht für den Disponenten Bildschirme für die Überwachung des Gesamtzustandes vor. Die Ansichten für den sogenannten Fernoperator beziehen sich jeweils lokal auf ein Fahrzeug. Hierbei ist eine ausreichende Versorgung mit Live-Bildern, aber auch schnellen Review-Bildern notwendig, um Situationen richtig einschätzen zu können. Anspruchsvoll ist dabei, dass Fernoperatoren sich erst auf ein Fahrzeug aufschalten, sofern dies entsprechende Freigaben einfordert (z. B. Überholmanöver, Ampelfehlfunktionen) oder Hilfestellung (z. B. bei unklaren Verkehrssituationen) benötigt. Dabei hat der Fernoperator die Situation sehr schnell zu erfassen und braucht hierfür zusätzliche Peripheriegeräte. Aus Sicht des ÖPNV kann man bei der Ausgestaltung des Arbeitsplatzes für die Fernoperatoren auf vorhandene Strukturen, wie zum Beispiel den Führerstand einer Stadtbahn, zurückgreifen. Durch die feste Anordnung von Bedienelementen, welche gegebenenfalls weiterhin haptisch zur Verfügung stehen, kann eine sichere Bedienung eines Fahrzeuges gewährleistet werden. Im Rahmen des Projektes konnte ein erster Aufschlag für das Bedienpult erstellt werden.

Das Bedienpult sieht dabei verschiedene Elemente vor, welche ausschließlich zur autonomen Bedienung



Bild 8: Vergleich der im Projekt realisierten Leitstelle (Bild: Torsten Schmidt, fahma) und der VGF-Betriebsleitstelle (Bild: VGF)

des Fahrzeuges vorgesehen sind, und damit keine Teleoperation darstellen. Das heißt, dass das Fahrzeug die Durchführung von Fahrmanövern überprüft. Bei Gefahr im Verzug sollte jedoch die Möglichkeit der Übersteuerung gegeben sein. Das bedeutet, dass die „Befehle“ des Fahrzeuges außer Kraft gesetzt werden und das Fahrzeug selbst der Anweisung / den Anweisungen aus der Leitstelle folgt. Die Anordnung erfolgt von links nach rechts, von der Überwachung zu klassischen Fahrzeugelementen über die Interaktion bis hin zu den für den ÖPNV erforderlichen Bedienelementen. Sofern eine Bedienung bereits eine Teleoperation darstellt, können die Taster als Leuchtmelder zur Information dienen (vgl. Bild 9). Bedienelemente sind unter anderem:

- **Auswahl von häufigen Fahrmanövern**  
Hierbei werden häufige Fahraufträge, wie Reduzierung der Geschwindigkeit, weiterfahren bis zum Hindernis, überholen des Hindernisses, fahren bis zur nächsten Ausweichposition, als haptische Elemente realisiert. Weitere Fahraufträge können über einen Touchscreen ausgewählt werden. Somit können vorgeschlagene Fahrmanöver direkt bestätigt oder Alternativen zur Überprüfung an das Fahrzeug übermittelt werden.
- **Freigabe von Fahrmanövern**  
Für jeden Fahrauftrag besteht die Möglichkeit, diesen direkt freizugeben bzw. eine Freigabe mit weiterer Überwachung des autonom fahrenden Fahrzeuges zu realisieren (z. B. Verkehrsregelung durch die Polizei). Ferner

können Fahraufträge revidiert und das Fahrzeug in den risikominimalen Zustand gesetzt werden. Natürlich kann auch ein Nothalt des Fahrzeuges ausgelöst werden.

- **Steuerung der Kameraansichten**  
Zur Situationsbeurteilung können hier die Kamerabilder u. a. zurückgespielt oder rückwärts abgespielt werden.
- **Klassische Fahrzeugbedienelemente**  
Hier finden sich u. a. Warnblinker, Hupe und Klingel wieder. Diese dienen in erster Linie der Überwachung, aber auch der Übersteuerung (aktives Außerkräftsetzen autonomer (Fahr-) Befehle) und Interaktion im autonomen Betrieb mit Überwachung.
- **Kommunikation und Interaktion**  
Neben der Fahrgastkommunikation ist die Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern wesentlicher Bestandteil dieses Bereichs. Neben den klassischen Außenlautsprechern müssen auch Monitore für die Interaktion überwacht, übersteuert und ggf. manuell gesteuert werden.
- **ÖPNV-Bedienelemente**  
Die Elemente der Türöffnung befinden sich in jedem ÖPNV-Fahrzeug. Jedoch müssen für On-Demand-Verkehre auch Türöffnungen nach erfolgter Legitimation der Zugangsberechtigung erfolgen können. So kann die Türöffnung bei einer Störung auch außerhalb einer Haltestelle erfolgen. Ebenso können die elektrische Rampe und die Absenkung (Kneeling) des Fahrzeuges

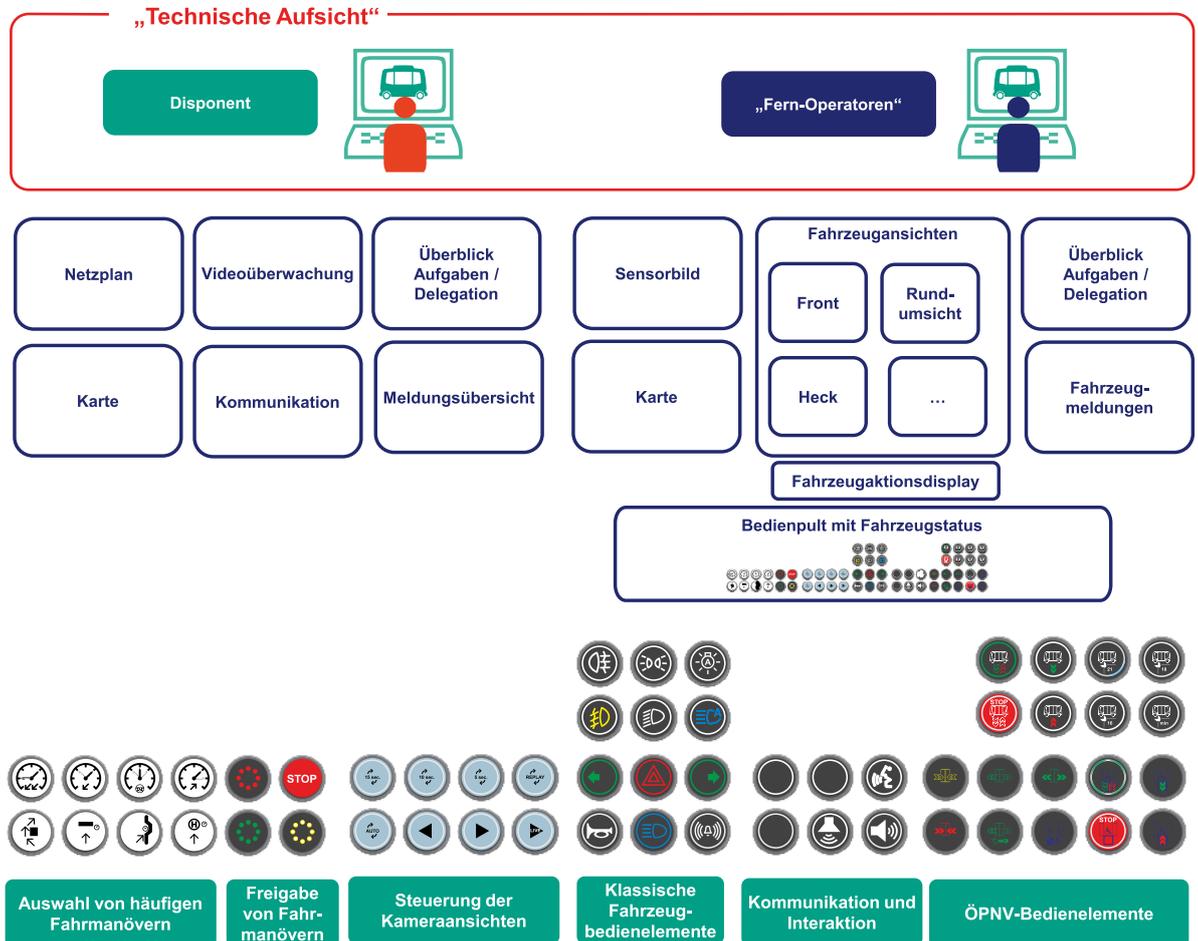


Bild 9: Darstellungen auf den Monitoren sowie Aufbau des Bedienpults im Entwurf (Bild: Torsten Schmidt/fahma)

überwacht und ggf. übersteuert bzw. manuell gesteuert werden.

#### – **Hauptanzeigedisplay der automatisierten Fahrfunktion**

Das Hauptanzeigedisplay ermöglicht es den „Fernoperatoren“, neben den Live-Bildern die Sichtweise des Fahrzeuges einzunehmen und abzugleichen. Durch eine gleiche Struktur soll die notwendige Erfassung der Situation für die Freigabe eines Fahrmanövers erleichtert und bescheinigt werden. Hierzu zählen insbesondere folgende Anzeigen und Darstellungen:

- Darstellung des Fahrzeuges und der erfassten Umwelt als 2D- oder 3D-Darstellung
- Darstellung des Erfassungsbereichs der Sensoren
- Darstellung von erfassten Verkehrsteilnehmern und deren Visualisierung
- Farbige Darstellung des vorgesehenen Verlaufs der Route
- Geschwindigkeitsanzeige
- Anzeige über die geltende Verkehrsregelung im aktuellen Verkehrsabschnitt des Fahrzeuges (z. B. Höchstgeschwindigkeit, Überholverbot, Halteverbot...)
- Einschlag der Räder
- Anzeige über die autonome Verkehrskompetenz (Datenauswertung aus: Ortung, Mobilfunk, Wetter...)
- Anzeige der Lage des Fahrzeuges im Raum (z. B. Erkennen von Unfällen)
- Anzeige über die Beschleunigung des Fahrzeuges zu allen Seiten.

### **5. Fazit und Ausblick**

Aus den Testfeldern der letzten Jahre konnten wichtige Erkenntnisse zu einem Betrieb autonomer Shuttles im klassischen ÖPNV sowie für On-Demand-Verkehre gezogen werden. Es wurde deutlich, dass die Fahrzeuge noch ÖPNV-konform gestaltet werden müssen, welche Fragen sich hinsichtlich Zulassung und Genehmigungen für den Einsatz im öffentlichen Raum ergeben und vor allem, was für einen sicheren und wirtschaftlichen Betrieb noch alles fehlt.

Die Erkenntnis ist jedoch die, dass eine Implementierung von autonomen Shuttles in den ÖPNV ohne weitere Standardisierung und Vereinheitlichung sowie praxisorientierte Rahmenbedingungen nicht zu leisten ist. Es ist wichtig, autonomes Fahren völlig unabhängig von der Betriebsart als Gesamtsystem zu betrachten. Dabei ist es notwendig, zusätzliche Erfahrungen in weiteren Testfeldern zu sammeln. Der nächste Schritt wird daher sein, ein Gebiet zu erschließen, in welchem die Shuttles nicht nur auf einem Rundkurs unterwegs sind, sondern auch On-Demand zur Verfügung stehen. Ohne kompetente und zuverlässige Partner ist eine Umsetzung dieser Größenordnung nicht möglich.

Die Arbeit des Projektteams besteht nun darin, bereits gewonnene Erkenntnisse umzusetzen, weitere Parameter zu implementieren und die Idee des autonomen ÖPNV voranzutreiben. Der erstellte Anforderungskatalog wird in Zukunft dabei helfen, Hersteller für den Bau entsprechender Fahrzeuge und die Ausrüstung der Leitstelle zu gewinnen. Die frühzeitige Einbindung von Städten und Behörden wird den zukünftigen Einsatz autonomer Shuttleverkehre sowie die Umsetzung neuer Erkenntnisse erleichtern. Mobilfunkanbieter als Partner treiben zusätzlich den Ausbau der Mobilfunktechnik voran und leisten einen wesentlichen Beitrag zu einem zuverlässigen autonomen Betrieb. Hersteller von Kameras und Sensorik sowie Unternehmen, die sich mit Objekterkennung, künstlicher Intelligenz und Algorithmen beschäftigen, tragen einen großen Anteil zur Sicherheit des autonomen Betriebes bei. Und nicht zuletzt leisten die Verkehrsunternehmen mit ihren Erfahrungen im Bus- und Bahnbetrieb wesentlichen Input hinsichtlich des operativen Betriebes eines autonomen Shuttleverkehrs.

In der weiteren Entwicklung des autonomen Fahrens muss eine breit gespannte Vision, ausgehend vom ÖPNV, zudem auch in weitere Fachbereiche Einzug halten. So ist die Mobilitätswende mit autonomen Fahrzeugen auch von der städtebaulichen Weiterentwicklung abhängig. ■