

# Voraussetzungen & Einsatzmöglichkeiten von automatisiert und elektrisch fahrenden (Klein-) Bussen im ÖPNV

Ergebnisse aus dem Forschungsvorhaben

**LEA (Klein-) Bus.**



## Dokumentinformationen

Kurztitel	LEA(Klein-)Bus
Auftraggeber:	BMVI
Auftragnehmer:	PTV AG, PTV TC GmbH, KIT IfV + FAST, Rödl & Partner
Auftrags-Nr.:	70.941/17

Berlin/Karlsruhe/Hamburg, August 2019

**Auftragnehmer:**

PTV Planung Transport Verkehr AG

**in Kooperation mit:**

PTV Transport Consult GmbH  
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
Rödl & Partner GbR

**Im Auftrag des**

Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur

**Autoren:**

PTV Planung Transport Verkehr AG:  
Inga Luchmann

PTV Transport Consult GmbH:  
Christian Reuter, Daniel Karthaus, Petra Strauß

Karlsruher Institut für Technologie:  
Eva-Maria Knoch, Nadine Kostorz, Dr. Tim Hilgert,  
Dr. Martin Kagerbauer, Dr. Michael Frey

Rödl & Partner GbR:  
Jörg Niemann, Dr. Christian Baumann

Die dieser Veröffentlichung zugrunde liegenden Arbeiten wurden im Auftrag des Bundesministers für Verkehr und digitale Infrastruktur unter FE-Nr. 70.941/17 durchgeführt. Die Verantwortung für den Inhalt liegt ausschließlich bei den Autoren.

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Glossar</b> .....	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Automatisiertes, vernetztes und elektrisches Fahren im ÖPNV</b> .....	<b>10</b>
<b>4</b>	<b>Informationen zum Projekt LEA(Klein-)Bus</b> .....	<b>12</b>
<b>5</b>	<b>Ziel und Aufbau der Handreichung</b> .....	<b>13</b>
<b>6</b>	<b>Baustein Fahrzeugtechnik</b> .....	<b>15</b>
6.1	Technische Reife der Fahrzeuge .....	15
6.2	Empfehlungen zu erforderlichen Fahrzeugtechnik .....	17
<b>7</b>	<b>Baustein IT- und Verkehrsinfrastruktur</b> .....	<b>23</b>
7.1	Empfehlungen zur IT-Infrastruktur .....	23
7.2	Empfehlungen zur Verkehrsinfrastruktur .....	24
7.3	Empfehlungen zum Aufbau eines Testbetriebs .....	27
<b>8</b>	<b>Baustein Betriebliche Effekte</b> .....	<b>29</b>
8.1	Betriebliche Effekte des fahrerlosen Fahrbetriebs.....	30
8.2	Betriebliche Effekte des On-Demand-Flächenbetriebs mit Kleinbussen ...	31
8.3	Betriebliche Effekte des elektrischen Fahrzeugantriebs .....	32
8.4	Empfehlungen und Forschungsbedarf.....	33
<b>9</b>	<b>Baustein Wirtschaftlichkeit</b> .....	<b>34</b>
9.1	Auswirkungen auf Investitions- und Betriebskosten .....	34
9.2	Auswirkungen auf Fahrgeldeinnahmen und Finanzierung .....	38
<b>10</b>	<b>Baustein Einsatzfelder und Bedienformen</b> .....	<b>39</b>
10.1	Stärken und Schwächen der Einsatzfelder und Bedienformen .....	40
10.2	Gestaltungsoptionen von On-Demand-Flächenbetrieben.....	46
10.3	Empfehlungen und Forschungsbedarf.....	46
<b>11</b>	<b>Baustein Systemakzeptanz</b> .....	<b>49</b>
11.1	Bestehende Akzeptanzanalysen .....	49
11.2	Akzeptanzbefragungen durch LEA(Klein-)Bus .....	51
11.3	Gestaltungsmöglichkeiten und ihre Effekte .....	55
<b>12</b>	<b>Baustein Rechtlicher Rahmen</b> .....	<b>58</b>
12.1	Zulassungsrecht – Stand und Empfehlungen .....	58

12.2	Haftungsrecht – Stand .....	60
12.3	Personenbeförderungsrecht – Stand und Empfehlungen.....	60
<b>13</b>	<b>Baustein Marktentwicklung und mögliche Geschäftsmodelle.....</b>	<b>62</b>
13.1	Treiber und Trends für neue Geschäftsmodelle .....	62
13.2	Mögliche Angebotsformen und Dienstleistungen .....	63
13.3	Potenzielle Anbieter von Mobilitätsdienstleistungen .....	64
13.4	Randbedingungen im zukünftigen Mobilitätsmarkt.....	67
<b>14</b>	<b>Schlussfolgerungen .....</b>	<b>68</b>
<b>15</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>70</b>

# 1 Zusammenfassung

Der öffentliche Personennahverkehr steht vor großen Herausforderungen in Hinblick auf Zugänglichkeit, Sicherheit, Kosten sowie Servicequalität und Umweltwirkung. Automatisierung, Vernetzung und Elektrifizierung von Fahrzeugen bieten dem öffentlichen Personennahverkehr die Chance, Beförderungsleistungen kostengünstiger, bedarfsgerechter und damit nutzerfreundlicher als heute anzubieten. Das Projekt LEA(Klein-)Bus bringt Veröffentlichungen zu Fahrzeugeinsätzen und Simulationsstudien mit eigens durchgeführten Experteninterviews und -workshops, einer repräsentativen Onlinebefragung zur Akzeptanz von automatisierten Kleinbussen von potenziellen und tatsächlichen Nutzern und im Rahmen des Projektes modellierten Fallbeispielen von Fahrzeugeinsätzen in unterschiedlichen Einsatzräumen mit unterschiedlichen Bedienformen zusammen. Ziel des Projektes war es, Voraussetzungen, Anwendungsmöglichkeiten und Folgen des automatisierten und elektrisch betriebenen (Klein-)Buseinsatzes für unterschiedliche Räume zu untersuchen. Die daraus abgeleiteten Empfehlungen für Landkreise, Kommunen und Planer flossen in diese Handreichung.

Bisher erzielte Erfahrungen aus Fahrzeugeinsätzen und Befragungen zeigen eine hohe Verkehrssicherheit und Akzeptanz der automatisierten (Klein-)Busse. Jedoch sind die eingesetzten Fahrzeug-Prototypen technisch nicht in der Lage, ohne manuelle Steuerung zu fahren. In den Experten- und Nutzerbefragungen wurde klar der Wunsch geäußert, dass für den Einsatz im regulären ÖPNV-Betrieb weitere Schritte auf Seiten der Fahrzeugentwicklung vonnöten sind. Fahrzeuge müssen den Vorschriften der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung entsprechen, Hindernisse müssen eigenständig umfahren und Fahrgästen muss, auch ohne Sicherheitsfahrer, ein diskriminierungs- und barrierefreier Zugang gewährt werden. Höhere Fahrgeschwindigkeiten, als die bisher rechtlich maximal erlaubten 25 km/h, werden ebenso erwartet wie eine größere Batteriereichweite. Eine Erneuerung der kompletten Verkehrsinfrastruktur ist nicht erforderlich, wohl aber deren beständige Pflege. Je nach Einsatzort muss Ladeinfrastruktur angepasst bzw. ausgebaut werden. Für die stetige Verfügbarkeit und Aktualisierung digitaler Karten und die Lokalisierung der Fahrzeuge muss eine IT-Infrastruktur (WLAN und/oder Mobilfunk) und GPS-Abdeckung großflächig verfügbar sein.

Die Simulationsrechnungen konnten zeigen, dass der Einsatz selbstfahrender Fahrzeuge, insbesondere von Kleinbussen, im ÖPNV eine Vielzahl neuer Möglichkeiten für eine flexiblere Angebotsgestaltung und Betriebsorganisation eröffnet. Trotz großer Unsicherheiten bezüglich der Kostenentwicklungen lassen die Elektrifizierung von Fahrzeugflotten, vor allem aber der fahrerlose Betrieb, deutlich geringere Betriebskosten (Einsparungen bei Fahrbetrieb, Wartung und Instandhaltung) erwarten. Dies eröffnet Spielräume für neue Bedienkonzepte, die unter den heutigen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen nicht denkbar sind. Insbesondere nachfrageschwache Gegenden könnten davon profitieren. Aus dem bedarfsgesteuerten, nicht fahrplan- und haltstellengebundenen Flächenbetrieb mit Kleinbussen resultieren jedoch höhere Anforderungen an die Betriebsorganisation, das Flottenmanagement und die Betriebsinfrastruktur als ein konventioneller Betrieb mit Standardbussen.

Für das komplett fahrerlose Fahren ist der Rechtsrahmen anzupassen. Da heute die Zulassungs- und Genehmigungsprozesse sehr heterogen und langwierig sind, ist eine abgestimmte Systematisierung von fahrzeug-, straßenverkehrszulassungs- und straßenordnungsrechtlichen Regelungen zu entwickeln. Innerhalb des Personenbeförderungsgesetzes sollte eine neue Verkehrsform, der sog. Flächenverkehr, bei regulativer Chancengleichheit, den Linienverkehr ergänzen, verdichten und ggf. auch ersetzen. Im Sinne einer nutzerfreundlichen und nachhaltigen Mobilität für alle ist es wichtig, frühzeitig die Weichen für eine Integration automatisiert und elektrisch fahrender (Klein-)Busse in die Netzplanung des ÖPNV zu stellen und zielführende Steuerungsmechanismen mitzudenken.

## 2 Glossar

Bedarfsverkehr	Der Bedarfsverkehr, oder auch On-Demand-Verkehr, erfolgt nur dann, wenn ein Fahrtwunsch vorliegt. Er kann fahrplan- und haltestellengebunden sein. Es kann sich aber auch um eine Tür-zu-Tür-Bedienung handeln.
DS-GVO	Diese Datenschutz-Grundverordnung enthält Vorschriften zum Schutz natürlicher Personen bei der Verarbeitung personenbezogener Daten und zum freien Verkehr solcher Daten. Sie schützt die Grundrechte und Grundfreiheiten natürlicher Personen und insbesondere deren Recht auf Schutz personenbezogener Daten.
EG-FGV	Die EG-Fahrzeuggenehmigungsverordnung regelt die Genehmigung für Kraftfahrzeuge und ihre Anhänger sowie für Systeme, Bauteile und selbstständige technische Einheiten für diese Fahrzeuge.
Flächenbetrieb / Flächenverkehr	Der Flächenbetrieb bzw. Flächenverkehr ergibt sich im Vergleich zu Linien- und Sektor-bzw. Korridorbetrieb rein durch die Fahrtwünsche. Ist daher nicht richtungsgebunden und ohne Fahrplan.
FZV	Die Fahrzeug-Zulassungsverordnung normiert die Zulassung von Fahrzeugen und Personen zum Öffentlichen Straßenverkehr in Deutschland. Sie regelt insbesondere die Notwendigkeit und Verfahren der Zulassung und Außerbetriebsetzung von Fahrzeugen zum öffentlichen Straßenverkehr.
GPS	Global Positioning System. Das globale Positionsbestimmungssystem ist ein globales Navigationssatellitensystem zur Positionsbestimmung.
Kommunikations- technologie	Technologien zur Kommunikation mit IT-Infrastruktur, Verkehrsinfrastruktur (bspw. LSA) und anderen Verkehrsteilnehmern. Heute gängig sind hierfür Mobilfunk und WLAN.
Korridorbetrieb	Ein Korridorbetrieb ist ein richtungsgebundener Fahrbetrieb, wobei sich der Fahrtverlauf infolge der Fahrtwünsche ergibt. Im Vergleich zum Linienbetrieb erfolgt ein flexibles Routing.
LIDAR	Light Detection And Ranging. Das LIDAR ist eine Methode zur optischen Abstands- und Geschwindigkeitsmessung. Statt der Radiowellen wie beim Radar werden Laserstrahlen verwendet.
Linienbetrieb / Linienverkehr	Linienbetrieb oder Linienverkehre sind grundlegende Bestandteile des öffentlichen Verkehrs. Es handelt sich dabei um regelmäßige Verkehre, meist mit Fahrplan und Haltepunkten.
Lokalisierungs- technologie	Technologien zur Lokalisierung anderer Verkehrsteilnehmer und Objekte und zur Lokalisierung des Fahrzeugs im Raum.

LSA	Lichtsignalanlage oder umgangssprachlich Ampel
MIV / IV	motorisierter Individualverkehr bzw. Individualverkehr
On-Demand-Verkehr	Der On-Demand-Verkehr oder auch Bedarfsverkehr, erfolgt nur dann, wenn ein Fahrtwunsch vorliegt. Er kann fahrplan- und haltestellengebunden sein. Es kann sich aber auch um eine Tür-zu-Tür-Bedienung handeln.
ÖPNV	Der öffentliche Personennahverkehr ist Teil des öffentlichen Verkehrs im Rahmen der Grundversorgung auf Straße, Schiene, Wasser und mittels Luftseilbahn. Die Personenbeförderungen überschreiten eine Strecke von 50 km in der Regel nicht.
ÖV	Der öffentliche Verkehr bezeichnet Mobilitäts- und Verkehrsdienstleistungen, welche für jeden Nutzer zugänglich sind, insbesondere die Leistungen des öffentlichen Gütertransports, der öffentlichen Personenbeförderung sowie Leistungen öffentlich zugänglicher Post- und Telekommunikationsdienste.
Prädiktion	Mit Hilfe von künstlicher Intelligenz und einer breiten Datenbasis kann das Fahrzeug eine Vorhersage bspw. über die zu erwartende Verkehrsdichte tätigen und Fahrtroute oder auch Geschwindigkeit entsprechend anpassen.
PBefG	Das Personenbeförderungsgesetz regelt die Beförderung von Personen.
PUDO	Pick-up & Drop-Off-Point oder Abhol-/Absetzpunkte eines öffentlich-zugänglichen Fahrbetriebs
RSU	Road-Side Units spielen eine entscheidende Rolle, da sie die Informationen über die Fahrzeug-zu-Infrastruktur erhalten und an die richtigen Verkehrsteilnehmer weiterleiten.
SAE	Society of Automotive Engineers (intern. Verband Automobilingenieure). Zur Beschreibung der Automatisierungsstufen von straßengebundenen Fahrzeugen wird überwiegend das Klassifikationssystem der Society of Automotive Engineers (SAE) verwendet.
Sektorbetrieb	Ein Sektorbetrieb, oder auch Korridorbetrieb, ist ein richtungsgebundener Fahrbetrieb, wobei sich der Fahrtverlauf infolge der Fahrtwünsche ergibt. Der Sektorbetrieb ist auf einen bestimmten Punkt ausgerichtet und bedient die Fahrtwünsche eines gut abgrenzbaren Bedienungsgebiets (Sektor).
Servicepersonal	Bei dem Servicepersonal handelt es sich um Personen, die den Fahrgästen Hilfestellung anbieten z.B. bei Auskünften zu Fahrzeug und Haltepunkte, beim Ein- und Ausstieg oder ähnliches.

Sicherheitsfahrer	Der Sicherheitsfahrer, auch Operator oder Stewart genannt, ist weniger für die Quer- und Längsführung des Fahrzeugs oder die Umgebungsbeobachtung verantwortlich, als vielmehr als Rückfallebene im Fahrzeug.
StVG	Das Straßenverkehrsgesetz ist die gesetzliche Grundlage des Straßenverkehrsrechts in Deutschland.
StVO	Die Straßenverkehrsordnung regelt das Verhalten im Straßenverkehr (u.a. Straßenbenutzung, Geschwindigkeitsbegrenzung) sowie die Klassifikation der Verkehrszeichen und andere Verkehrseinrichtungen.
StVZO	Die Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung regelt die Zulassung von Fahrzeugen im Allgemeinen, die Betriebserlaubnis und Bauartgenehmigung sowie die Bau- und Betriebsvorschriften.
UN/ECE	Die Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen (United Nations Economic Commission for Europe) ist eine von fünf Regional-Kommissionen des Wirtschafts- und Sozialrates der Vereinten Nationen. Hauptziel ist die Förderung der pan-europäischen, wirtschaftlichen Integration.
Vernetztes Fahren	Weiterentwicklung des automatisierten Fahrens. Beinhaltet die Kommunikation der Verkehrsteilnehmer miteinander und mit der Infrastruktur. Hierfür wird eine flächendeckende Kommunikationstechnologie benötigt.
V2I-Kommunikation	Fahrzeug-zu-Infrastruktur-Kommunikation (Vehicle-to-Infrastructure), dabei handelt es sich um die drahtlose Kommunikation der Fahrzeuge mit Infrastruktureinrichtungen wie Funkbaken und Lichtsignalanlagen.
V2V-Kommunikation	Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation (Vehicle-to-Vehicle), dabei handelt es sich um den direkten Informationsaustausch zwischen fahrenden Fahrzeugen.

### **3 Automatisiertes, vernetztes und elektrisches Fahren im ÖPNV**

Der öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) steht vor großen Herausforderungen in Hinblick auf Zugänglichkeit, Sicherheit, Kosten sowie Servicequalität und Umweltwirkung.

Die zunehmende Urbanisierung wird die Nachfrage nach Mobilitätsangeboten im städtischen Raum weiterhin erhöhen. Kapazitätsengpässe sind vorprogrammiert. Wenn die Verkehrseffizienz nicht erhöht wird, führt dies zu einer Verschärfung der Flächen- und Nutzungskonkurrenz. Die Folge sind volle Straßen und Stellplätze, überfüllte Busse und Bahnen.

Gegenteilige Entwicklungen zeichnen sich im ländlichen Raum ab. Infolge des demografischen Wandels und einer damit einhergehenden Ausdünnung von Versorgungsstrukturen wird die Verkehrsnachfrage trotz eines teilweise individuell höheren Verkehrsaufwandes abnehmen. Ein wirtschaftlicher Einsatz von öffentlichen Verkehrsmitteln für den kollektiven Personentransport wird somit immer schwerer, da die Möglichkeiten zur Nachbündelung begrenzt sind.

#### **Visionen & Erwartungen – Möglichkeiten des Fahrzeugeinsatzes im ÖPNV**

Technologische Fortschritte bei der Automatisierung, Vernetzung und Elektrifizierung von Fahrzeugen bieten dem öffentlichen Personennahverkehr die Chance, Beförderungsleistungen kostengünstiger, bedarfsgerechter und damit nutzerfreundlicher als heute anzubieten. Denn die mit dem Wegfall des Fahrpersonals verbundenen Kosteneinsparungen und die Aufhebung von personellen Restriktionen (Einhaltung von Arbeitszeiten, krankheitsbedingter Ausfall und sonstiger Fahrermangel) ebenso wie der Einsatz kleinerer Fahrzeuggrößen ermöglichen ein zusätzliches oder auch flexibleres Angebot im öffentlichen Verkehr (ÖV). Vor allem in Räumen, wo eine Bedienung mit dem ÖPNV-Linienverkehr bisher wirtschaftlich nicht vertretbar möglich war, eröffnen automatisierte und vernetzte Kleinbusse neue Mobilitätsoptionen. Sie können den ÖPNV dort ergänzen, wo sich im derzeitigen ÖV-System eine Lücke in der Bedienung auftut: auf der ersten und letzten Meile, also dem Zu- bzw. Abbringerverkehr zu (übergeordneten) Haltepunkten und als bedarfsgerechte Beförderung mit (virtuellen) Haltestellen oder als Tür-zu-Tür-Bedienung z.B. im ländlichen Raum oder zu Nachtzeiten. Sie können nicht nur bislang schlecht erschlossene Gebiete an den ÖPNV anbinden, sondern auch neue Kundengruppen erschließen.

Wenn die Fahrzeugflotte in ein leistungsfähiges, öffentliches Verkehrssystem integriert ist, können individuelle Mobilitätsbedürfnisse der Nutzer und kommunale Interessen mit dem Ziel eines nachhaltigen Mobilitätsangebots gekoppelt werden. Bei gleichzeitiger Elektrifizierung der Flotte kann die Beförderung noch dazu lokal emissionsfrei und leise stattfinden. Wenn die öffentliche Fahrzeugflotte ein so attraktives Angebot aufweist, dass auch Autofahrer ihren Privatwagen stehen lassen, dann lässt sich der Verkehrsflächenverbrauch deutlich reduzieren und die Aufenthaltsqualität der Städte erhöhen.

## **Status Quo – Sammeln von Erfahrungen in Testbetrieben**

Damit diese Visionen des automatisierten, vernetzten und elektrischen Fahrens im öffentlichen Verkehr in den kommenden Jahrzehnten Wirklichkeit werden können, bedarf es jedoch noch weiterer technischer und betrieblicher Erprobungen und Fortentwicklungen. Dialogprozesse mit Bürgern und Beschäftigten von Verkehrsunternehmen zur Steigerung der Akzeptanz ebenso wie rechtliche Anpassung sind eine Voraussetzung für die erfolgreiche Einführung und Nutzung von fahrerlosen Beförderungsleistungen. Eine übergeordnete Strategie mit Maßnahmen zur Zielerreichung auf Bundes-, Landes- wie auch auf kommunaler Ebene ist unerlässlich. Daher wird der Fahrzeugeinsatz derzeit in etlichen deutschen und ausländischen Kommunen getestet. Auch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) fördert den Einsatz von Kleinbussen an mehreren Standorten.

In Deutschland starteten die ersten größeren Testbetriebe zum Einsatz automatisierter Kleinbusse auf Privatgelände in 2016 (z.B. Leipzig, EUREF-Campus Berlin). Im Jahr 2017 folgten weitere Vorhaben z.B. Bad Birnbach und Frankfurt am Main. In den Jahren 2018 und 2019 starteten dann weitere Projekte mit Fahrzeugeinsatz im ländlichen, öffentlichen Raum (z.B. Kreis Nordfriesland, Lauenburg/Elbe, Landkreis Ostprignitz-Ruppin) wie auch in urbanen Umgebungen (z.B. Berlin, Hamburg, Karlsruhe, Mannheim).

Anders als in Deutschland gibt es bereits seit Ende der 1990er Jahre Fahrzeugeinsätze mit automatisierten Bussen im Ausland. Selbstfahrende Kleinbusse werden seit 1997 am Flughafen Amsterdam - Schiphol als Personentransportsystem eingesetzt. Ein erster Testbetrieb für automatisiertes Fahren startete 1995 zur Anbindung des Rotterdamer Stadtteils Capelle aan den IJssel. Weitere Testbetriebe folgten seit 2002 in verschiedenen niederländischen Städten. In 2012 ging das Podcar-System am Londoner Flughafen Heathrow (Großbritannien) mit Shuttle-Fahrzeugen, die auf einem gesonderten Fahrweg fahren, in Betrieb. Im selben Jahr startete auch das EU-Projekt CityMobil2 mit Testbetrieben in Finnland, Frankreich, Italien, Schweiz, Spanien und Griechenland (2012-2016). Umfangreiche Fahrzeugeinsätze erfolgten u.a. in Finnland (2016/2017), Frankreich (seit 2016), in Sitten/Schweiz (2015-2017) und in Koppl/Österreich (2017) sowie in den Vereinigten Arabischen Emiraten (seit 2010) und den USA (seit 2013).

Weitere Testbetriebe werden in den kommenden Jahren noch folgen ehe fahrerlose Fahrzeugsysteme die Personenbeförderung übernehmen werden.

## 4 Informationen zum Projekt LEA(Klein-)Bus

Erste Testbetriebe zeigen anhand von Einzelfällen auf, wie der Einsatz von automatisierten Kleinbussen durchgeführt werden kann und welche Schwierigkeiten noch bestehen. Theoretische Studien mit Simulationsrechnungen zu automatisierten Ridesharing, wie sie beispielsweise für die Großstädte Lissabon, Stuttgart und Oslo bestehen, zeigen maximale Verlagerungspotenziale durch fahrerlose, geteilte Mobilitätsdienstleistungen (vgl. ITF/OED 2015, Universität Stuttgart 2016, COWI, PTV 2019).

Im Rahmen des Projekts „LEA(Klein-)Bus - Erforschung der Voraussetzungen und Einsatzmöglichkeiten von automatisiert und elektrisch fahrenden (Klein-)Bussen im ÖPNV“ wurden die Erfahrungen aus verschiedenen Fahrzeugeinsätzen und Theoriestudien mit Erkenntnissen aus eigenen Befragungen und Modellrechnungen zusammengebracht, um die Anforderungen, Gestaltungsmöglichkeiten und Folgen eines Einsatzes von automatisiert, vernetzt und elektrisch betriebenen (Klein-)Bussen zu untersuchen und weitere Handlungsbedarfe zu identifizieren.

Dazu arbeitete die PTV Planung Transport Verkehr AG während des Projektzeitraums von September 2017 bis August 2019 mit der PTV Transport Consult GmbH, dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und Rödl & Partner GbR Rechtsanwälte Steuerberater Wirtschaftsprüfer zusammen.

Neben einer umfassenden Literatur- und Internetanalyse wurden 30 halbstandardisierte Experteninterviews und eine quantitative, deutschlandweite Onlinebefragung mit mehr als 1.000 Teilnehmern zur Akzeptanz von automatisierten Kleinbussen durchgeführt. 26 Nutzer des Testbetriebs in Bad Birnbach wurden im Rahmen des Projektes zu ihren Erfahrungen und Erwartungen befragt. Knapp 50 Genehmigungsbehörden sind zu der Art der Genehmigung typengemischter Verkehre befragt worden.

Die Simulation von Einsatzbeispielen mit einem Verkehrsmodell zeigte die Anforderungen an Flottengröße und die ökonomischen sowie verkehrlichen Auswirkungen von Bedarfs- und Linienverkehren in unterschiedlichen Raum- und Siedlungsstrukturen. Die Modellrechnungen dienten der Untersuchung von künftigen Einsatzmöglichkeiten automatisiert und elektrisch fahrender (Klein-)Busse als Bestandteil des ÖPNV. Die Modellrechnungen simulierten den Fahrzeugeinsatz im Linien- und Bedarfsverkehr für verschiedene Anwendungsfälle basierend auf realen Nachfragedaten.

Die erzielten Erkenntnisse wurden sowohl mit dem Auftraggeber als auch in mehrere Fachworkshops mit Experten überprüft und ergänzt. Die Informationen zu spezifischen Einsätzen von automatisierten ÖPNV-Fahrzeugen sind in Steckbriefen dokumentiert und können auf den Internetseiten des BMVI abgerufen werden. Die Anforderungen und Rahmenbedingungen zum Einsatz automatisierter, vernetzter und elektrisch betriebener Fahrzeuge im ÖPNV flossen in diese Handreichung.

## 5 Ziel und Aufbau der Handreichung

Diese Handreichung dient dazu, unternehmens- und ortsunabhängige Empfehlungen für den Einsatz automatisiert, vernetzt und elektrisch fahrender (Klein)Busse integriert in den ÖPNV zu geben. Der Begriff (Klein-)Busse umschreibt dabei Fahrzeuge zur öffentlichen Personenbeförderung in Pkw, Klein- und Standardbussen. Sie richtet sich an Landkreise, Kommunen und Mobilitätsanbieter, die sich auf die Automatisierung, Vernetzung und Elektrifizierung im Straßenverkehr vorbereiten wollen oder den konkreten Einsatz automatisierter, vernetzter Fahrzeuge planen.

Der Erfolg des Fahrzeugeinsatzes hängt maßgeblich davon ab, ob und wie Informationen zur Einführung eines möglichen Systemwechsels weitergegeben werden, wie betroffene Personen in den Prozess eingebunden werden und wie die spezifische Ausgestaltung der Fahrzeuge und des Beförderungsangebotes den örtlichen Rahmenbedingungen angepasst ist. Eine frühzeitige Beschäftigung mit dem Thema, den Einsatzziele und der Planung von automatisierten und vernetzten Fahrzeugen im ÖPNV bildet daher eine gute Voraussetzung, die künftig zu erwartenden Herausforderungen erfolgreich zu meistern, die technologischen Entwicklungsleistungen zu nutzen und aktiv zu gestalten. Die Entwicklung einer klaren Vision, einer Strategie mit Zielen und nach Relevanz und Dringlichkeit gestuften Maßnahmen helfen auf diesem Weg. Doch Strategieentwicklung, die Flottenerneuerung und Infrastrukturanpassungen, die Genehmigung von Einsatzfahrzeugen und Einsatzfeldern erfordern ein frühzeitiges Planen und ein langfristiges Handeln. Die vorliegende Veröffentlichung soll dabei helfen, einen integrierten Planungsansatz, der sowohl ressortübergreifend angelegt ist als auch verschiedenste Stakeholder und Verkehrsteilnehmer berücksichtigt, zu entwickeln. Daher werden im Folgenden acht thematisch abgegrenzte Bausteine behandelt:

1. Baustein Fahrzeugtechnik
2. Baustein IT- und Verkehrsinfrastruktur
3. Baustein Betriebliche Effekte
4. Baustein Wirtschaftlichkeit
5. Baustein Einsatzfelder und Bedienformen
6. Baustein Systemakzeptanz
7. Baustein Rechtlicher Rahmen
8. Baustein Marktentwicklung und Geschäftsfelder

Je Baustein werden zu Anfang die zentralen Botschaften des Themenfeldes dargestellt. Im Anschluss werden die Anforderungen erläutert. Während die heute im Einsatz befindlichen automatisierten Kleinbusse nach dem gängigen Klassifizierungssystem der Automatisierungsstufen nach der Society of Automotive Engineers aus den USA das Level 3 „bedingte Automatisierung“ kaum überschreiten, so ist künftig damit zu rechnen, dass Fahrzeuge mit „hoher und voller Automatisierung“ (SAE-Level 4/5) keinen Sicherheitsfahrer benötigen (vgl. Exkurs: Stufen der Automatisierung). Sie bieten daher auch ganz andere Voraussetzungen für den Fahrbetrieb als Fahrzeuge, in denen Personal eingesetzt wird. Daher werden die beschriebenen Anforderungen für den heutigen Einsatz mit den bestehenden Fahrzeug-Prototypen und für den künftigen

Einsatz mit selbstfahrenden Fahrzeugen differenziert dargestellt. Sofern innerhalb der Bausteine Gestaltungsoptionen bestehen, werde diese samt ihren Effekten betrachtet. Mögliche Handlungsempfehlungen runden die jeweiligen thematischen Bausteine ab.

Da auf dem Weg zum vollautomatisierten und vernetzten Fahren noch etliche Unwägbarkeiten bestehen, wird davon abgesehen, konkrete zeitliche Prognosen zur Anpassung des Rechtsrahmens oder zur technischen Reife der Fahrzeuge bzw. deren Markteintritt zu benennen.

## Exkurs: Stufen der Automatisierung

Zur Beschreibung der Automatisierungsstufen von straßengebundenen Fahrzeugen wird überwiegend das Klassifikationssystem der Society of Automotive Engineers (SAE) verwendet (siehe SAE International 2016). Auch im Rahmen dieser Studie wurde das Klassifizierungssystem der SAE verwendet:

SAE-Level	Name	Beschreibung	Quer- und Längsführung	Umgebungsbeobachtung	Rückfallebene
0	keine Automatisierung (No Automation)	Fahrer fährt eigenständig, auch wenn unterstützende Systeme vorhanden sind	Fahrer	Fahrer	keine
1	Assistenzsysteme (Driver Assistance)	Fahrerassistenzsysteme helfen bei Längs- oder Querführung des Fahrzeugs	Fahrer & System	Fahrer	Fahrer
2	Teilautomatisierung (Partial Automation)	Fahrerassistenzsysteme helfen bei Längs- und Querführung des Fahrzeugs	System	Fahrer	Fahrer
3	Bedingte Automatisierung (Conditional Automation)	System steuert das Fahrzeug, der Fahrer muss bei Anforderung eingreifen	System	System	Fahrer
4	Hochautomatisierung (High Automation)	Automatisierte Führung des Fahrzeugs in spezifischen Fahrumgebungen	System	System	System
5	Vollautoamtisierung (Full Automation)	Vollständige Steuerung des Systems auf jeder Fahrbahn und Umgebungsbedingung	System	System	System

## 6 Baustein Fahrzeugtechnik

### Zentrale Botschaften

- ▶ Hohe Sicherheit bei den aktuellen Testbetrieben, dennoch muss die Sicherheit automatisierter Fahrzeuge stetig optimiert werden. Hierzu zählen:
  - Redundanz der Systeme
  - Innenraumsicherheit
  - Zuverlässigkeit
  - Resilienz
  - Datensicherheit
- ▶ Fahrzeughöchstgeschwindigkeit und die Reichweite müssen weiter verbessert werden
- ▶ Automatisierte Fahrzeuge müssen diskriminierungs- und barrierefreien Zugang ermöglichen
- ▶ Fahrzeuginnenraum muss ansprechend und sicher gestaltet werden
- ▶ Fahrzeuge müssen ab Hersteller der StVZO entsprechen
- ▶ Zukünftige Fahrzeuggenerationen müssen Hindernisse eigenständig umfahren können
- ▶ Vernetzung der Fahrzeuge ist für das automatisierte Fahren nicht notwendig, aber für einen energieverbrauchs- und nutzeroptimierten Betrieb erforderlich

### 6.1 Technische Reife der Fahrzeuge

#### Erfahrungen beim Fahrzeugeinsatz

Derzeit liegen zwischen der Vision eines selbstfahrenden Fahrzeugeinsatzes im ÖPNV und dem technischen Status Quo der Fahrzeuge noch etliche Entwicklungsschritte. Daher gibt das folgende Kapitel zu Beginn einen Überblick über den aktuellen Stand der Technik und die bisher gemachten Erfahrungen, anschließend werden die Anforderungen an die Fahrzeugtechnik näher beleuchtet, die sich für einen technisch reibungslosen Fahrbetrieb ergeben.

Die bislang durchgeführten Fahrzeugeinsätze und die Ergebnisse der Experteninterviews zeigten auf der einen Seite, dass die Fahrzeugtechnik noch nicht ganz ausgereift ist. Nach einer großen Hype sind auch in der Presse erste Ernüchterungserscheinungen wahrzunehmen. So will sich das Unternehmen Navya aus dem Geschäft mit den Minibussen zurückziehen, General Motors verschiebt den geplanten Einsatz der vollautonomen Fahrzeuge auf unbestimmte Zeit (vgl. BusinessWire 2019, Dahlmann 2019). Mehrfach kam es beispielsweise zu ruckartigem Bremsen durch fehlerhafte Hinderniserkennung. Die Hindernisumfahrung oder auch das Signal zum Fortsetzen der Fahrt musste überwiegend manuell durch den Sicherheitsfahrer erfolgen. Ein

vollautomatisierter Fahrzeugeinsatz (Automatisierungsstufe 5 nach SAE) ist derzeit technisch nicht möglich. Das Zusammenspiel zwischen Fehlererfassung, Fehlerdeutung und automatisierter Lösung ist noch verbesserungswürdig. Auch die heute realisierbaren Geschwindigkeiten weichen stark von den Anforderungen eines Regelbetriebs ab.

Auf der anderen Seite führten positive Erfahrungen mit Testbetrieben im Ausland bereits vereinzelt zur Überführung der Erprobungsfahrten in einen Regelbetrieb. Diese erfolgreichen Fahrzeugeinsätze finden in wenig komplexen Verkehrssituationen, teils mit gesonderter Fahrspur statt.

### **Bewertung des derzeitigen Fahrzeugangebots**

Die derzeitige Fahrzeugtechnik und das Fahrzeugangebot sind nach Meinung der befragten Experten heute noch unzureichend. Die Fahrzeugtechnik ist mit heutigem Stand noch ein großes Hemmnis für einen Regelbetrieb mit vollautomatisierten Fahrzeugen. Die klare Stellungnahme der Experten ist, dass die Fahrzeuge die **erforderlichen technischen Anforderungen bislang nicht erfüllen**. Einige Experten berichteten, dass die Fahrzeuge für den Einsatz in Testbetrieben in der Regel mit zusätzlicher Sensorik und Aktorik ausgestattet wurden.

Die Gründe dafür, dass die Fahrzeuge bislang nicht die Mindestanforderungen für einen hoch- und vollautomatisierten Betrieb erfüllen, sind vielschichtig. Die am Markt erhältlichen Fahrzeuge entsprechen nicht der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO). So müssen Bremsanlagen umgerüstet, Hupe und Signalanlage müssen zudem verbaut werden, Rückhaltesysteme für den Transport von Kindern fehlen, u.v.a.m.. Vor allem wird bemängelt, dass die Fahrzeuge eine manuelle Eingabe der Strecke benötigen. Das führt dazu, dass eine automatische Hindernisumfahrung (ohne den Eingriff des Sicherheitsfahrers) nicht möglich ist.

Ferner wird kritisiert, dass die Fahrzeuge zu langsam fahren, was nicht ausschließlich an den Fahrzeugen, sondern auch an den rechtlichen Rahmenbedingungen der Zulassung liegt. Die in Deutschland zugelassene **Geschwindigkeit** wird als relevantes Hemmnis für den Fahrzeugeinsatz genannt, denn die Anforderungen an einen Bus im ÖPNV-Regelbetrieb werden dadurch nicht erfüllt (siehe Baustein rechtlicher Rahmen Kapitel 12).

Auch wird ein **unzureichendes Sicherheitskonzept** bemängelt, für einen Regelbetrieb wird eine dreifache Redundanz benötigt, welche die bisher erhältlichen Fahrzeuge nicht bieten. Abschließend sei auch hier nochmals auf die mangelnde Barrierefreiheit und die zu hohen Beschaffungskosten verwiesen.

Öffentlichen Verkehr muss zukünftig lokal emissionsfrei erfolgen. Aus diesem Grund sind **elektrische Antriebe** die erste Wahl für alle zukünftigen Mobilitätslösungen. Unter der Annahme, dass durch die aktuelle Forschung und die steigende Nachfrage die Kosten von Batterien weiterhin sinken, die Reichweite der Fahrzeuge zunehmen und ein verstärkter Ausbau der öffentlich zugänglichen und betriebseigenen Ladenetze erfolgen wird, ist davon auszugehen, dass zukünftig weit überwiegend oder ausschließlich Elektrofahrzeuge zum Einsatz kommen. Bei nahezu allen eingesetzten Fahrzeugen handelt es sich um elektrisch betriebene Batteriefahrzeuge. In der Regel erfolgt in der Literatur keine Angabe zur Ladetechnik, jedoch wurde das Laden mit Hilfe von Induktion als Möglichkeit genannt, wenngleich zumeist die Elektrofahrzeuge über Kabel (konduktiv)

geladen wurden. Die Reichweite der Fahrzeuge ist dabei sehr stark vom Einsatzort und der Einsatzart abhängig und liegt bei einer Ladedauer zwischen 9 bis 14 Stunden bzw. einer Reichweite von 50 bis 100 Kilometern. Einen sehr großen Einfluss auf die Fahrzeugreichweite haben sämtliche Komfortleistungen im Fahrzeug. Allem voran Heizung und Klimaanlage, auf welche weder aus Kunden- noch aus Anbietersicht verzichtet werden kann.

Fahrzeughersteller	Sitz- und Stehplätze	Reichweite bzw. mittlere Fahrzeit	Fahrgeschwindigkeit
NAVYA	11 Sitzplätze, 4 Stehplätze	9 Stunden Betriebszeit	25 km/h (elektronisch abgeregelt)
EasyMile	15 Plätze	bis zu 16 Stunden Betriebszeit	25 km/h (elektronisch abgeregelt)
Local Motors	Bis zu 12 Plätze	bis zu 60 km Reichweite	40 km/h
HFM – Hanseatische Fahrzeug Manufaktur GmbH	9 Plätze inkl. Sicherheitsfahrer	bis zu 150 km Reichweite	bis zu 100 km/h
2getthere	8 Sitzplätze, 14 Stehplätze	bis zu 50 km Reichweite	60 km/h

Tabelle 1: Informationen zu ausgewählten Kleinbustypen (entspricht den Angaben der Fahrzeughersteller Navya 2019, EasyMile 2019, Local Motors 2019, HFM 2019, 2getthere 2019)

## 6.2 Empfehlungen zu erforderlichen Fahrzeugtechnik

### Sicherheit und Zuverlässigkeit der Fahrzeuge

Als wichtigste Anforderung wurde im Rahmen der Expertenbefragung das Sicherheitskonzept genannt. Wobei Sicherheit zum einen für die Sicherheit des Fahrbetriebs steht (Redundanz), zum anderen für die Innenraumsicherheit, welche das subjektive Sicherheitsempfinden der Insassen beeinflusst. Für letztere werden beispielsweise Konzepte zur Verbrechensvorbeugung angesprochen, aber auch Fragestellungen wie „Wer hilft, wenn es einem Insassen nicht gut geht?“. In Bezug auf die Redundanz von Signalisierung und Sensorik, welche gesetzlich vorgeschrieben und notwendig ist, wird von den Experten hinterfragt, inwiefern eine zweifache oder dreifache Redundanz notwendig ist, und wie diese erreicht werden kann. Beispielhaft wird hier eine Redundanz durch den Abgleich verschiedener Sensoren genannt. Denkbar sei aber auch eine getrennte Energieversorgung. Eine dreifache Redundanz ist damit zu begründen, dass so immer eine 2:1-Entscheidung gefällt werden kann und keine Patt-Situation entsteht. Dabei muss aber zwingend berücksichtigt werden, dass Notsituationen lediglich durch ein Systemteil erkannt werden müssen, um direkt zu einer Entscheidung zu führen. Wenn also ein Sensor ein Hindernis erkennt und die anderen Ebenen dieses (noch) nicht erkannt haben, muss trotzdem aus Sicherheitsgründen sofort eine Umfahrung oder Bremsung eingeleitet werden. Neben der vorgeschriebenen Redundanz der Sensorik

müssen natürlich auch die Energieversorgung und die Lokalisierungstechnologien redundant sein.

Betrachtet man die Sicherheit und Zuverlässigkeit automatisierter Systeme, kommt häufig auch die Frage auf, wie diese sich im Fall von Regelüberschreitungen verhalten können und müssen. Hierunter versteht man beispielsweise das Verhalten an einer roten Ampel, wenn von hinten ein Rettungsfahrzeug mit blauem Blinklicht und Einsatzhorn naht. Das automatisierte Fahrzeug muss in diesem Beispiel im Stande sein, eine Rettungsgasse zu bilden.

Ebenso relevant ist die Zuverlässigkeit der Fahrzeuge. Der Kunde möchte natürlich einen reibungslosen Fahrtablauf. Eine Voraussetzung hierfür ist, dass die Fahrzeugreichweite für alle Witterungen ausreichend sein muss, aber auch, dass unnötige Fahrtunterbrechungen durch fehlerhafte Objekterkennung ausbleiben. Auf Seiten der Experten wurde hier der Wunsch geäußert, dass die Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen (englisch United Nations Economic Commission for Europe (UNECE)) die entsprechenden Rahmenbedingungen und Voraussetzungen festlegen sollte. Eine Einsatzfähigkeit bei Starknebel, -regen oder auch Schnee sollte durch die Fahrzeuge gewährleistet sein. Die Automatisierungstechnologie der Fahrzeuge stößt hier derzeit jedoch noch an ihre Grenzen, aber auch die Elektrifizierung des Antriebstranges wirkt infolge der aktuell realisierbaren Reichweite, der bestehenden Ladeinfrastruktur, vor allem aber den Ladezeiten, beschränkend.

Insgesamt ist die Resilienz technischer Systeme zukünftig ein sehr wichtiger Forschungsschwerpunkt. Dies gilt vor allem auch für zukünftige Mobilitätslösungen. Resilienz kann dabei auf verschiedenen Ebenen gefordert werden:

- Fahrzeug → bei Ausfall eines Teilsystems muss das Fahrzeug fahrfähig bleiben
- ÖPNV-Betrieb → fällt ein Fahrzeug oder ein Teil der Infrastruktur aus, muss ein Weiterbetrieb möglich sein
- Mobilität als Ganzes → fallen einzelne ÖPNV-Angebote aus, muss ein ausreichendes Alternativangebot vorhanden sein

### **Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmern und der Infrastruktur**

Förderlich für den Einsatz der Fahrzeuge ist ein reibungsloser Datenaustausch (Karten- und Verkehrsdaten) sowie autark agierende Fahrzeuge, welche ohne Kommunikation mit der ortsfesten Infrastruktur auskommen. Grundsätzlich gehen in diesem Thema die Meinungen der Experten aber stark auseinander. Während die einen sagen, dass die Fahrzeuge komplett autark agieren müssen, ohne eine Kommunikation mit Lichtsignalanlagen, Knotenpunkten, Leitstellen usw., also auch ohne schnelle Datenverbindung, sind andere Experten davon überzeugt, dass es ohne diese Kommunikation nicht möglich sein wird, hoch- und vollautomatisierte Fahrzeuge auf die Straße zu bringen. Welcher der Varianten auf Dauer Einzug erhält, ist derzeit unklar.

Neben der Kommunikation mit der Infrastruktur muss sich die Entwicklung der Fahrzeuge zukünftig insbesondere auch mit der Kommunikation zwischen den verschiedenen Verkehrsteilnehmern beschäftigen. Wenn ein Fußgänger, der an einer Querungshilfe steht, das Fahrzeug vorbeiwinkt, weil er die Straße nicht überqueren möchte, hält das automatisierte Fahrzeug der heutigen Generation und kann das Handzeichen nicht

interpretieren. Ebenso wenig versteht das Fahrzeug das Gewähren der Vorfahrt durch Handzeichen, weil der eigentlich Vorfahrtsberechtigte beispielsweise auf Grund eines Staus nicht in die Straße einfahren kann. Die nonverbale Kommunikation, welche heute viele Verkehrssituationen regelt, funktioniert im automatisierten Verkehr, insbesondere im Fall des Mischbetrieb bislang nicht.

### **Geschwindigkeit, Fahrzeugreichweite und Energieverbrauch**

Hinsichtlich der Geschwindigkeit der Fahrzeuge muss eine weitere Anpassung an den Realverkehr erfolgen. Hierfür sind vor allem zwei Gründe anzuführen. Zum einen kann eine zu niedrige Geschwindigkeit zu sinkender Akzeptanz und Nutzung führen. Dies ist vor allem darin begründet, dass hierdurch zu lange Fahrzeiten entstehen und die Nutzer auf andere Mobilitätslösungen umsteigen. Zum anderen sind zu hohe Differenzgeschwindigkeiten zum bestehenden Verkehr im Mischbetrieb hinderlich. Soll ein automatisiertes Fahrzeug beispielsweise im ländlichen Raum eingesetzt werden, darf das Fahrzeug auf Überlandstrecken durch die anderen Verkehrsteilnehmer nicht als Verkehrshindernis gesehen werden, weil die Differenzgeschwindigkeit zu hoch ist. Auch das Einbiegen auf eine Landstraße oder innerorts auf Straßen, die für 60 oder 70 km/h zugelassen sind, erweist sich als schwierig, wenn die Differenzgeschwindigkeit zu hoch ist.

Die Reichweite heute angebotener Fahrzeuge hat sich in vielen Fällen als ausreichend erwiesen. Die notwendige Fahrzeugreichweite muss allerdings immer auf den Bedarfsfall angepasst werden. Dabei wird die geforderte Fahrzeugreichweite nicht nur durch die Streckenlänge beeinflusst. Relevant sind auch Faktoren wie die Betriebszeit, also die Fahrdauer zwischen möglichen Ladepunkten und die Auslastung, welche das Fahrzeuggesamtgewicht beeinflusst. Eine Auslegung des Fahrzeuges kann somit nicht nur streckenlängenbezogen erfolgen, sondern muss für das spezielle Einsatzfeld und die konkrete Betriebsform individuell vorgenommen werden (siehe Baustein Einsatzfelder und Bedienformen Kapitel 10).

Wichtige Informationen aus den Einsatzfeldern sind hierbei:

- maximale Streckenlänge zwischen Ladepunkten
- maximale Fahrdauer zwischen Ladepunkten
- mittlere gefahrene und maximale Geschwindigkeit (Fahrprofil)
- Standzeiten
- Topografie

Die topografischen Bedingungen können in der Tat ein Risiko für den Einsatz automatisierter und elektrischer Fahrzeuge sein. So sind größere Steigungen für vollbesetzte Fahrzeuge mit Elektroantrieb eine Herausforderung. Beispielsweise musste der Kleinbus „Digibus“ in Koppl bei mehrfach vollbesetzter Befahrung der Strecke einen Halt einlegen, um die erhitzte Batterie abkühlen zu lassen. Um solchen Überhitzungen im weiteren Testverlauf vorzubeugen, hat der Fahrzeughersteller ein Gebläse zur Kühlung des Elektroantriebs eingebaut (vgl. Zankl, Rehrl 2018, S. 38). Abgesehen davon zeigt ein Elektroantrieb bei Steigungen einen höheren Stromverbrauch, der teils durch Rekuperation beim Herabfahren „zurückgewonnen“ werden kann, sich aber

möglicherweise auch in einem vermehrten Aufladen der Batterie äußern wird. Dementsprechend müsste die Lokalisierung der Ladeinfrastruktur sowie die Ladegeschwindigkeit und die Einsatzplanung angepasst werden. Eine alternative Lösungsmöglichkeit ist die Auswahl von Strecken mit niedriger Steigung, dies kann aber nicht immer gewährleistet werden. Auch Steigungswinkel an Haltestellen sind für einen reibungsfreien Halt und einen sicheren Einstieg spielen eine Rolle. Kleinere Straßenunebenheiten haben sich bisher jedoch nicht als Problem herausgestellt.

Insgesamt ist der Energieverbrauch von Fahrzeugen mit Automatisierungstechnologie heute deutlich höher, als der Verbrauch vergleichbarer konventioneller Fahrzeuge. Dies ist im hohen Verbrauch der Automatisierungstechnologie begründet. Aktuell ist der Energieverbrauch der Automatisierung ähnlich hoch wie der Verbrauch für die Fahraufgabe im innerstädtischen Betrieb. Mit fortschreitender Modernisierung und Weiterentwicklung der Systeme wird erwartet, dass dieser erhöhte Gesamtverbrauch sinkt. Solange automatisierte Fahrzeuge im Mischbetrieb eingesetzt werden, greifen die Vorteile der Automatisierung, welche zu Einsparpotenzialen durch Prädiktion und Anpassung an die verkehrlichen Rahmenbedingungen führen, noch nicht in vollem Umfang. Sobald es zu einer höheren Einsatzrate automatisierter Fahrzeuge kommt, können durch die V2V- und V2I-Kommunikation diese Einsparpotentiale zusätzlich genutzt werden.

### **Fahrzeuginnenraum**

In heutigen ÖPNV-Verkehrsmitteln sind Klimaanlage und Heizungen Standard und häufig in den Nahverkehrsplänen festgeschrieben (vgl. Verkehrsverbund Karlsruhe 2014, S. 28). Wenn also automatisierte (Klein-)Busse im ÖPNV eingesetzt werden sollen, müssen diese komfortrelevanten Systeme auch serienmäßig verbaut werden. Der Innenraum- bzw. Insassenkomfort kann darüber hinaus durch verschiedene weitere Maßnahmen, beispielsweise Farbwahl, Sitzausstattung und Geräuschoptimierung verbessert werden. Diese Maßnahmen verbessern das Wohlbefinden der Nutzer und werden somit die Akzeptanz der Fahrzeuge allgemein erhöhen, sind aber für den eigentlichen Betrieb nicht zwingend erforderlich. Wichtig ist, dass sämtliche komfortrelevante Maßnahmen den Energieverbrauch des Fahrzeugs erhöhen, und somit die Reichweite reduzieren. Dies gilt im direkten Fall, durch zusätzlichen Energiebedarf für Heizung oder Klimatisierung, aber auch im indirekten Fall, durch schlichte Gewichtserhöhung, welche beispielsweise durch komfortablere und damit in der Regel schwerere Sitze entsteht.



Abbildung 1: Beispiel für Fahrzeuginnenraum (KIT IfV)

Neben komfortrelevanten Systemen gehören vor allem sicherheitsrelevante Systeme im Fahrzeuginnenraum zu den technischen Anforderungen. Hierbei ist zu beachten, dass die (Klein-)Busse mit entsprechenden Rückhaltesystemen für alle Insassen ausgestattet sind.

Die Beförderungskapazität ist stark abhängig vom Einsatzraum. Wobei zu beachten ist, dass Stehplätze aktuell nicht genutzt werden dürfen, sodass bislang in den Fahrzeugen ausreichend Sitzplätze vorhanden sein müssen. Im Rahmen der Expertenbefragung wurde angesprochen, dass Kinder unter 3 Jahren nicht mitfahren und ältere Kinder grundsätzlich nur transportiert werden dürfen, wenn entsprechende Rückhaltesysteme vorhanden sind. Aus diesen Gründen ist eine rechtliche Anpassung und/oder auch eine Erweiterung der Fahrzeugtypen (Varianz in der Sitzplatzkapazität) erstrebenswert. Platooning-Lösungen, d.h. das Bilden von sog. Shuttle-Trains mit Führungsfahrzeug und Folgefahrzeugen, können hier eine Lösung bieten, ergeben aus Sicht der Experten für automatisierte Kleinbussen aber keine wesentlichen Vorteile. Der von den Experten geforderte Bedarf lässt sich in drei Größenordnungen clustern:

- Größe 1: 4-9 Sitze
- Größe 2: 8-15 Sitze
- Größe 3: ab 20 Sitze

## **Gewährleistung eines diskriminierungs- und barrierefreien Zugangs aus Nutzersicht**

Um dem Fahrzeug als Fahrgast den Aussteigewunsch zu signalisieren und das Fahrzeug zum Halten zu bringen, sind beispielsweise ein klassischer Haltewunsch-Knopf oder auch eine Sprachsteuerung im Fahrzeug denkbar. Außerdem sollte das Fahrzeug grundsätzlich mit einem Notrufknopf, wie in Aufzügen, ausgestattet sein.

Die Erfahrungen der Experten zeigen darüber hinaus, dass die Anforderungen hinsichtlich der Barrierefreiheit bei automatisiert und elektrisch fahrenden (Klein-)Bussen höher sind als an fahrergebundene Systeme, da eine mögliche Hilfestellung durch das Fahrpersonal nicht zur Verfügung steht. Natürlich müssen die eingesetzten Fahrzeuge eine gleichwertige Barrierefreiheit aufweisen wie konventionelle Fahrzeuge. Ein Multifunktionsbereich für Kinderwagen und Rollstühle wird ebenso benötigt wie Überwachungssysteme im Fahrzeug, um hilfsbedürftige Personen (Betrunkene, plötzlich stark erkrankte Menschen bspw. durch Herzinfarkt, etc.) zu erkennen. Eine besondere Herausforderung für Rampen besteht aufgrund der unterschiedlichen Höhen des Fahrbahnrandes, im Besonderen dann, wenn die Fahrzeuge ohne feste Haltepunkte eingesetzt werden.

## 7 Baustein IT- und Verkehrsinfrastruktur

### Zentrale Botschaften

- ▶ Erneuerung der kompletten Verkehrsinfrastruktur ist nicht notwendig, dennoch muss diese beständig gepflegt werden
  - Beseitigung von Pflanzenüberhängen an Verkehrsschildern
  - Instandhaltung von Lichtsignalanlagen, Beschilderung und Fahrbahnmarkierungen
  - Winterdienst
- ▶ Für die stetige Verfügbarkeit und Aktualisierung digitaler Karten muss eine IT-Infrastruktur (WLAN und/oder Mobilfunk) großflächig verfügbar sein
- ▶ Eine großflächige GPS-Abdeckung wird für die Eigenlokalisierung der Fahrzeuge benötigt
- ▶ Je nach Einsatzfeld/-ort muss die Ladeinfrastruktur angepasst bzw. ausgebaut werden
- ▶ Für den Demonstrationsbetrieb (derzeitiger Fahrzeugstand) können Anpassungen an der bestehenden Infrastruktur notwendig sein
- ▶ Topografische Bedingungen können die Einsatzzeiten und -möglichkeiten stark beeinflussen

In Bezug auf die Notwendigkeit von IT- und Verkehrsinfrastruktur besteht noch große Unsicherheit. In diesem Themenbereich gehen auch die Meinungen der Experten am stärksten auseinander. Es ist davon auszugehen, dass zusätzliche IT-Infrastruktur benötigt wird, auch wenn prinzipiell der Wunsch besteht, dass die Fahrzeuge vollständig „autark“ fahren.

Grundsätzlich muss hier zwischen automatisierter Mobilität einerseits und vernetzter Mobilität andererseits unterschieden werden. Automatisierte Mobilität kann ohne Kommunikation mit der ortsfesten Infrastruktur und ohne schnelle Datenverbindungen auskommen. Vernetzte Mobilität ist zwingend darauf angewiesen. Viele der interessanten Funktionen vollautomatisierter Fahrzeuge basieren aber auf der Idee der vernetzten Mobilität und können im Falle fehlender Infrastrukturkommunikation und flächendeckender Netzabdeckung nicht umgesetzt werden.

### 7.1 Empfehlungen zur IT-Infrastruktur

Die befragten Experten halten größtenteils eine vollständige Abdeckung des Verkehrsnetzes zur Datenkommunikation für unabdingbar, auch wenn zum aktuellen Stand noch nicht eindeutig gesagt werden kann, welche Technologie die richtige sein wird (5G, Virtual Local Area Network (V-Lan) o.ä.). Absehbar ist aber, dass eine vollständige Netzabdeckung vermutlich nicht gewährleistet werden kann, was jedoch in keinem Fall zu einem Fehlverhalten der Fahrzeuge führen darf. Es ist davon

auszugehen, dass kurze Abschnitte, insbesondere in dünn besiedelten, ländlichen oder sehr bergigen Gebieten, nicht vollständig über Netzanschluss abgedeckt sein werden. Die Fahrzeuge müssen also auch ohne die vollständige Abdeckung verkehrssicher bewegungsfähig sein.

Von den Experten wird gefordert, dass Lichtsignalanlagen (LSA) und Wechselschilder mit sogenannten Road-Site-Units (RSU) zur Kommunikation ausgestattet werden. Lichtsignalanlagen und Road-Site-Units erhalten Informationen über die Vehicle-to-Infrastructure-Kommunikation (V2I) und leiten diese an die Verkehrsteilnehmer weiter. Neben einer standardisierten Kommunikation von Fahrzeugen und Infrastruktur wird auch eine standardisierte Kommunikation von Fahrzeugen untereinander (Vehicle-to-Vehicle (V2V)) gefordert. Dabei muss die entsprechende Datensicherheit gewährleistet sein. Eine intelligente Vernetzung der Straßenleitsysteme ist zwar nicht zwingend erforderlich für vollautomatisierte Fahrzeugeinsätze, erhöht aber die Flexibilität und den Komfort und ist deshalb wünschenswert.

Ein sogenanntes Backend-System fungiert als Datendrehscheibe und stellt dem Fahrzeug alle relevanten Infrastrukturinformationen zur Verfügung. Es überwacht und steuert aber auch das Fahrzeug und seine Funktionen (Johanning, Mildner 2015). Diese Systeme funktionieren ausschließlich, wenn die Übertragungstechniken weiterentwickelt werden und eine standardisierte Bereitstellung erfolgt.

Verkehrsmanagementsysteme und -instrumente werden bei hoher Durchdringung des Marktes mit automatisierten Fahrzeugen in jedem Fall benötigt. Wer diese letztlich betreibt (Kommunen oder ÖPNV-Anbieter), wird sich ebenso zeigen müssen wie die Frage, welche Daten dort verwaltet werden (dürfen). Um diesen Wünschen gerecht zu werden, bräuchte man eine flächendeckende GPS-Positionsbestimmung und Datenübertragung mit hohem Mobilfunkstandard. Die Erfahrungen bei Testfahrten im österreichischen Koppl zeigten, dass aktuell keine zuverlässige Übermittlung von Daten der globalen Navigationssatellitensysteme (GNSS-Korrekturdaten) für die Positionierung des Fahrzeugs gegeben war. Ein möglicher Grund dafür wurde in der unzuverlässigen Datenübertragung gesehen (Zankl, Rehl 2018, S. 40). Ebenso können Häuserschluchten oder auch Alleen (vor allem in den Sommermonaten bei vollem Blattwerk) die GPS-Abdeckung negativ beeinflussen.

## 7.2 Empfehlungen zur Verkehrsinfrastruktur

Mit der aktuellen Straßeninfrastruktur kann das vollautomatisierte, vernetzte Fahren nicht umgesetzt werden. Kreuzungen, Ampelanlagen und Fußgängerüberwege müssten entsprechend angepasst werden ebenso wie Haltestellen, die Ladeinfrastruktur sowie die Beschilderung. Darüber hinaus muss die Infrastruktur besser gepflegt werden. Markierungsnormen müssen eingehalten werden, Sichtfelder und Verkehrszeichen müssen frei erkennbar sein, witterungsbedingte und abnutzungsbedingte Veränderungen der Fahrbahn müssen behoben werden. Baustellen müssen (bspw. durch Kartierung) bekannt sein. Gegebenenfalls ist es ratsam, insbesondere im ländlichen Raum, mangels GPS-Signalisierung für die LIDAR-Sensoren am Fahrzeug markante Punkte entlang der Strecke zu schaffen, wenn Anhaltspunkte wie Häuser und Bodenmarkierungen auf der Strecke fehlen (vgl. Zankl, Rehl 2018, S. 39).

Die Anforderungen an die Verkehrsinfrastruktur werden im Folgenden anhand zweier Beispiele gezeigt:

### **Bsp. Instandhaltung**

Abbildung 2 zeigt eine beschädigte Signalanlage. In diesem Fall handelt es sich um eine mehrspurige Straße. Der Autofahrer kann problemlos mit Hilfe der zweiten Signalanlage erkennen, wann die Ampel grün oder rot anzeigt. Technisch kann dies natürlich auch für das automatisierte Fahrzeug realisiert werden. Kann das Fahrzeug durch den Defekt an der Signalanlage aber nicht eindeutig zuordnen, welches Lichtsignal nun gilt und erfolgt keine direkte Kommunikation mit der LSA, würde das Fahrzeug im Zweifel an der Ampel auch in der Grünphase stehen bleiben.

Dieses Beispiel zeigt, wie wichtig eine dauerhafte Instandhaltung und schnelle Reparatur der Straßeninfrastruktur für den automatisierten Verkehr ist.



Abbildung 2: Beispiel einer defekten Signalanlage (KIT FAST)

### **Bsp. Witterungsbedingungen**

Die Abbildung 3 und Abbildung 4 zeigen anschaulich, dass durch Schneefall die Sicht auf Straßenmarkierungen stark eingeschränkt sein kann. Ebenso kann es bei bestimmten Witterungsbedingungen zu Beschlag kommen, wodurch bspw. Kamerasysteme in ihrer Funktion eingeschränkt werden. Dies macht nochmals deutlich, dass die Funktionalität automatisierter Fahrzeuge nicht nur von der Fahrzeugtechnik oder der Infrastruktur abhängt, sondern vor allem von der funktionierenden Zusammenarbeit beider Systeme.



Abbildung 3: Beispiel eingeschränkter Sicht der Straßenmarkierung durch Witterungseinflüsse (KIT FAST)



Abbildung 4: Beispiel eingeschränkter Sicht durch Beschlag an der Frontscheibe (KIT FAST)

### Ladeinfrastruktur

In Zukunft ist davon auszugehen, dass automatisierte (Klein-)Busse lokal emissionsfrei und damit elektrisch angetrieben werden. Ob dies über Akkumulatoren oder andere Speichermedien (bspw. Brennstoffzellen) erfolgt, wird die zukünftige Entwicklung der Elektromobilität zeigen. Im Besonderen im Fall des Einsatzes von Akkumulatoren muss aber nach derzeitigem Stand der Technik eine ausreichende Ladeinfrastruktur vorhanden sein. Die Art, konduktiv oder induktiv, und die Anzahl bzw. der Ort der Ladepunkte ist wiederum von Einsatzfeld und Betriebsform abhängig und kann nicht pauschal benannt werden.

## **Gewährleistung eines diskriminierungs- und barrierefreien Zugangs aus Nutzersicht**

Grundsätzlich wird angestrebt, dass die Nutzer On-Demand-Systeme mit Hilfe von mobilen Endgeräten anfordern. Zumindest für eine längere Übergangszeit werden nach Einschätzung der Experten jedoch auch weiterhin noch ortsfeste Haltestellen benötigt, um eine diskriminierungsfreie Mobilität zu gewährleisten. Denn nur so ist ein barrierefreier Zugang (Nutzung ohne App, Vermeidung von Höhenunterschieden und größeren Spalten beim Einstieg in das Fahrzeug) wie auch ein fahrplangebundener Linienverkehr möglich. Viele Experten gehen davon aus, dass bis zur flächendeckenden Einführung der Systeme (fast) alle Nutzer geeignete mobile Endgeräte besitzen und nutzen werden.

Wie die künftigen Haltestellen aussehen werden, hängt jedoch von vielen Faktoren (im Besonderen von den zukünftigen Fahrzeugen und dem ÖPNV-Konzept) ab. Für einen diskriminierungsfreien Zugang werden eine ortsfeste Anmeldetechnologie an den Haltestellen und ein personalbesetzter Service in der Leitstelle zur Anmeldung einer Fahrt benötigt.

Für den barrierefreien Zugang müssen die Systeme entweder über Servicepersonal verfügen oder an die Verkehrsinfrastruktur angepasst werden. Dabei sind zwei Möglichkeiten denkbar. Zum einen könnten Bordsteine bzw. Bordsteinhöhen normiert werden, dies würde aber spätestens beim flächendeckenden On-Demand-Verkehr zu einem hohen Erneuerungs- und Investitionsbedarf führen. Zum anderen könnte eine Niveaueinpassung in den Fahrzeugen umgesetzt werden. Diese Systeme erhöhen aber sowohl die Fahrzeugkosten als auch das Fahrzeuggesamtgewicht, was wiederum einen negativen Einfluss auf den Energieverbrauch und die Fahrzeugreichweite hat.

## **7.3 Empfehlungen zum Aufbau eines Testbetriebs**

Die bestehenden Erfahrungen aus den Testbetrieben zeigen, dass auch kleinere Anpassungen an der Infrastruktur vorgenommen wurden. Wobei sich dies hauptsächlich auf Ausbesserungsarbeiten der Straßendecke und der Straßenbegrenzung beschränkt. Teilweise mussten aber auch zusätzliche Schilder angebracht oder Strecken verbreitert werden. Eine Erneuerung der kompletten Infrastruktur ist planerisch, baulich und finanziell nicht möglich und auch nicht notwendig.

Allerdings darf der Aufwand für einen Test- oder Demonstrationsbetrieb nicht unterschätzt werden. Derzeit müssen die Fahrzeuge noch zwingend auf der Strecke eingelernt werden. Dies ist vergleichbar mit dem Einlernen eines Mäh- oder Putzroboters. Das Fahrzeug muss also zuerst seine Strecke „erfahren“, bevor es im Demonstrationsbetrieb eingesetzt werden kann.

Für den Demonstrationsbetrieb und zu Testzwecken sind einzelne Anpassungen und Einlernphasen für die Fahrzeuge akzeptabel. Für einen späteren Einsatz im Realbetrieb müssen aber generelle Lösungen gefunden werden. Dabei gilt hinsichtlich des zeitlichen Ablaufs die klassische Henne-Ei-Problematik: Sind die Städte durch die Einführung von selbstfahrenden Fahrzeugen aufgefordert, ihre Infrastruktur anpassen zu müssen oder befördert eine intelligente, vernetzte Infrastruktur die Entwicklung und das Aufkommen moderner automatisiert und vernetzter Fahrzeuge?

Gerade für den Demonstrationsbetrieb und die frühe Einführungsphase automatisierter (Klein-)Busse muss eine individuelle Bewertung der vorhandenen Infrastruktur erfolgen. In diesem Zusammenhang wird empfohlen, eine geeignete Bewertungsmethodik zu entwickeln, welche es Kommunen und Mobilitätsanbietern ermöglicht, die vorhandene Infrastruktur unter den individuellen Anforderungen zu bewerten und so Handlungsbedarfe aufzuzeigen. Für einzelne Aspekte wurde dies am KIT-FAST bereits durchgeführt. Erste Ergebnisse wurden in (Schmidt 2019) veröffentlicht.

### **Hilfestellung zur Analyse der eigenen Infrastruktur**

Die in den vorhergehenden Kapiteln genannten Punkte und Forschungsbedarfe sind verständlicherweise für Kommunen und Mobilitätsanbieter schwer greifbar und lassen eine Bewertung der aktuell vorhandenen Infrastruktur hinsichtlich der Eignung für den Einsatz automatisierter Systeme nur bedingt zu. Aus diesem Grund wurde im Rahmen des Projektes von Schmidt 2019 eine Methode entwickelt, die es ermöglicht, die bestehende Infrastruktur zu analysieren und mögliche Schwachstellen zu identifizieren.

Hierfür können die im Anhang dargestellten Flussdiagramme von Schmidt 2019 genutzt werden. Durch einfache Beantwortung der Fragen mit „Ja“ oder „Nein“ können so die vorhandene bzw. geplante Ladeinfrastruktur, Straßenausstattung, Straßenraum und Straßeninfrastruktur, Datenerhebung, Datenübertragung sowie Plattform und Funktionalität analysiert werden.

## 8 Baustein Betriebliche Effekte

### Zentrale Botschaften

- ▶ Der fahrerlose Betrieb mit kleinen Fahrzeugeinheiten eröffnet eine Vielzahl neuer Möglichkeiten für eine flexiblere Betriebsorganisation von öffentlichen Verkehrsangeboten.
- ▶ Der fahrerlose Betrieb benötigt digitale Informations-, Buchungs- und Abrechnungsprozesse und setzt entsprechende Geräte und Hintergrundsysteme voraus.
- ▶ Der hohe Digitalisierungsgrad von automatisierten Fahrzeugflotten stellt neue und vor allem höhere Anforderungen an die Fahrzeugwartung und -instandhaltung sowie an die Qualifikation des Werkstattpersonals.
- ▶ Die Anforderungen an die Betriebsorganisation, das Flottenmanagement und die Betriebsinfrastruktur sind bei einem On-Demand-Flächenbetrieb mit Kleinbussen aufgrund der größeren Fahrzeugzahl und der erforderlichen Fahrzeugdisposition deutlich höher als bei einem konventionellen Busbetrieb.
- ▶ Elektrisch angetriebene und automatisch gesteuerte (Klein-)Busse sind wartungsärmer und lassen sich unter günstigen Bedingungen energiesparender und damit ressourcenschonender betreiben als konventionelle ÖPNV-Fahrzeuge.
- ▶ Die veränderten Betriebsabläufe bei einem On-Demand-Flächenbetrieb mit Kleinbussen (u.a. Flottengröße, Überbrückung von Wartezeiten) machen gegebenenfalls eine Anpassung der Verkehrsinfrastruktur an Verknüpfungspunkten mit dem liniengebundenen ÖPNV oder regulative Maßnahmen für eine umfeldverträgliche Abwicklung des Betriebs erforderlich, insbesondere in Städten.

Aufgrund ihrer Systemeigenschaften werden automatisiert und elektrisch fahrende (Klein-)Busflotten eine veränderte Betriebsorganisation und neue Formen des Flottenmanagements ermöglichen bzw. erfordern. Die betrieblichen Effekte ergeben sich zum einen aus dem fahrerlosen Fahrbetrieb und dem Einsatz kleiner Fahrzeuge im On-Demand-Flächenverkehr bzw. -betrieb<sup>1</sup>. Zum anderen stellen der Elektroantrieb der Fahrzeuge sowie deren insgesamt hoher Digitalisierungsgrad andere Anforderungen an den Betrieb und die Wartung von Fahrzeugflotten.

---

<sup>1</sup> Punkt-zu-Punkt-Verbindungen ohne festen Linienverlauf (starre Abfolge von Haltestellen), keine Bindung an Fahrplan und Haltestellen

## 8.1 Betriebliche Effekte des fahrerlosen Fahrbetriebs

Mit dem Wegfall des Fahrpersonals im Fahrbetrieb entfallen auch personalbedingte Restriktionen, wie z.B. eingeschränkte Personalverfügbarkeit aufgrund von Fachkräftemangel, Urlaub, Krankheit, Arbeitszeit- und Arbeitsschutzregelungen. Verdichtungen beim Fahrtenangebot oder eine Ausdehnung der Betriebszeiten sind quasi jederzeit und ohne personalbedingte Einschränkungen möglich. Auch auf nicht vorhersehbare Nachfrageveränderungen oder Betriebsstörungen kann zeitnah und flexibler als bisher reagiert werden. Voraussetzung ist jedoch, dass die benötigte Fahrzeugflotte zur Verfügung steht und ein uneingeschränkter fahrerloser Betrieb möglich ist (SAE-Level 4/5).

Zu berücksichtigen ist auch, dass das heutige Fahrpersonal im ÖPNV in der Regel noch weitere Tätigkeiten übernimmt, z.B. Fahrgastservices oder kleinere Maßnahmen zur Wiederherstellung der Fahrzeugfunktionsfähigkeit. Für den fahrerlosen Betrieb wird noch zu klären sein, welche dieser Aufgaben zukünftig mittels Fernüberwachung (z.B. Fahrzeugfunktionsprüfung) oder ein ferngesteuertes Eingreifen (z.B. Stilllegen des Fahrzeugs) von der Leitzentrale übernommen werden kann. Zuverlässige digitale Informations-, Buchungs- und Abrechnungsprozesse sind ebenso wichtig wie eine störungsfreie Kommunikation mit den Fahrgästen. Fahrzeuge und Betriebsleitzentrale benötigen hierzu entsprechende Geräte und Hintergrundsysteme. Für alle anderen Aufgaben wird der Flottenbetreiber ein Kontingent an mobilen Servicekräften bereithalten müssen, die zeitnah am Einsatzort der Fahrzeuge sein können, um dort für einen ordnungsgemäßen Betrieb zu sorgen.

Mit dem hohen Digitalisierungsgrad der automatisierten Fahrzeugflotten verbinden sich neue und vor allem höhere Anforderungen an Wartung und Instandhaltung der Fahrzeuge und damit an die Qualifikation des Werkstattpersonals. Derzeit ist noch nicht absehbar, ob die Fahrzeugwartung wie bisher, Aufgabe des Flottenbetreibers (Verkehrsunternehmen, Mobilitätsanbieter) ist, oder ob dies zum Service des Fahrzeugherstellers gehört. Ebenfalls ungeklärt ist derzeit noch, ob die für einen Fahrzeugbetrieb mit Automatisierungsstufe 4 und 5 benötigte technische Infrastruktur im Straßennetz des Bedienegebiets oder weitgehend in den Fahrzeugen selbst vorgehalten wird (vgl. Baustein IT- und Verkehrsinfrastruktur Kapitel 7). In der Folge ist dann gegebenenfalls auch zu klären, wer die digitale Infrastruktur im Straßennetz (Road-Site-Units) erstellt und betreibt. Eine Klärung dieser Fragen ist für den Straßenbaulastträger oder eine mögliche Infrastrukturgesellschaft, vor allem aber für den Flottenbetreiber wichtig, wenn er diese Aufgabe in Eigenregie über seinen Betrieb abdecken muss.

Die Leitzentrale wird hierbei noch stärker als bisher zum Herzstück des Flottenbetriebs werden. Über sie erfolgt das komplette Flottenmanagement sowie die Kommunikation mit den Fahrgästen in den fahrerlosen Fahrzeugen. Abhängig davon, wie konsequent auch die Betriebssteuerung automatisiert erfolgen kann, wächst der Personalbedarf in der Leitzentrale und steigen die Anforderung an die Qualifikation.

## 8.2 Betriebliche Effekte des On-Demand-Flächenbetriebs mit Kleinbussen

Ein fahrerloser Betrieb ist grundsätzlich mit allen Fahrzeuggrößen und -typen möglich. Ein großer Qualitätssprung gegenüber dem heutigen linien- und fahrplangebundenen ÖPNV kann jedoch mit einem bedarfsgesteuerten On-Demand-Verkehr im Flächenbetrieb erreicht werden. Mögliche Kosteneinsparungen durch die Automatisierungstechnologie und der Einsatz von Klein- anstelle von Standardbussen sind gute Voraussetzungen für einen On-Demand-Verkehr. Zwar ist dies nicht immer die bessere Betriebsform (vgl. Baustein Einsatzfelder und Bedienformen Kapitel 10). Wo dies aber der Fall ist, ergeben sich für den Flottenbetrieb neue Herausforderungen. Denn der On-Demand-Flächenbetrieb ist prädestiniert für den Einsatz von Kleinbussen mit bis zu 12 Sitz- und Stehplätzen.

Kleinbusse haben den Vorteil, dass sie sehr flexibel sind, sich in unterschiedlichen Betriebsformen einsetzen lassen (Linien-, Korridor- oder Flächenbetrieb) und geringere Anforderungen an die Straßenraumbreite haben als Standardbusse. Unter gleichen Raum- und Nachfragebedingungen werden in der Regel jedoch mehr Kleinbus-Fahrzeuge benötigt als im Linienbetrieb mit Standardbussen. Unter Umständen kann der Fahrzeugbedarf sogar sehr groß sein (vgl. Baustein Einsatzfelder und Bedienformen Kapitel 10). Dann werden ausreichend dimensionierte Betriebshöfe benötigt, um die größeren Fahrzeugflotten unterzubringen, zu warten und instand halten zu können. Zudem verursachen größere Fahrzeugflotten – auch bei wartungsärmeren Fahrzeugen – einen tendenziell höheren Wartungsaufwand mit entsprechenden Auswirkungen auf den Personalbedarf im Betriebshof. Erwartet wird daher, dass die Fahrzeughersteller mittel- bis langfristig ein größeres Spektrum an Fahrzeugen mit unterschiedlichen Beförderungskapazitäten anbieten werden, die eine optimale und effiziente, auf den Bedarf zugeschnittene Betriebsorganisation ermöglichen.

Auf nachfragestärkeren Relationen werden viele Kleinbusse in kurzer Abfolge fahren. Platooning, also das Bilden von sogenannten „shuttle trains“ mit einem Führungs- und einem oder mehreren Folgefahrzeugen, bringt bei automatisierten Fahrzeugen jedoch keine Vorteile. Sollen sich die Fahrzeuge nämlich vor oder nach dem Platooning auch als Einzelfahrzeug fahrerlos bewegen können, müssen sie vollständig für das automatisierte Fahren ausgestattet sein. Dennoch kann aus Sicht der Kommune eine Bündelung von kleinen Fahrzeugen im städtischen Straßennetz sinnvoll sein, wenn eine Konzentration des Verkehrsaufkommens auf Hauptachsen erreicht werden soll.

Im Gegensatz zum fahrplangebundenen Linienverkehr sind Fahrzeuge im On-Demand-Verkehr weniger kontinuierlich im Einsatz, sondern haben Wartezeiten zwischen ihren Einsätzen. Im Bediengebiet werden also Stellplätze zur Überbrückung der Wartezeit bis zum nächsten Fahrzeugeinsatz benötigt. In Stadtquartieren mit hohem Parkdruck oder in stadträumlich sensiblen Bereichen kann dies zu Flächenkonkurrenz und unerwünschten Beeinträchtigungen führen. Statt auf einen Stellplatz zu warten, könnten Fahrzeuge ohne Fahrgäste auch „Warteschleifen“ im Straßennetz drehen, was verkehrspolitisch aber ebenso unerwünscht sein dürfte. In verdichteten Stadtquartieren mit begrenzten Flächenressourcen, in denen – zumindest phasenweise – mit Warte- bzw. Standzeiten der Fahrzeuge zu rechnen ist, sind Festlegungen zu Betriebsform, Fahrzeug- und

Flottengröße auch unter dem betrieblichen Aspekt der Fahrzeugwartezeit und stadträumlichen bzw. verkehrlichen Auswirkungen zu treffen. Gegebenenfalls sind kleinere Betriebsstützpunkte im Bediengebiet nötig, um Fahrzeuge temporär abstellen zu können und um längere Ein- und Aussetzfahrten zum Betriebshof zu vermeiden.

An Verknüpfungspunkten zwischen dem On-Demand-Flächenverkehr und dem liniengebundenen ÖPNV (z.B. Bahnhöfe und Omnibusbahnhöfe) ist in Spitzenstunden ein hohes Fahrzeugaufkommen zu erwarten. Hier sind bauliche und organisatorische Vorkehrungen zu treffen, die den Nutzern ein schnelles Umsteigen und den Flottenbetreibern einen möglichst reibungslosen Betriebsablauf ermöglichen.

### **8.3 Betriebliche Effekte des elektrischen Fahrzeugantriebs**

Elektrisch betriebene Fahrzeuge sind wartungsärmer als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor. Das macht sich u.a. mit längeren Wartungsintervallen, kürzeren Ausfallzeiten aufgrund von Wartung und Instandhaltungsarbeiten sowie generell veränderte Anforderungen an Wartungspersonal und Betriebsabläufe bemerkbar. Dabei sind die beiden Aspekte „automatisiertes Fahrzeug“ und „Elektroantrieb“ und deren Auswirkungen auf die Betriebsabläufe immer zusammen zu betrachten.

Für das Laden der Fahrzeugflotte ist eine Ladestrategie passend zur durchschnittlichen Fahrzeugreichweite zu entwickeln. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die unter günstigen Bedingungen mögliche Fahrzeugreichweite (flaches Gelände, Batteriestrom wird nur für den Fahrzeugantrieb genutzt) in Einsatzräumen mit bewegter Topografie und den Energiebedarf der Fahrzeugklimatisierung im Sommer und Winter deutlich abnimmt. Auch die Automatisierungstechnik im Fahrzeug benötigt elektrische Energie, die nicht für den Antrieb zur Verfügung steht. Für den Einsatzfall empfiehlt sich nach Möglichkeit das vollständige Laden der Fahrzeuge an Betriebshöfen bzw. Betriebsstützpunkten während der Betriebspausen (Ladestrategie „Volllader“) mit einer ausreichenden Zahl von Ladestationen. Sollten sich die benötigten Fahrzeugreichweiten mit der Ladestrategie „Volllader“ nicht erreichen lassen, ist ein zusätzliches Zwischenladen im Bediengebiet vorzusehen. Hierzu sind weitere Ladestationen an geeigneten Punkten im Bediengebiet erforderlich. Auch eine ausreichende Zahl von Reservefahrzeugen ist einzuplanen, da die aufzuladenden Fahrzeuge nicht für Fahrbetrieb zur Verfügung stehen. Anderenfalls ist die Größe des Bediengebiets auf eine realistische Fahrzeugreichweite zuzuschneiden, so dass auf Zwischenladen oder Reservefahrzeuge verzichtet werden kann.

Voraussetzung für einen flächendeckenden Regelbetrieb von vollautomatisiert und elektrisch fahrenden (Klein-)Bussen ist, dass die Automatisierungstechnik und die Speichertechnologie deutlich ausgereifter sind als derzeit und die erforderliche Infrastruktur zur Verfügung steht, so dass ein uneingeschränkter Fahrzeugeinsatz möglich ist. Positive Effekte auf den Flottenbetrieb ergeben sich dann durch eine höhere Fahrzeugverfügbarkeit aufgrund sinkender Unfallraten, einen verbesserten Verkehrsfluss sowie einen unter günstigen Bedingungen geringeren Energieverbrauch, was ein Beitrag zur Reduzierung der verkehrsbedingten Umweltbelastungen wäre.

## 8.4 Empfehlungen und Forschungsbedarf

Im On-Demand-Flächenbetrieb hängt die Möglichkeit zur Nachfragebündelung in einem Fahrzeug u.a. stark von der angebotenen Servicequalität ab. Dies betrifft z.B. die von den Nutzern akzeptierte Vorbuchungs-, Warte- und Umwegzeiten, den Zeitbedarf für Ein- und Ausstiegsvorgänge, dem als akzeptabel empfundenen Fahrzeugbesetzungsgrad. Die angebotene Servicequalität wirkt sich also unmittelbar auf den Fahrzeugbedarf und den Betriebsaufwand aus. Für eine realistische Dimensionierung und Ausgestaltung von On-Demand-Verkehren (vor allem Servicequalität) und um Nachfrageeffekte besser abschätzen zu können, benötigen ÖPNV-Aufgabenträger, Planer und Systembetreiber daher belastbare, möglichst empirisch ermittelte Orientierungswerte für die verschiedenen „Stellschrauben“ des Systems. Dies wird umso wichtiger, wenn der fahrerlose Betrieb (SAE-Level 4/5) die Betriebskosten deutlich sinken lässt und diesen Systemen zum Marktdurchbruch verhilft. Nicht zuletzt könnten ÖPNV-Aufgabenträger solche Anhaltswerte verwenden, um regulative Vorgaben zur Ausgestaltung von On-Demand-Verkehren im Nahverkehrsplan zu machen. Nun gibt es zwar in einigen Großstädten und Regionen schon nachfragegesteuerte On-Demand-Verkehr im Flächenbetrieb nach dem Ridepooling-Prinzip sowohl im Pilot- als auch im Regelbetrieb (derzeit noch mit Fahrpersonal). Erfahrungswerte zu betrieblichen Kenngrößen dieser meist von kommerziellen Anbietern betriebenen On-Demand-Angebote sind aber in der Regel nicht veröffentlicht oder so ortsspezifisch, dass sie sich nicht allgemeingültig übertragen lassen. Daher sollten empirisch belegten Orientierungswerte für die Ausgestaltung von On-Demand-Verkehren im Flächenbetrieb im Rahmen von Begleitforschungen oder eigenständigen Forschungsprojekten systematisch gesammelt bzw. ermittelt und ausgewertet sowie betroffenen Akteuren diskriminierungsfrei zugänglich gemacht werden.

## 9 Baustein Wirtschaftlichkeit

### Zentrale Botschaften

- Die Elektrifizierung von Fahrzeugflotten, vor allem aber der fahrerlose Betrieb, führen zu deutlich geringeren Betriebskosten durch Einsparungen beim Fahrbetrieb, bei der Wartung und -instandhaltung der Antriebstechnologie und unter günstigen Randbedingungen auch bei den Energiekosten. Dies eröffnet Spielräume für neue Bedienkonzepte, die unter den heutigen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen nicht denkbar sind.
- Ein breiteres Spektrum von Bedienungskonzepten mit unterschiedlichen Fahrzeuggrößen und Komfortstufen sowie ausdifferenzierten Preismodellen ermöglicht es den Betreibern, flexibler als bisher auf die Komforterwartungen verschiedener Nutzergruppen einzugehen und die jeweilige Zahlungsbereitschaft auszuschöpfen. Damit steigen die Chancen auf höhere Erlöse und bieten eine bessere Kostendeckung.
- Große Unsicherheiten gibt es derzeit noch hinsichtlich der Kostenentwicklung bei wesentlichen Komponenten von elektrisch und automatisiert fahrenden (Klein-)Busflotten, v.a. Beschaffungs- und Energiekosten für Fahrzeuge, Wartungskosten der Automatisierungstechnologie, Kosten für Softwarelösungen zur automatisierten Betriebssteuerung sowie Kosten zur Bereitstellung und/oder Nutzung von ggf. erforderlicher Strecken- und Ladeinfrastruktur.
- Wichtige kostenrelevante Systembedingungen, wie z.B. der Bedarf an ortsfester Infrastruktur für den automatisierten Fahrbetrieb oder das Finanzierungssystem für Bereitstellung, Unterhaltung und Nutzung der Infrastruktur, sind derzeit noch ungeklärt. Hier ist aus Sicht der Kommunen, der Mobilitätsanbieter und potenzieller Infrastrukturbetreiber Klärungs- und Entscheidungsbedarf, um Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen durchführen und Geschäftsmodelle entwickeln zu können. Dabei sollten mindestens auf Bundesebene einheitliche Lösungen angestrebt werden.

### 9.1 Auswirkungen auf Investitions- und Betriebskosten

Sowohl der fahrerlose Betrieb als auch die Elektrifizierung der Fahrzeugflotten werden nach allgemeiner Auffassung einen großen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit von Mobilitätsangeboten haben. Allerdings macht der Einsatz von automatisiert und elektrisch fahrenden (Klein-)Bussen einen Flottenbetrieb nicht generell kostengünstiger als mit konventionellen, fahrerbesetzten Fahrzeugen im Linien- oder Flächenbetrieb. Denn neben den offenkundig kostensenkenden Faktoren im fahrerlosen, elektrischen Betrieb kommen weitere Faktoren hinzu, die die Wirtschaftlichkeit beeinflussen und die aller Voraussicht nach zu höheren Betriebskosten führen. Deren Bedeutung und Entwicklung ist zum heutigen Zeitpunkt aber noch nicht absehbar ist. Zu unterscheiden ist also nach Treibern für Kosteneinsparungen und Treibern für Kostensteigerungen.

Wesentliche Treiber für **Kosteneinsparungen** beim Betrieb von automatisiert und elektrisch fahrenden (Klein-)Busflotten gegenüber dem konventionellen ÖPNV-Betrieb sind:

- ▶ **Wegfall der Fahrpersonalkosten:** Diese machen derzeit zwischen 50 und 70 % der Betriebskosten je Fahrzeugkilometer im straßengebundenen ÖPNV aus, die im automatisierten Betrieb eingespart werden können. Der tatsächliche Einfluss auf die Betriebskosten hängt jedoch von der Nachfrage und der Fahrzeuggröße ab: Im fahrerbesetzten Betrieb mit großen Fahrzeugen sinkt der Anteil der Fahrerkosten mit jedem zusätzlich beförderten Fahrgast. Auf nachfragestarken Relationen mit guten Bündelungsmöglichkeiten fällt der Einspareffekt bei einem fahrerlosen Betrieb mit vielen kleinen Fahrzeugen also entsprechend geringer aus.
- ▶ **Geringerer Energieverbrauch:** Unter günstigen Bedingungen sind elektrisch angetriebene Fahrzeuge energiesparender als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor. Der tatsächliche Energieverbrauch hängt jedoch sehr stark von der Topografie, der Notwendigkeit der Klimatisierung im Fahrzeug sowie vom Energiebedarf der Automatisierungstechnik ab, was den Energieverbrauch in die Höhe treiben kann. Andererseits lässt sich die digitale Steuerung des Fahrvorgangs auf eine hohe Energieeffizienz ausrichten, die menschliches Fahrverhalten in dieser Form nicht erreicht. Der hierbei erreichbare Energieeinspareffekt gegenüber konventionellen Fahrzeugen wird auf 10 bis 30 % geschätzt (Becker 2014, Bainwol 2015). In der Summe kann also unter günstigen Bedingungen eine Energieeinsparung erreicht werden. Der Kosteneinspareffekt wird umso höher ausfallen, je preiswerter Strom (aus regenerativen Energien) gegenüber fossilen Treibstoffen ist.
- ▶ **Wartungsarme Elektrofahrzeuge:** Bereits heute zeigt sich, dass Fahrzeuge mit Elektromotor deutlich wartungsärmer sind als solche mit Verbrennungsmotor. Da die Fahrzeuge zukünftig auch hochdigitalisiert sein werden, wird der Wartungs- und Instandhaltungsbedarf frühzeitig erkannt. Damit verkürzen sich die Ausfallzeiten der Fahrzeuge. Der Einspareffekt wird auf bis zu 35 % der heutigen Wartungskosten geschätzt.
- ▶ **Weniger Werkstattpersonal:** Hochdigitalisierte und wartungsarme Fahrzeuge ermöglichen effiziente Prozesse bei Wartung und Instandhaltung. Der Personalbedarf in Betriebshof und Werkstatt sinkt. Unklar ist zurzeit noch, wer zukünftig für die Fahrzeugwartung und -instandhaltung sein wird (Flottenbetreiber oder Fahrzeughersteller) und welche Auswirkungen dies auf die Betreiberkosten haben wird (Kosten für Eigenleistung vs. Kosten für Outsourcing).
- ▶ **Effizientes Flottenmanagement:** Der hohe Digitalisierungsgrad der Fahrzeuge ermöglicht im Zusammenspiel mit den intelligenten Algorithmen der Dispositionssoftware ein effizientes Flottenmanagement. Die Möglichkeit für einen 24-Stunden-Einsatz der Fahrzeuge führt zu einer schnelleren Amortisierung der Investitionskosten. Batteriebetriebene Fahrzeuge müssen jedoch aufgeladen werden; während der Ladezeiten können die Fahrzeuge nicht eingesetzt werden.
- ▶ **Geringere Verkehrsfolgekosten:** Auch volkswirtschaftlich gesehen unterstützt der Einsatz von Elektrofahrzeugen, die mit Strom aus regenerativen Energiequellen betrieben und über eine intelligente Software optimal gesteuert werden, die

angestrebte Energiewende und verringert die verkehrsbedingten Schadstoffemissionen mit den entsprechenden Folgekosten.

Die genannten Treiber für Kosteneinsparungen sind nicht nur in der Umstellungsphase vom konventionellen auf automatisierten und elektrischen Fahrbetrieb, sondern auch im Regelbetrieb wirksam. Wichtig ist auch die Überlegung, dass der Kostenvorteil des fahrerlosen Betriebs umso größer ist, je eingeschränkter die Möglichkeiten zur Fahrtwunschbündelung sind, z.B. im ländlichen Raum. Allerdings wird es auch hier Grenzen geben, wenn der Aufwand zur Vorhaltung eines Fahrzeugs oder einer Fahrzeugflotte im Verhältnis zur erreichbaren Nachfrage zu hoch ist.

Aus Sicht der Mobilitätsanbieter sind jedoch auch Treiber für **Kostensteigerungen** bzw. Zusatzkosten erkennbar:

- **Teurere Software und mehr hochqualifiziertes Personal in der Betriebsleitzentrale:** Ein intelligentes Flottenmanagement durch die Betriebsleitzentrale wird teure Softwarelösungen für die automatisierten Betriebssteuerung und hochqualifizierte Mitarbeiter erfordern. Deren Zahl wird wiederum von den Möglichkeiten der Softwarelösungen abhängen, Aufgaben des Leitstellenpersonal zu übernehmen. Hinzu kommen zusätzliche Aufgaben für die Leitzentrale, wie z.B. die Fahrgastbetreuung. Der Bedarf an hoch qualifiziertem – und damit teurem – Leitstellenpersonal wird also steigen. Die durch den Einsatz wartungsarmer Elektrofahrzeuge erreichbaren Einsparungen (s.o.) werden also voraussichtlich durch Zusatzkosten aufgrund der notwendigen technischen Ertüchtigung der Fahrzeuge für die Steuerung und Überwachung durch die Leitzentrale sowie hochqualifiziertes, aber teures Leitstellenpersonal zumindest teilweise kompensiert.
- **Bedarf an zusätzlichem Sicherheitspersonal:** Auch ein fahrerloser Betrieb wird nicht ganz ohne Personal in den Fahrzeugen auskommen. Mobiles technisches Servicepersonal zur Behebung von Fahrzeugstörungen vor Ort wird ebenso erforderlich sein wie Kontroll- und Sicherheitspersonal, das (in der Einführungsphase) begleitend in den Fahrzeugen mitfährt, um die gefühlte Sicherheit zu verbessern und hilfsbedürftige Personen zu unterstützen (vgl. Baustein Systemakzeptanz Kapitel 11). Der Personalbedarf lässt sich noch nicht abschätzen.
- **Streckeninfrastruktur für den automatisierten Fahrbetrieb:** Für den automatisierten Fahrbetrieb wird eine gewisse Ausstattung mit Streckeninfrastruktur erforderlich sein (vgl. Baustein IT- und Verkehrsinfrastruktur Kapitel 7). Noch ist weder klar, welche und wie viel Infrastruktur benötigt wird, noch wer die notwendigen Investitionskosten übernimmt (Baulastträger der Verkehrsrauminfrastruktur oder Flottenbetreiber) und ob bzw. in welcher Höhe Nutzungsentgelte erhoben werden. Hier ist jedoch mit Zusatzkosten zu rechnen, die im konventionellen ÖPNV-Betrieb nicht anfallen.
- **Aufbau und Unterhaltung von E-Ladeinfrastruktur:** Für den Betrieb einer elektrischen Fahrzeugflotte wird Ladeinfrastruktur benötigt. Die notwendigen Investitions- und Unterhaltungskosten wird der Flottenbetreiber aufbringen müssen. Sie hängen von den Standortbedingungen und vom Ladekonzept ab.

- **Beschaffung und Wartung von Flottenmanagementlösungen:** Intelligente Dispositionsalgorithmen, Fahrzeuge mit Bordelektronik und Sensoren sowie eine weitgehend digitalisierte Betriebsleitzentrale erfordern hohe Investitions- und Unterhaltungskosten auf Seiten des Flottenbetreibers.
- **Aufwendungen für den Datenschutz und zur Abwehr von Cyber-Kriminalität:** Die finanziellen Aufwendungen für Datenschutz und Gefahrenabwehr steigen mit dem Digitalisierungsgrad des Flottenbetriebs und werden deutlich höher sein müssen, als dies heute üblicherweise in ÖPNV-Unternehmen der Fall ist.

Nicht absehbar ist derzeit, wie sich die **Beschaffungskosten** der Fahrzeuge entwickeln werden. Denn bei automatisiert und elektrisch fahrenden (Klein-)Bussen überlagern sich verschiedene gegenläufige Entwicklungen:

- deutlich sinkende Fahrzeugpreise gegenüber heute, vor allem bei Kleinbussen, aber Einpendeln auf einem höheren Niveau als heute auch (im Massenmarkt) aufgrund des hohen Technisierungsgrades
- kürzere Erneuerungszyklen der Fahrzeugflotten aufgrund des dynamischen Fortschritts bei der technologischen Entwicklung, infolge von Anpassungen am Rechtsrahmen (v.a. Fahrzeugzulassung) oder veränderten Kundenerwartungen mit geringeren Nutzungs- und Abschreibungszeiträumen der Fahrzeuge und höheren Reinvestitionsraten
- steigende Fahrzeugbeschaffungskosten infolge tendenziell größerer Flottengrößen mit kleineren Fahrzeugen

Nennenswerte Kostensteigerungen infolge einer Zunahme von Vandalismusschäden in den fahrerlosen Fahrzeugen sind nicht zu erwarten (obligatorische Identifizierung der zusteigenden Fahrgäste und Videoüberwachung). Auch die Frage, ob und in welcher Größenordnung sich die Kosten für Haftung und Versicherungen ändern werden, ist derzeit nicht eindeutig zu beantworten.

Für den zukünftigen Regelbetrieb ist zu erwarten, dass die genannten Kostentreiber nur eine geringe Bedeutung haben und die Kosteneinsparungen überwiegen. Klar ist aber auch, dass – neben den genannten Unwägbarkeiten bezüglich der Kostenentwicklung – die Einspareffekte sich nur dann im vollen Umfang realisieren lassen, wenn die Fahrzeugpreise deutlich sinken und ein vollautomatisierter, fahrerloser Regelbetrieb technisch möglich ist. Dies wird erst langfristig der Fall sein. Zuvor werden sich – wenn überhaupt – lediglich die veränderten Kosten eines elektrischen Flottenbetriebs bemerkbar machen.

### **Rückschlüsse aus der Simulation von Fallbeispielen**

Eine verkehrsmodellbasierte Simulation von drei Fallbeispielen für mögliche Einsatzfelder von automatisiert und elektrisch fahrenden (Klein-)Bussen (Wohngebiet am Stadtrand einer Großstadt, Mittelstadt und Landgemeinde – jeweils Simulation von automatisiertem Linienbetrieb und On-Demand-Verkehr im Flächenbetrieb)<sup>2</sup> ergab, dass neben dem Wegfall der Personalkosten vor allem die – unter den getroffenen Annahmen –

---

<sup>2</sup> Wohngebiet am Stadtrand einer Großstadt: Fallbeispiel Stuttgart Rohr, Mittelstadt: Fallbeispiel Göppingen, Landgemeinde: Gemeindeverwaltungsverband Oberes Filstal – jeweils Simulation von automatisiertem Linienbetrieb und On-Demand-Verkehr im Flächenbetrieb

geringeren Energie- und Unterhaltungskosten maßgebliche Kosteneinsparungen gegenüber einem Betrieb mit konventionellen Fahrzeugen bringen. Unter den getroffenen Annahmen lagen die spezifischen Energiekosten bei automatisiert und elektrisch fahrenden (Klein-)Bussen zwischen 13 % (Standardbus) und 50 % (Kleinbus) unter den Kosten konventioneller Fahrzeuge. Bei den Unterhaltungskosten lag der Einspareffekt bei den spezifischen Kosten bei 59 % (Standardbus) bzw. 69 % (Kleinbus).

Durch das Zusammenwirken beider Effekte lassen sich auch bei deutlichen Angebotsverbesserungen noch Kosteneinsparungen gegenüber dem Status quo erzielen. Wie das Fallbeispiel der Mittelstadt Göppingen mit ihrem relativ hohen Nachfrageaufkommen jedoch zeigt, erreichen On-Demand-Verkehre im Flächenbetrieb sehr schnell auch wirtschaftliche Grenzen für den Flottenbetreiber, wenn – wie in (Groß-) Stadtverkehren meist gegeben – die benötigte Flottengröße und die Fahrleistungen sprunghaft steigen und damit sehr hohe Fahrzeug- und fahrleistungsabhängige Kosten verursachen. In diesen Fällen sind automatisierte und elektrisch betriebene Linienverkehre mit dichten Takten die wirtschaftlichere Alternative.

## **9.2 Auswirkungen auf Fahrgeldeinnahmen und Finanzierung**

Die Möglichkeiten für eine gezielte Steuerung der Fahrtwunschbündelung, z.B. über organisatorische Maßnahmen oder finanzielle Anreize (Preiselastizitäten), sind bisher nicht hinreichend untersucht worden. Gleiches gilt für die Umweltbilanz von On-Demand-Flächenverkehren (v.a. auf Basis der eingesparten Fahrzeugkilometerleistungen im motorisierten Individualverkehr versus der Fahrzeugkilometerleistungen im On-Demand-Verkehr). Erkenntnisse aus dem konventionellen ÖPNV lassen sich hier nicht uneingeschränkt übertragen, da On-Demand-Verkehre mit Kleinbussen im Flächenbetrieb den Nutzern eine deutlich höhere Servicequalität bieten. Daher ist zu erwarten, dass ein Teil der heutigen Pkw-Nutzer zukünftig auf On-Demand-Angebote im ÖPNV umsteigt.

In diesem Zusammenhang wären auch bessere Kenntnisse über die Zahlungsbereitschaft der Nutzer von On-Demand-Verkehren in Abhängigkeit vom Komfortzuwachs (z.B. bei Tür-zu-Tür-Bedienung und Wunschabfahrtszeiten) oder unterschiedlichen Komfortstufen (z.B. akzeptierte Wartezeiten, Fahrzeugbesetzungsgrad) wichtig.

## 10 Baustein Einsatzfelder und Bedienformen

### Zentrale Botschaften (gültig für Fahrzeuge mit SAE-Level 4 oder 5)

- ▶ Ein automatisierter Fahrbetrieb mit elektrischen (Klein-)Bussen ermöglicht in allen Einsatzräumen unabhängig von der Betriebsform ein, bei gleichen Kosten, deutlich besseres Fahrtenangebot und ggf. einen höheren Komfort als im konventionellen Betrieb.
- ▶ Geeignete Einsatzfelder – d.h. die Kombination aus Einsatzraum und Betriebsform – hängen insbesondere von Umfang und Struktur der zu bedienenden Verkehrsnachfrage ab.
- ▶ Ein On-Demand-Verkehr im Flächenbetrieb kann, bei einer hohen Verkehrsnachfrage und bzw. oder eingeschränkten Möglichkeiten für das Ridepooling (Bündelung von Fahrtwünschen), den Fahrzeugbedarf stark ansteigen lassen.
- ▶ In der Großstadt relativiert die häufig gute Flächenerschließung im Linienbetrieb die Vorteile einer „Haustür-Bedienung“ im Flächenbetrieb. Beide Betriebsformen sind in Wohngebieten am Rande einer Großstadt denkbar und können je nach Einzelfall positive Umwelteffekte erreichen.
- ▶ In gering verdichteten Siedlungsräumen (z.B. Einzel- oder Reihenhausbebauung) kann der Flächenbetrieb dagegen deutliche Komfortvorteile bringen. Eine gewisse Kompaktheit der Siedlungsdichte ist jedoch für hohe Besetzungsgrade notwendig.
- ▶ In Mittelstädten kann eine flächendeckende Bedienung auf hohem Qualitätsniveau bei einer hohen Verkehrsnachfrage und starker Streuung der Fahrtwünsche im Bediengebiet einen sehr großen Fahrzeugbedarf in der Spitzenstunde auslösen. Auch sind negative Umwelteffekte möglich.
- ▶ Denkbar ist in Mittelstädten eine Kombination aus automatisiertem und verdichtetem Linienbetrieb und Flächenbetrieb als Zubringer in den Randbereichen (ggf. differenziert nach Verkehrszeiten).
- ▶ Für die häufig geringe und dispers verteilte Verkehrsnachfrage im ländlichen Raum kann ein On-Demand-Flächenverkehr die ideale Betriebsform darstellen. Eine „Haustür-Bedienung“ kann, bei teilweise weiten Wegen zur nächsten Haltestelle, zu deutlichen Komfortverbesserungen führen.
- ▶ In klar abgegrenzten, spezifischen Nutzungsstandorten wie Messe- oder Universitätsgelände kann durch automatisiert und elektrische fahrende Kleinbusse mit begrenztem Betriebsaufwand ein zusätzliches Angebot (insbesondere für mobilitätseingeschränkte Personen) geschaffen werden.

## 10.1 Stärken und Schwächen der Einsatzfelder und Bedienformen

Ungeachtet der Tatsache, dass viele technische und rechtliche Fragen zu automatisiert und elektrisch fahrende (Klein-)Bussen derzeit noch nicht gelöst sind, denken politische Entscheidungsträger, ÖPNV-Aufgabenträger und Mobilitätsanbieter bereits seit längerem verstärkt über geeignete Einsatzfelder nach. Die Erkenntnisse aus bereits abgeschlossenen Testbetrieben geben auf diese Frage bislang keine befriedigenden Antworten. Im Fokus der Testbetriebe stand bzw. steht in der Regel die Weiterentwicklung der Fahrzeugtechnologie. Erste Testbetriebe waren in (Groß-)Städten bzw. Verdichtungsräumen angesiedelt und der Betrieb fand unter Bedingungen statt, die nicht mit einem Regelbetrieb vergleichbar sind. Begründete Schlussfolgerungen zu geeigneten Einsatzfeldern sind auf Grundlage nicht möglich.

Mithilfe von verkehrsmodellbasierten Simulationen von realitätsnahen Fallbeispielen wurden daher im Rahmen der Studie mögliche Einsatzfelder von automatisiert und elektrisch fahrenden (Klein-)Bussen untersucht. In allen Fallbeispielen wurden unterschiedlichen Betriebsformen für automatisierte Mobilitätsangebote in das im Verkehrsmodell hinterlegte konventionelle ÖPNV-Angebot integriert. Die automatisierten Mobilitätsangebote ersetzen dabei unterschiedlich große Teile des konventionellen ÖPNV-Angebots. Eine wichtige Annahme war, dass der Einsatz von Fahrzeugen mit SAE-Level 4/5 technisch und rechtlich möglich ist. Betrachtet wurden die Einsatzräume Großstädte, Mittelstädte, Landgemeinden / ländlicher Raum und abgetrennte, spezifische Nutzungsstandorte, jeweils mit zwei unterschiedlichen Betriebsformen: fahrplan- und haltestellengebundener, automatisierter Linienbetrieb sowie On-Demand-Verkehr im Flächenbetrieb mit automatisierten (Klein-)Bussen. Die Kombination aus Einsatzraum und Betriebsform beschreibt damit das mögliche Einsatzfeld.

Eine zentrale Erkenntnis der Simulationsläufe war, dass ein automatisierter Linienbetrieb mit elektrischen (Klein-)Bussen in allen Einsatzräumen bei gleichen Kosten eine deutliche Verbesserung des Fahrtenangebots ermöglicht. Hier machen sich der Wegfall der Fahrpersonalkosten (beim Einsatz von Fahrzeugen mit SAE-Level 4/5), aber auch die niedrigeren Energie- und Unterhaltungskosten im automatisierten und elektrischen Fahrbetrieb bemerkbar. Voraussetzung ist, dass sich die geringeren Kosten tatsächlich in dem Umfang realisieren lassen, wie sich dies aktuell abzuzeichnen scheint. Mit einem On-Demand-Flächenbetrieb lässt sich darüber hinaus ein höherer Angebotskomfort erreichen, z.B. durch eine Tür-zu-Tür-Bedienung.

### **Einsatzraum: Großstadt – Wohngebiet am Stadtrand**

Häufig existiert in Wohngebieten und Wohnsiedlungen am Rand von Großstädten eine auf die Innenstadt oder Stadtteilzentren ausgerichtete Verkehrsnachfrage. Wenn diese über hochwertiges schienen- oder straßengebundenes ÖPNV-Angebot erreichbar sind, können automatisiert und elektrisch fahrende (Klein-)Busse den Transport auf der „ersten/letzten Meile“ übernehmen. Aufgrund dieser eindeutigen räumlichen Ausrichtung lassen sich die Fahrtwünsche relativ gut bündeln.

### **Simulation Fallbeispiel Stuttgart- Rohr: Besetzungsgrade im On-Demand-Flächenverkehr**

*In der Simulation für Stuttgart-Rohr konnten Besetzungsgrade zwischen 3,8 und 4,0 Personen je Fahrzeug erreicht werden (je nach Nachfrageszenario). Ein Grund hierfür war die eindeutige Ausrichtung der Nachfrage im Untersuchungsgebiet auf den S-Bahnhof Rohr sowie weiterer Annahmen (u.a. tarifliche aufschlagsfreie Integration des On-Demand-Angebots).*

Häufig ist das Fahrtenangebot am Stadtrand von Großstädten auf einen Verknüpfungspunkt mit dem weiterführenden ÖPNV ausgerichtet. Hier ist auf abgestimmte Takte mit passenden Übergangszeiten zu achten. Zudem ist bei einem On-Demand-Verkehr mit Kleinbussen zu den Abfahrts- und Ankunftszeiten des weiterführenden ÖPNV am Verknüpfungspunkt mit einem hohen Fahrzeugaufkommen zu rechnen. Wichtig ist daher eine ausreichende Dimensionierung der Verkehrsanlagen am Verknüpfungspunkt (Halte- und Abstellflächen, Zufahrten usw.).

Ob ein Linienverkehr oder ein Flächenbetrieb mit Haustürbedienung infrage kommt, sollte u.a. anhand von Einwohnerzahl, Siedlungsstruktur und Wegenetz entschieden werden. In Großwohnsiedlungen sind die Haltestellen fußläufig meist gut erreichbar. Der Systemvorteil gegenüber dem Linienbetrieb relativiert sich. Hier empfiehlt sich eher ein automatisierter Linienbetrieb, auch aufgrund des höheren Fahrgastaufkommen im Tagesverkehr.

Einzel- oder Reihenhaussiedlungen haben ein geringeres Nachfragepotenzial, der Anteil der befahrbaren Straßen und Wege ist im Verhältnis zur Größe des Gebiets oftmals deutlich höher (und damit die Flexibilität für eine optimale Routenwahl). Der Weg zur nächsten Haltestelle kann weiter sein. Hier kann ein On-Demand-Verkehr im Flächenbetrieb eine deutliche Angebotsverbesserung bringen und dennoch kostengünstiger als ein konventioneller Busbetrieb sein. Die Siedlungsstruktur sollte allerdings noch eine gewisse Kompaktheit aufweisen, da sonst die Besetzungsgrade in den Fahrzeugen sinken und die unbesetzten Leerfahrten zunehmen.

Bietet der Linienverkehr relativ kurze Taktzeiten, unterschreiten diese schnell die Wartezeit auf die Fahrzeuge im On-Demand-Verkehr. Zwar kann der Nutzer hier die Wartezeit zuhause verbringen, jedoch entsteht ein Aufwand für Planung und Bestellung seiner Fahrt. Damit schwindet der Komfortvorteil des On-Demand-Verkehrs.

Angebotsverbesserungen im Linienbetrieb werden meist für die gesamte Linie oder zumindest längere Linienabschnitte umgesetzt. Davon profitieren unter Umständen auch die Bewohner angrenzender Stadtquartiere, sofern die Buslinie über das Wohngebiet hinausführt.

Bei einer starken Angebotsverdichtung sind bei beiden Betriebsformen Nachfrageverlagerungen vom MIV möglich. Sie können unter Umständen zu sinkenden Fahrzeugkilometerleistungen im Gesamtverkehr führen.

## Einsatzraum: Mittelstadt

Die Einführung von On-Demand-Verkehren im Flächenbetrieb als weitgehender Ersatz von Stadtbus-Liniennetzen in Mittelstädten ist kritisch zu sehen. Bei einer Bedienung auf hohem Qualitätsniveau kann die relativ hohe Verkehrsnachfrage im Bediengebiet bei gleichzeitig starker räumlicher Streuung der Fahrtwünsche zu einem sehr großen Fahrzeugbedarf in der Spitzenstunde führen.

### **Simulation Fallbeispiel Göppingen: Fahrzeugbedarf im On-Demand-Flächenbetrieb**

*In der Simulation wurde – abhängig vom Nachfrageszenario – ein Bedarf von 150 bis 200 Fahrzeugen für eine On-Demand-Flächenbetrieb ermittelt (unter der Annahme eines hohen Qualitätsniveau des Angebots). Mit dieser Fahrzeugflotte ließen sich 97 – 98 % der Nachfrage bedienen.*

*Für eine Bedienquote von 75 % der Nachfrage werden immer noch 100 Fahrzeuge benötigt (unter Annahme eines hohen Qualitätsniveaus des Angebots). Lässt der Flottenbetreiber höhere maximale Wartezeiten für die Fahrgäste zu, sinkt der Fahrzeugbedarf weiter – möglicherweise jedoch auch die Nachfrage, da das Angebot unattraktiver wird.*

Der hohe Fahrzeugbedarf kann schnell zur Unwirtschaftlichkeit des Betriebs führen, da in diesem Fall die Investitionskosten für Fahrzeuge und Ladeinfrastruktur einen großen Anteil der Gesamtkosten ausmachen. Auch die Fahrzeugkilometerleistung im Gesamtverkehr kann steigen – trotz einer Einsparung von Fahrleistungen im konventionellen Busverkehr und der Verlagerung von MIV-Fahrten. Verlagerungen von Pkw-Fahrten auf den ÖPNV sind bei entsprechender Angebotsverbesserung realistisch, wobei viele Mittelstädte heute schon ein gutes Angebotsniveau im ÖPNV haben, so dass auch bei einer weiteren Angebotsverdichtung keine sehr großen Nachfragesteigerungen zu erwarten sind.

### **Simulation Fallbeispiel Göppingen: Umweltwirkung im On-Demand-Flächenbetrieb**

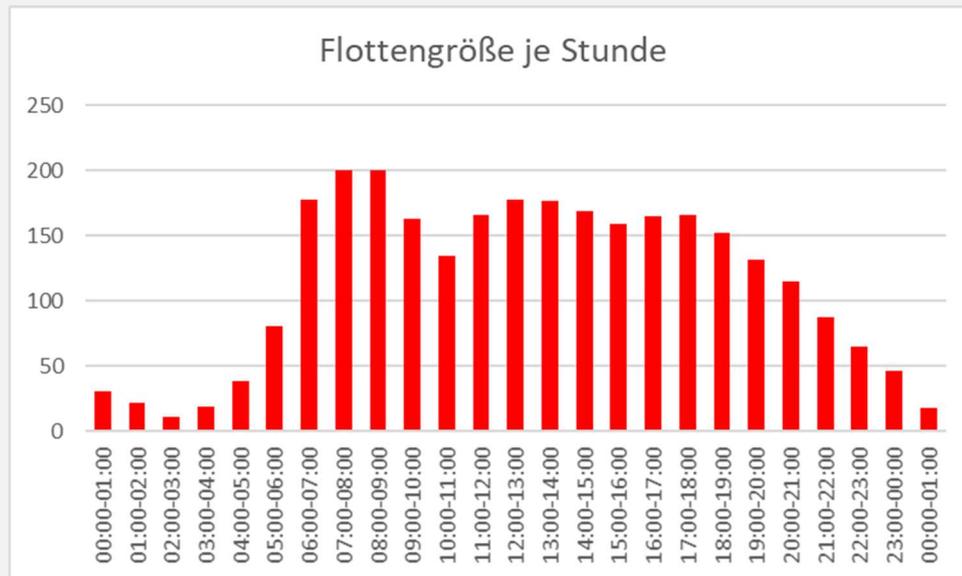
*In der Simulation führte der On-Demand-Flächenbetrieb je nach Nachfrageszenario zu 37.000 – 50.000 Fahrzeugkilometer je Werktag. Diese hohe Fahrleistung konnte nicht durch die wegfallenden Fahrzeugkilometer im konventionellen (Linien-)Busverkehr und die eingesparten Pkw-Fahrleistungen im MIV (Nachfrageverlagerungen auf das On-Demand-Angebot) kompensiert werden. In der Summe entstanden mehr Fahrzeugkilometer als im Status quo, eine positive Umweltwirkung konnte also nicht erreicht werden.*

Besonders in den Kernbereichen von Mittelstädten können automatisierte Linienverkehre in Verbindung mit einem dichteren Fahrtenangebot sehr viel effizienter und kostensparender sein. Ähnlich wie in Wohngebieten am Stadtrand von Großstädten muss

der Komfortvorteil des On-Demand-Flächenbetriebs mit Haustür-Bedienung gegenüber einem Linienbetrieb mit Haltestellenbedienung bei kurzen Zugangszeiten und einem dichten Taktangebot nicht unbedingt gegeben sein.

### **Simulation Fallbeispiel Göppingen: Ganglinie des Fahrzeugbedarfs im On-Demand-Flächenverkehr**

*Die Bedienung der morgendlichen Spitzenstunde erfordert einen sehr hohen Fahrzeugbedarf. Im Zeitraum 7 bis 9 Uhr müssen bis zu 200 Fahrzeuge eingesetzt werden.*



*In Verkehrsspitzenzeiten wäre ein Linienbetrieb also die wirtschaftlichere Lösung.*

Denkbar ist jedoch eine Kombination aus einem automatisierten Linienbetrieb mit verdichtetem Fahrtenangebot in der Kernstadt und On-Demand-Verkehren im Flächenbetrieb als Zubringer in Stadtrandbereichen oder peripher gelegenen Ortsteilen. Auch eine zeitliche Differenzierung der Betriebsformen ist denkbar, z.B. ein automatisierter Linienverkehr in der Haupt- und Normalverkehrszeit und ein On-Demand-Flächenverkehr in den Schwachverkehrszeiten.

### **Einsatzraum: Landgemeinde im peripheren Raum**

Landgemeinden und generell ländliche Räume werden von vielen Verkehrsexperten und politischen Entscheidungsträgern als ideales Einsatzfeld für einen On-Demand-Flächenbetrieb mit automatisiert fahrenden Kleinbussen gesehen. Im Vergleich, zu dem meist wenig attraktiven heutigen ÖPNV-Angebot, lassen sich weitgehend kostenneutral große Qualitätssprünge erzielen. Sogar Kosteneinsparungen sind möglich. Die ohnehin geringe Verkehrsnachfrage verteilt sich häufig sehr dispers im Raum. Ein On-Demand-Verkehr ohne Linien-, Fahrplan- und Haltestellenbindung ist daher für diese Verkehrsbedürfnisse die ideale Betriebsform. Neue, kurze und häufigere Verbindungen, auch zwischen kleineren Orten, werden ebenso möglich wie eine Tür-zu-Tür-Bedienung, die den Weg zu den teilweise weiter entfernten Haltestellen spart.

Die Daseinsvorsorge lässt sich mit begrenztem Aufwand im Hinblick auf die benötigte Fahrzeugzahl, die Fahrleistung und die Kosten verbessern. Dies kann zur Stärkung des ländlichen Raums beitragen. Mit rd. 2 Personen/Fahrt sind sogar relativ gute mittlere Besetzungsgrade möglich.

### **Simulation Fallbeispiel GVV Oberes Filstal: Besetzungsgrade im On-Demand-Flächenverkehr**

*In der Simulation konnten Besetzungsgrade zwischen 2,0 und 2,4 Personen je Fahrzeug erreicht werden (je nach Nachfrageszenario), was im Vergleich zu den meisten Rufbus-Angeboten in ländlichen Räumen ein relativ guter Wert ist.*

Grundsätzlich kommt auch eine Umstellung der heutigen Buslinien auf einen automatisierten Linienbetrieb in Verbindung mit Angebotsverbesserungen in Betracht. Der automatisierter Linienbetrieb ist vor allem dann vorteilhafter als ein Flächenbetrieb, wenn Topografie und Siedlungsstruktur eine klare Richtung der Verkehrsnachfrage vorgeben und damit gute Voraussetzungen für eine Nachfragebündelung bestehen. Ist dies nicht der Fall, wird man mit dem automatisierten Linienbetrieb kaum den gleichen Qualitätssprung in der Flächenbedienung erzielen wie mit On-Demand-Verkehren. Denn Räume zwischen Bedienkorridoren des Linienverkehrs bleiben unbedient, ebenso die Quer- und Tangentialrelationen. Außerdem besteht im Linienbetrieb eine Haltestellenbindung. Die „Haustür-Bedienung“ im Flächenbetrieb ist eine deutliche Komfortsteigerung, besonders im Hinblick auf den zunehmenden Anteil älterer, mobilitätseingeschränkter Personen im ländlichen Raum. Denn gerade im ländlichen Raum ist die nächste Haltestelle häufig weiter entfernt als im städtischen ÖPNV. Daher sind On-Demand-Verkehre im Flächenbetrieb – zumindest abseits der Hauptachsen und bei entsprechender Topografie und Siedlungsstruktur – für Landgemeinden mit ihrer dispersen Verkehrsnachfrage in den meisten Fällen wahrscheinlich die bessere Lösung.

Bei beiden Betriebsformen sind kaum größere Verlagerungen von Pkw-Fahrten zu erwarten, da die Bedingungen für den Pkw-Verkehr im ländlichen Raum weiterhin gut bleiben werden (hohe Pkw-Verfügbarkeit, Parkplatz „vor der Tür“, geringere Stauproblematik).

### **Simulation Fallbeispiel GVV Oberes Filstal: Umweltwirkung im On-Demand-Flächenverkehr**

*In der Simulation führte der On-Demand-Flächenbetrieb je nach Nachfrageszenario zu 2.200 – 3.300 Fahrzeugkilometer je Werktag. In diesem Fall konnte die Fahrleistung durch die wegfallenden Fahrzeugkilometer im konventionellen (Linien-) Busverkehr und die eingesparten Pkw-Fahrleistungen im MIV (Nachfrageverlagerungen auf das On-Demand-Angebot) vollständig kompensiert werden. In der Summe ergab sich sogar eine Einsparung von 600 bis 1.400 Kilometern je Werktag und damit eine positive Umweltwirkung.*

Ebenso wie in Mittelstädten ist auch im ländlichen Raum eine Kombination beider Betriebsformen denkbar: automatisierter Linienbetrieb mit dichtem Fahrtenangebot auf den ÖPNV-Hauptachsen im ländlichen Raum (bzw. auf Relationen mit hoher Nachfrage, z. B. im Schülerverkehr), fahrplan- und haltestellenungebundener On-Verkehr-Demand-Verkehr zur Flächenbedienung abseits der Achsen. Ein solches Betriebskonzept erfordert klar definierte und attraktiv gestaltete Verknüpfungspunkte zwischen Linien- und Flächenbetrieb.

### **Einsatzraum: Abgegrenzte, spezifische Nutzungsstandorte**

Spezifische Nutzungsstandorte, wie z.B. Universitätscampusse, Messe- oder Gewerbestandorte, eignen sich grundsätzlich für ein kostengünstiges internes Erschließungskonzept mit automatisiert und elektrisch fahrenden Kleinbussen, aber auch um diese Standorte an einen ÖPNV-Verknüpfungspunkt (z.B. S-Bahnhof) anzubinden. Die Nutzerzahlen werden in den meisten Fällen begrenzt sein (viele Wege werden aufgrund der geringen Entfernungen auch zu Fuß oder mit dem Fahrrad zurückgelegt), das Angebot ist gut planbar und der Betriebsaufwand damit begrenzt. Für kompakte Standorte kann so kostengünstig ein Mobilitätsangebot (insbesondere für mobilitätseingeschränkte Personen) geschaffen werden.

Verlagerungen von MIV-Fahrten sind in der Regel nur dann zu erwarten, wenn der automatisierte Kleinbusverkehr eine Anbindung zum übergeordneten ÖV-Netz herstellt, so dass multimodale Reiseketten ohne Nutzung eines privaten Pkw attraktiv werden.

Eine generelle Empfehlung zur geeigneten Betriebsform kann für diesen Einsatzraum nicht gegeben werden. Bei einer Entscheidung spielen die Nutzung, das Nachfrageaufkommen und das nutzbare Straßen- und Wegenetz eine wichtige Rolle.

Bei klarer Abgrenzung vom öffentlichen Raum und begrenzten Nutzerzahlen eignen sich spezifische Nutzungsstandorte aber besonders gut für Testbetriebe mit automatisierten (Klein-)Bussen.

### **Erkenntnisse aus weiteren Studien**

Bereits in den vergangenen Jahren wurden verschiedentlich Studien durchgeführt, um die Effekte von Mobilitätsdienstleistungen auf Basis von geteilten Fahrzeugen oder Fahrten mit automatisierten Fahrzeugflotten (Carsharing, Ridepooling) zu untersuchen. Dies sind unter anderem die Lissabon-Studie (ITF/OECD 2015a), die MEGAFON-Studie (Universität Stuttgart 2016), die Helsinki-Studie (ITF/OECD 2015b) und die Oslo-Studie (COWI/PTV 2019).

Alle oben genannten Studien arbeiten mit modellbasierten Simulationen zu unterschiedlichen Mobilitätszenarien für mittelgroße Großstädte (500.000 – 700.000 Einwohner) und deren Verdichtungsräumen. Im Fokus der Untersuchungen stehen dabei jeweils die verkehrlichen Effekte und Umweltwirkungen der Szenarien für den gesamten Untersuchungsraum. Ableitungen zu Teilräumen bzw. eine Abgrenzung von geeigneten Einsatzfeldern für Mobilitätsdienstleistungen mit selbstfahrenden Fahrzeugen unter Berücksichtigung der jeweiligen raumstrukturellen Aspekte lassen die Studiendesigns ebenso wenig zu wie eine differenzierte Bewertung, welche Einsatzfelder aus Sicht von Betreiber und Kommunen tatsächlich Sinn machen.

Zumindest die Oslo-Studie kommt zu der Kernaussage, dass Shared-Mobility-Angebote den ÖPNV nicht vollständig ersetzen können, sondern in ein ÖPNV- Angebot integriert werden müssen, wenn das Ziel der Verkehrsreduzierung erreicht werden soll. Der Austausch und die Vernetzung von Daten (auch zwischen den Anbietern) wird als essenziell für optimierte Verkehrsflüsse betrachtet.

## 10.2 Gestaltungsoptionen von On-Demand-Flächenbetrieben

Der On-Demand-Flächenbetrieb bietet gegenüber dem (konventionellen) Linienbetrieb zahlreiche zusätzliche Möglichkeiten zur Angebotsgestaltung mit entsprechenden Auswirkungen auf die Verkehrsnachfrage, die Umweltwirkung und die Wirtschaftlichkeit des Angebots. Unter anderem sind dies:

- Art der Bedienung (Haustür oder (virtuelle) Haltestellen)
- Fahrzeugflotte
- Fahrzeugkapazitäten
- Vorausbuchungszeit und maximale Wartezeit nach Bestellung einer Fahrt
- Optimierungsparameter für den Einsatz-Algorithmus: betriebliche Optimierung (nach Kosten oder Umweltwirkung) oder maximale Qualität für den Fahrgast (u.a. kurze Wartezeiten)
- Steuerung der Nachfrage (bspw. Erhöhung der Anzahl an Fahrgästen pro Fahrtbuchung durch finanzielle Anreize)

### **Simulation Fallbeispiele Stuttgart-Rohr, Göppingen und GVV Oberes Filstal: Auslastung der Fahrten im On-Demand-Flächenbetrieb**

*In der Simulation für Stuttgart Rohr gab es kaum Fahrten mit Besetzungsgraden von mehr als sieben oder acht Fahrgästen je Fahrzeug (Anteil: <10 %).*

*In Göppingen und in der GVV Oberes Filstal war der Anteil an Fahrten mit mehr als sieben Fahrgästen jeweils noch geringer (<5 %).*

*In allen Fallbeispielen hätte der Einsatz von kleineren Gefäßgrößen – unterstellt waren 12 Plätze für Fahrgäste – ausgereicht.*

## 10.3 Empfehlungen und Forschungsbedarf

Die Frage nach den geeigneten Einsatzfeldern – also der Kombination aus Einsatzraum und Betriebsformen – für den Einsatz von automatisierten und elektrischen (Klein-)Bussen (SAE-Level 4 und 5), lässt sich weniger anhand des generellen Raumtyps beantworten, sondern hängt vor allem von Umfang und Struktur der zu bedienenden Verkehrsnachfrage ab. Hier kommt es auf die Wahl des passenden Betriebskonzepts an, das unter verkehrlichen, stadträumlichen, umweltbezogenen und wirtschaftlichen Aspekten einen Fahrbetrieb zu „vertretbaren“ Bedingungen ermöglicht. Welche

Bedingungen „vertretbar“ sind, lässt sich nicht allgemein beantworten. Vielmehr sind die verschiedenen Aspekte gegeneinander abzuwägen und die Rahmenbedingungen sind im Einzelfall zu entscheiden.

Gerade die Erwartungen, die bedarfsgesteuerte On-Demand-Verkehre im Flächenbetrieb in Verbindung mit den Kostenvorteilen des automatisierten und elektrischen Fahrens wecken, sollten kritisch hinterfragt werden. Die Simulation der Fallbeispiele zeigt nämlich deutlich, dass ein solches Mobilitätsangebot sehr schnell an Grenzen stoßen kann, wenn es sich stark an der Angebotsqualität im Individualverkehr orientiert. Eine hohe Verkehrsnachfrage und/oder eingeschränkte Möglichkeiten für das Ridepooling, also die Bündelung von Fahrtwünschen in einem Fahrzeug und in einer Tour, lassen den Fahrzeugbedarf nämlich rasch ansteigen, wenn das Qualitätsniveau weiterhin gehalten werden soll. Die Folgen sind steigende Betreiberkosten für Beschaffung und Unterhalt der benötigten Fahrzeuge, aber auch eine Zunahme des Verkehrsaufkommens und stadträumliche Beeinträchtigungen aufgrund der fahrenden und wartenden Flottenfahrzeuge. In einem solchen Fall wird man das Mobilitätsangebot wieder stärker am Qualitätsniveau der Kollektivbeförderung im ÖPNV orientieren müssen, d.h. Einsatz größerer Fahrzeuge, Inkaufnahme von längeren Wartezeiten, Wegfall der Tür-zu-Tür-Bedienung oder finanzielle Anreize für geteilte Fahrten. Damit wird das Angebot für potenzielle Nutzer aber wieder unattraktiver, die Nachfrage sinkt. Hier ist ein sorgfältiges Austarieren erforderlich.

Insbesondere im ländlichen Raum sind durch On-Demand-Angebote im Flächenverkehr jedoch auch deutliche Angebotsverbesserungen möglich. Das Simulationsbeispiel im GVV Oberes Filstal zeigt, dass dies auch mit vertretbarem wirtschaftlichem Aufwand möglich ist.

Testbetriebe von automatisierten und elektrischen (Klein-)Bussen können hinsichtlich der Fragestellungen zu Einsatzfeldern und Bedienformen wichtige Erkenntnisse liefern. Voraussetzung ist jedoch, dass der Einsatzraum und die Systemeigenschaften des Testbetriebs repräsentativ für einen späteren Regelbetrieb sind. Unter den aktuellen technischen und rechtlichen Bedingungen ist dies kaum gegeben. Insbesondere die Auswirkungen des automatisierten, also fahrerlosen Betriebs, können erst dann sinnvoll eingeschätzt werden, wenn die Technologie einen Einsatz mit ausreichender Performance zulässt (u.a. realistische Geschwindigkeit). Dies gilt auch für die Nachfragewirkung der möglichen Betriebsformen und deren Ausgestaltung (Qualitätsparameter des Angebots wie z.B. die maximale Wartezeit oder die Direktheit der Reiseroute). Mögliche Piloträume müssen hinsichtlich räumlicher Begebenheiten und dem Nutzerprofil repräsentativ sein, um Rückschlüsse für weitere Einsatzfelder und -räume ziehen zu können.

Unter den gegebenen Umständen eignen sich vor allem abgegrenzte und spezifische Nutzungsstandorte im halböffentlichen Raum gut für mögliche Testbetriebe. Mit vergleichsweise geringem Aufwand lassen sich Funktion und Betrieb von automatisierten Fahrzeugen und verschiedenen Betriebsformen erproben.

Darüber hinaus bestehen noch zahlreiche offene Fragen und weiterer Forschungsbedarf. So fehlen zu On-Demand-Verkehre bisher noch empirisch ermittelte und damit belastbare Kenngrößen für die betriebliche Ausgestaltung des Systems. Dies betrifft vor allem die Servicequalität, wie z.B. von den Nutzern akzeptierte Vorbuchungs-, Warte-

und Umwegzeiten, Zeitbedarf für Ein- und Ausstiegsvorgänge usw.. Erfahrungswerte von pilothaften oder regulären On-Demand-Angeboten kommerzieller Anbieter sind in der Regel nicht veröffentlicht oder sind so speziell, dass sie sich nicht allgemein übertragen lassen. Entsprechende Kenngrößen wären jedoch wichtig, um On-Demand-Systeme besser planen und die Nachfrageeffekte besser abschätzen zu können. Nicht zuletzt könnten ÖPNV-Aufgabenträger solche Anhaltswerte verwenden, um regulative Vorgaben zur Ausgestaltung von On-Demand-Verkehren im Nahverkehrsplan zu machen. Es wäre daher wünschenswert, wenn Daten zu bestehenden On-Demand-Flächenbetrieben systematisch gesammelt und ausgewertet würden.

Auch die Möglichkeiten für eine gezielte Steuerung der Fahrtwunschbündelung, z.B. über organisatorische Maßnahmen oder finanzielle Anreize (Preiselastizitäten), sind bisher nicht hinreichend untersucht worden. Gleiches gilt für die Umwelteffekte von On-Demand-Flächenverkehren. Erkenntnisse aus dem konventionellen ÖPNV lassen sich hier nicht einfach übertragen, da On-Demand-Verkehre mit Kleinbussen im Flächenbetrieb den Nutzern eine deutlich höhere Servicequalität bieten. In diesem Kontext wären auch Erkenntnisse über die Zahlungsbereitschaft der Nutzer von On-Demand-Verkehren aufgrund des Komfortzuwachses, der sich aus einer Tür-zu-Tür-Bedienung und Wunschabfahrtszeiten ergibt, wichtig.

# 11 Baustein Systemakzeptanz

## Zentrale Botschaften

- ▶ Personen sind insgesamt sehr aufgeschlossen gegenüber der Technologie automatisierter (Klein-)Busse und glauben überwiegend, dass diese in Zukunft ein wichtiger Teil des ÖPNV sein wird.
- ▶ Personen schätzen den Aufwand der Nutzung insgesamt überwiegend als gering ein und sehen Vorteile der Technologie im Umweltschutz, einer besseren Anbindung, der Flexibilität sowie in einer erweiterten Mobilität für ältere und mobilitätseingeschränkte Personen.
- ▶ Bedenken haben Personen insbesondere hinsichtlich des Themas Sicherheit. Dies umfasst sowohl die technische Sicherheit (Unfälle, Technikausfälle, Hackerangriffen) als auch die soziale Sicherheit (Vandalismus, Gefahr durch andere Mitfahrer, wenn kein Sicherheitsfahrer mehr an Bord ist).
- ▶ Vorkenntnisse über die Technologie (bspw. erworben über Informationskampagnen, öffentliche Diskussionen oder Testbetriebe) steigern deren Akzeptanz.
- ▶ Negative Berichterstattungen, beispielsweise bei Unfällen mit automatisierten Fahrzeugen, kann die Systemakzeptanz gefährden, da Personen sehr sensibel auf diese Art von Meldungen reagieren.
- ▶ Der bisher notwendige Sicherheitsfahrer ist oftmals auch Kommunikator der Technologie und wichtiger Ansprechpartner für Fahrgäste.
- ▶ Personen sehen Einsatzmöglichkeiten in allen Raumtypen. Bisher lässt sich keine konkrete Nutzergruppe erkennen. Die Akzeptanz ist insgesamt hoch.
- ▶ Die positive Einstellung gegenüber der Technologie und die Nutzungsbereitschaft muss sich in einem konkreten Anwendungsfall nicht in der gleichen tatsächlichen Nutzungshäufigkeit widerspiegeln (Divergenz zwischen „Ich würde das tun“ und „Ich tue das“).

## 11.1 Bestehende Akzeptanzanalysen

In den letzten Jahren hat die Anzahl an Test- und Demonstrationsbetrieben von (Klein-)Bussen stetig zugenommen. Leider haben nur wenige dieser Testbetriebe Untersuchungen zur Nutzer- bzw. Systemakzeptanz durchgeführt oder bisher veröffentlicht. Zudem ist unklar, welcher Selektivität diese Studien durch speziell ausgewählte oder interessierte Teilnehmer bei Testbetrieben unterliegen. Prinzipiell lassen sich bisherige Forschungsvorhaben in zwei Gruppen kategorisieren: deskriptive Analysen (z.B. Mittelwerte, Verteilungen) aus denen Tendenzen abgeleitet werden und einige weiter gefasste Ansätze, bei denen anhand bestimmter Einflussfaktoren Akzeptanz prognostiziert werden kann. Relevante Ergebnisse existierender Studien sind im Folgenden zusammengefasst:

- Schweizer Studien aus Lausanne (Christie et al. 2016) und Sion (Eden et al. 2017a, 2017b) belegen, dass Passagiere in Testbetrieben die (Klein-)Busse positiv bewerten. Das Fahrzeug wird als hilfreich, einfach zu nutzen, funktional und als zukünftig wichtiger Teil des ÖPNV bewertet. Auch der innovative Aspekt dieser Fahrzeuge wird positiv wahrgenommen. Trotzdem wird der (Klein-)Bus im Vergleich zu heute genutzten Verkehrsmitteln nur selten besser beurteilt. Einige Probanden kritisieren den Komfort und die niedrige Geschwindigkeit (<15 km/h). Andere finden die Interaktion mit dem Fahrzeug problematisch, da das Fahrzeugverhalten als unvorhersehbar eingestuft wird. Ein Fahrer wird im Allgemeinen nicht vermisst. In Lausanne sind über 70 % der Personen bereit zwischen drei und sechs Minuten auf den Kleinbus zu warten und würden bis zu zwei Franken bezahlen. Eine weitere Studie wurde in Sion vom Marktforschungsunternehmen GIM Suisse AG zwischen April und Juni 2017 durchgeführt (Shaw 2017). GIM Suisse zeigt eine positivere Einstellung von Testfahrern zu selbstfahrenden Fahrzeugen im Vergleich zu anderen Gruppen auf. Weitere Ergebnisse sind, dass die Schweizer grundsätzlich positiv gegenüber der Technologie eingestellt sind - Männer etwas mehr als Frauen. Die Befragten können sich verschiedene Einsatzfelder für die Nutzung im Alltag vorstellen, sowie als Attraktion für Touristen. Der Testbetrieb sorgte für ein innovatives Image der Stadt und damit für Stolz der Einwohner Sions.
- Nordhoff et al. (2017) stellen bei Untersuchungen auf dem EUREF Campus in Berlin fest, dass die Erwartungen der Fahrgäste an das Fahrzeug oftmals über den tatsächlichen technischen Fähigkeiten liegen. Das Fahrzeug wird dennoch von Männern und Frauen gleichermaßen grundsätzlich positiv bewertet. Auch eine Bereitschaft zur Fahrgemeinschaft ist vorhanden. Zudem lässt sich feststellen, dass das Geschlecht keinerlei Einfluss auf die untersuchten Faktoren hat. Mit zunehmendem Alter sinkt die wahrgenommene Benutzerfreundlichkeit, ebenso reduziert sich der Effekt des sozialen Einflusses. Auch ein positiver Zusammenhang zwischen den Fahrzeugeigenschaften sowie der Fahrzeugeffektivität und der Nutzungsintention wird ermittelt. Die Probanden fühlen sich im Allgemeinen sicher im Fahrzeug, wünschen sich jedoch einen Notfallknopf. Auch der Einsatz des Sicherheitsfahrers wird positiv bewertet. Ferner ist für viele Probanden bei der Wahl des Kleinbusses der Umweltschutz relevant.
- Bei einer Vergleichsstudie von Madigan et al. (2016) im Rahmen von Citymobil2 zeigt sich, dass sich die Ergebnisse der beiden Stichproben in Lausanne (Schweiz) und La Rochelle (Frankreich) - trotz verschiedener Altersstruktur und Verkehrsmittelnutzung - nicht signifikant unterscheiden. In Lausanne waren die Teilnehmer tendenziell jünger und nutzten häufiger den ÖPNV und seltener Pkws als in La Rochelle.
- Zankl und Rehr (2018) kritisieren die Fahrzeugfähigkeiten, da Herstellerversprechen nicht eingehalten werden. Im Abschlussbericht des Testberichts aus der österreichischen Gemeinde Koppl werden technische, infrastrukturelle sowie witterungsbedingte Herausforderungen des Testbetriebes beschrieben. Erstaunlicherweise bewerten 92 % der 294 befragten Passagiere die Fahrt insgesamt trotzdem gut oder sehr gut. Gegebenenfalls ist die Toleranz höher, da man weiß, dass es sich um erste Tests der Fahrzeuge handelt.

- In schweizerischen Neuhausen, einem Vorort der Stadt Schaffhausen am Rheinfluss, stellen Wicki und Bernauer (2018) kleine Unterschiede bei der Evaluation verschiedener Risiken und Chancen zwischen verschiedenen Altersgruppen sowie Männern und Frauen fest. Frauen sorgen sich beispielsweise eher bezüglich Arbeitsplatzverlusten und dem Kontrollverlust beim Fahren. Im Allgemeinen wird die Automatisierung hingegen von Männern häufiger skeptisch betrachtet. Personen unter 40 Jahren befürchten tendenziell weniger Spaß beim Fahren und ebenfalls Arbeitsplatzverluste.

## 11.2 Akzeptanzbefragungen durch LEA(Klein-)Bus

### Onlinebefragung zur Akzeptanz

Zur Untersuchung der Systemakzeptanz wurde im Mai 2018 eine deutschlandweite Onlinebefragung durchgeführt, bei der 1.078 volljährige Personen teilnahmen. Die Teilnehmer wurden nach Alter, Geschlecht und Lage des Wohnortes anhand von Eckwerten der deutschen Bevölkerung quotiert, um eine möglichst heterogene Stichprobe zu generieren. Der Fragebogen wurde nach einer Analyse aller bisherigen Testbetriebe und bestehender Forschungsvorhaben zur Analyse der Systemakzeptanz und relevanter Einflussfaktoren entwickelt.

Nr.	Thematische Fragenzuordnung
1	Soziodemographie (Person und Haushalt)
2	Aktuelles Mobilitätsverhalten
2.1	Nutzungshäufigkeit verschiedener Verkehrsmittel und zweckgebundene Nutzung
2.2	Einstellung zu aktuellen Verkehrsmitteln
2.3	Anbindung an ÖPNV und Mobilitätstools (Fahrerlaubnis, Pkw-Verfügbarkeit etc.)
3	Einführung automatisierter (Klein-)Busse
3.1	Kenntnis der Technologie vor der Befragung
3.2	Einstellung zu automatisierten (Klein-)Bussen
3.3	Mögliche Vor- und Nachteile
3.4	Nutzungsintention in verschiedenen Situationen
4	Technik
4.1	Besitz von technischen Geräten (Smartphone, Smartwatch, Tablet)
4.2	Nutzungshäufigkeit verschiedener Funktionen
4.3	Einstellung zu Technik und technischen Innovationen
4.4	Nutzung von Fahrassistenzsystemen

Tabelle 2: Zusammensetzung des Fragebogens

## Allgemeine Bewertung der automatisierten (Klein-)Busse

- Insgesamt fällt die Bewertung der automatisiert fahrenden (Klein-)Busse sehr positiv aus. Über 60 % der Teilnehmer stimmen der Aussage zu, dass die Einführung eine gute Idee sei (1 = „trifft voll zu“ oder 2 = „trifft eher zu“ auf der Likert-Skala von 1 bis 5). Über 50 % glauben, dass automatisierte (Klein-)Busse zukünftig ein wichtiger Teil des ÖPNVs sein werden, und dass dieser durch (Klein-)Busse attraktiver wird. Auch die zukünftige Nutzung wird als einfach bewertet. 40 % können sich sogar vorstellen, auf den eigenen Pkw zu verzichten, wenn (Klein-)Busse auf Abruf von Tür zu Tür bedienen.
- Um die Hintergründe der Bewertung besser zu verstehen, wurden die Teilnehmer zudem gebeten, den Eintritt verschiedener Vor- und Nachteile beim Einsatz solcher (Klein-)Busse zu bewerten. In einer Matrix mit vorgegebenen Optionen werden mehr Mobilität für mobilitätseingeschränkte oder ältere Personen und eine bessere Anbindung durch (Klein-)Busse als die wahrscheinlichsten Vorteile bewertet (68 % und 65 %). Am unwahrscheinlichsten erscheint den Teilnehmern eine sinkende Unfallrate (37 %). Als wahrscheinlichste Nachteile werden Arbeitsplatz-verluste von Busfahrern (50 %) und die Interaktionsprobleme mit anderen Verkehrsteilnehmern (52 %) gesehen. Im Freitextfeld zur Benennung des größten Risikos und der größten Chance werden am häufigsten das Unfallrisiko (Risiko) und der Umweltschutz (Chance) genannt. Weitere mögliche Chancen seien eine bessere Anbindung und mehr Flexibilität im ÖPNV. Als Risiken werden beispielsweise noch Übergriffe oder Fehlverhalten von Mitfahrern, technische Probleme und Vandalismus genannt.
- Allgemein wünschen sich die meisten Personen eine Integration der (Klein-)Busse in das konventionelle ÖPNV-Ticket (67 %).

## Zukünftige Nutzungsabsicht der (Klein-)Busse

- Die Nutzungsintention der (Klein-)Busse wurde für verschiedene Einsatzformen untersucht: a) traditioneller Linienverkehr mit fester Route und festen Abfahrtzeiten, b) Zubringer zu bzw. von Haltestellen des bestehenden ÖVs, c) Shuttle, als Pendelverkehr in einem abgegrenzten Bereich, d) On-Demand-Service mit fester Route, der bei Bedarf zur gewünschten Haltestelle kommt und e) On-Demand-Service ohne feste Route, der in vorgegebenen Bedienegebieten von Tür zu Tür fährt. Bei letzteren beiden Einsatzformen wurde zudem zwischen alleiniger, taxiähnlicher Nutzung und der Nutzung mit weiteren Kunden unterschieden. Der Einsatz als Shuttle im abgegrenzten Bereich erhält den größten Zuspruch. Eine Erklärung hierfür ist, dass der Einsatz in abgegrenzten Bereichen das geringste Sicherheitsrisiko birgt. Dies steigert die Nutzungsabsicht.
- Die Befragten bewerteten die Nutzung des (Klein-)Busses für verschiedene Zwecke (Einkaufen, Arbeiten usw.) und als Alternative zu ihren derzeitigen Verkehrsmitteln. Hierbei wurde die Stichprobe geteilt: Eine Hälfte beantwortete die Frage unter der Annahme, dass der (Klein-)Bus im Linienverkehr fährt, die andere ging davon aus, dass der Bus auf Abruf und von Tür zu Tür fährt. Die Ergebnisse beider Gruppen weisen jedoch keine signifikanten Unterschiede auf. Der Einsatz von (Klein-)Bussen auf Freizeitwegen ist am beliebtesten, am wenigsten

können sich die Teilnehmer die Nutzung auf Geschäftswegen vorstellen. Ferner würde ein (Klein-)Bus auf Fahrten eingesetzt, die derzeit mit dem Taxi oder öffentlichen Verkehrsmitteln durchgeführt werden. Weniger Befragte würden Fuß- oder Radwege durch Busfahrten ersetzen. Insgesamt wird der Einsatz von (Klein-)Bussen sowohl in städtischen als auch in ländlichen Gebieten als sinnvoll eingestuft.

- Der Vergleich der Nutzungsintention zeigt, dass Männer – unabhängig von der Einsatzform – eine etwas höhere Bereitschaft haben, (Klein-)Busse zukünftig zu nutzen (siehe Abbildung 5).

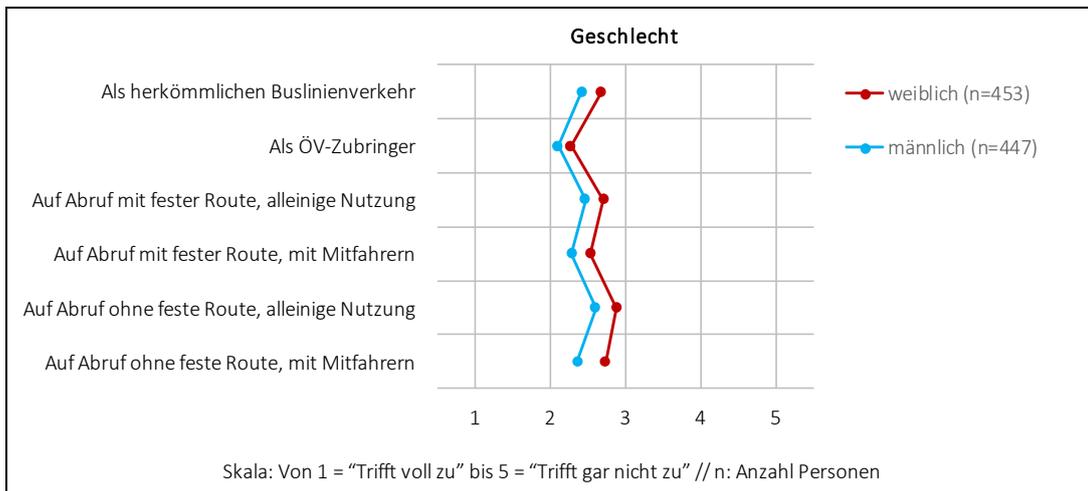


Abbildung 5 - Nutzungsintention nach Geschlecht

- Fahrrad-, ÖPNV-Nutzer und stark multimodale Personen (d.h. mit einer Nutzung von drei oder mehr Verkehrsmodi pro Woche) zeigen die höchste Bereitschaft auf, fahrerlose (Klein-)Busse zu nutzen, Autofahrer hingegen zeigen das geringste Nutzungsinteresse (siehe Abbildung 6).

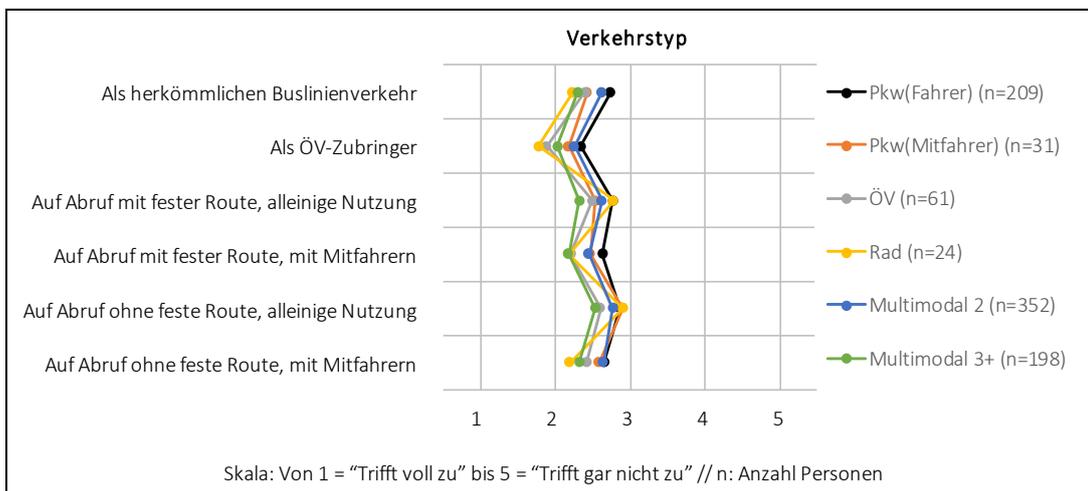


Abbildung 6 - Nutzungsintention nach Verkehrstyp

- Personen, die bereits Vorkenntnisse über fahrerlose, automatisiert fahrende (Klein-)Busse hatten, weisen ebenfalls eine leicht erhöhte Nutzungsbereitschaft auf (siehe Abbildung 7).

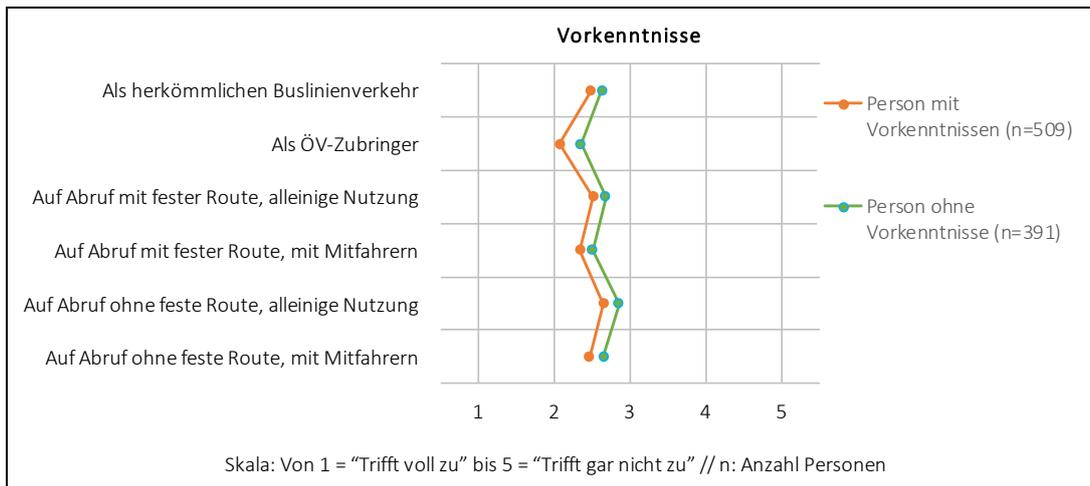


Abbildung 7 - Nutzungsintention nach Vorkenntnissen

- Die Unterschiede in der Nutzungsabsicht zwischen Altersgruppen, Wohnorten (d.h. ländlichen und städtischen Gebieten) sowie Einkommen sind bisher vernachlässigbar gering. Eine Nutzergruppendefinition anhand von diesen soziodemographischen Merkmalen ist aktuell noch nicht möglich. Auch eine Differenzierung nach Personen mit oder ohne Mobilitätseinschränkung führte nicht zu nennenswerten Unterschieden zwischen den beiden Vergleichsgruppen.

### Nutzerbefragung in Bad Birnbach

Um auch erste Eindrücke von Personen zu sammeln, die bereits einen automatisiert fahrenden Kleinbus getestet haben, wurden im November 2018 die Passagiere des Testbetriebs im Kurort Bad Birnbach (Bayern) befragt. Dort verkehrt seit Oktober 2017 ein Kleinbus als kostenfreier Shuttle zwischen dem Marktplatz und der Therme. Insgesamt erklärten sich 26 Teilnehmer bereit in einem persönlichen, Tablet-gestütztem Interview die Fahrt und einen zukünftigen Einsatz der Kleinbusse im ÖPNV zu bewerten.

- Der Großteil der Befragten nutzte den Kleinbus das erste Mal. Sie bewerteten den Sicherheitsfahrer, die Kommunikation im Fahrzeug mit diesem und anderen Fahrgästen sowie das Sicherheitsempfinden als sehr gut.
- Verbesserungspotenzial sehen sie insbesondere bei der Geschwindigkeit, da das Fahrzeug aktuell maximal 15 km/h erreicht, sowie in der Kapazität (Anzahl Sitzplätze, Möglichkeit große Gepäckstücke zu transportieren). Auch der Fahrkomfort könne durch bequemere Sitze, den Einbau einer Heizung und weniger abruptes Fahrverhalten verbessert werden.
- Insgesamt können sich über 50 % der Befragten vorstellen, einen automatisiert fahrenden Kleinbus in Zukunft (fast) täglich zu nutzen.

### Experteninterviews

Im Rahmen der im Projekt durchgeführten Experteninterviews wurden diese auch zu verschiedenen Themen rund um den Bereich der Systemakzeptanz befragt. Nachfolgend sind die wichtigsten Aussagen zusammengefasst:

- Das Themenfeld Systemakzeptanz wird von vielen Experten als wichtiger Teil zur Etablierung der Technologie gesehen. Vier Experten bewerteten die Akzeptanz sogar

als aktuell wichtigstes Themenfeld für die Einführung der Technologie hoch- und vollautomatisierter (Klein-)Busse.

- ▶ Wichtigster Faktor für die Experten im Zusammenhang mit Akzeptanz ist das Thema Sicherheit. Sicherheit sowohl in technischer als auch in sozialer Hinsicht: Die Technik der Fahrzeuge bzw. des Systems muss sicher sein. Fahrerlose Fahrzeuge dürfen keine Unfälle verursachen und Nutzer müssen der (Automatisierungs-)Technologie vertrauen können. Ohne Begleitpersonal an Bord fehlt jedoch auch die soziale Kontrolle, daher wird auch die Sicherheit in Bezug auf andere Fahrgäste als hochrelevant genannt, da der Fahrer als beobachtende/einschreitende Instanz fehlt. Experten sehen Maßnahmen zum Abbau von Berührungsängsten mit der Technologie (bspw. Notruftasten oder stichprobenhafte Kontrollen) dabei als wichtiges Mittel, dem Thema Sicherheit zu begegnen.
- ▶ Wenngleich die Bedingungen der Testbetriebe in einigen Aspekten nicht einem zukünftigen Regelbetrieb entsprechen, sind Testfahrten und Testeinsätze dennoch ein wichtiger Baustein für die Verbreitung des Wissens über die Technologie und werden von den Experten daher als notwendig erachtet. Die Experten sehen die Verantwortlichkeit bei Bund, Ländern und Kommunen sowie bei den Verkehrsbetrieben vor allem in der Rolle der Kommunikatoren und Mittler. Aufklären, Informieren, Vermarkten sind neben der Durchführung der Testbetriebe die wichtigsten Maßnahmen, die von Seite der Verantwortlichen zur Akzeptanz-steigerung unternommen werden können.
- ▶ Weiterhin berichteten viele Experten von der Relevanz der Systemverfügbarkeit für die Akzeptanz. Nur wenn ausreichend öffentliche Fahrzeuge und Beförderungsangebote zur Verfügung stehen, wird sich ein erfolgreicher Betrieb einstellen.
- ▶ Die Bereitschaft von Nutzern, sich mit anderen Personen eine Fahrt zu teilen, wird unterschiedlich bewertet. Einige Experten verweisen darauf, dass die gemeinsame Nutzung mit anderen Kunden im konventionellen ÖPNV erfolgt. Andere sehen bei Kleinbussen die kleinere Fahrzeuggröße (das „intimere Zusammensitzen“) als Unbekannte der Nutzungsbereitschaft. Über unterschiedliche Preismodelle der Fahrt im Kleinbus für eine mögliche alleinige oder verkehrspolitisch gewünschte gemeinschaftliche Nutzung kann hier steuernd eingewirkt werden.
- ▶ Abhängig von der Angebotsqualität der neuen Systeme wird der straßengebundene ÖPNV nach Meinung einiger Experten an Bedeutung gewinnen. Einerseits wird möglicherweise bislang weniger mobilen Personen eine Möglichkeit zur motorisierten Fortbewegung gegeben und damit mitunter auch zusätzliche Verkehrsleistung erzeugt. Andererseits können durch eine bessere Bedienung mittels ÖPNV neue Kunden gewonnen werden, wovon möglicherweise auch der schienengebundenen ÖPNV profitiert.

### 11.3 Gestaltungsmöglichkeiten und ihre Effekte

Basierend auf den Ergebnissen der Online-Befragung, der Nutzerbefragung in Bad Birnbach, den Experteninterviews- und -gesprächen sowie Literaturrecherchen ergeben sich im Bereich der Systemakzeptanz drei Handlungsfelder von besonderer Relevanz.

Diesen Handlungsfeldern sind unterschiedliche Gestaltungsmöglichkeiten zugeordnet, die die Akzeptanz beeinflussen können. In allen Bereichen existieren zudem Handlungs- und Forschungsbedarfe aufgrund ungeklärter Fragen und Aspekte.

### **Handlungsfeld 1 - Gewährleistung von Sicherheit**

- ▶ Der aktuell bisher rechtlich und technisch notwendige Sicherheitsfahrer spielt auch für die Systemakzeptanz bisher eine wichtige Rolle. Der Fahrer sorgt vielfach für ein hohes Sicherheitsgefühl. Er vermittelt Informationen zur Fahrzeugtechnik und beantwortet sonstige Kundenfragen. Langfristig ist, vor allem im Hinblick auf die verbesserte Wirtschaftlichkeit im fahrerlosen Betrieb (siehe Kapitel 9), dessen Einsatz zu überdenken. Im aktuellen Stadium ist er unabhängig von der rechtlichen Notwendigkeit aber ein klarer Gewinn für die Systemakzeptanz. Es sollte daher bedacht werden, dass dieser neben Fahr- sowie Überwachungsaufgaben auch eine Kommunikationsrolle ausfüllen kann. Ein genaueres Anforderungsprofil für einen solchen Sicherheitsfahrer existiert bisher nicht.
- ▶ Zur Gewährleistung von Sicherheit kann auch Überwachungstechnik eingesetzt werden. Dies kann sowohl das Vandalismusrisiko senken als auch Passagieren ein höheres Sicherheitsgefühl vermitteln, wenn die Instanz des Sicherheitsfahrers in Zukunft fehlt und der Betrieb fahrerlos erfolgt. Damit verknüpft sollten Fahrzeuge aus Sicht der Akzeptanz mit Kommunikationstechnik ausgerüstet sein. Diese muss den Passagieren ermöglichen, jederzeit mit einer Kontrollinstanz (bspw. Leitstelle) in Kontakt treten zu können, um besondere Vorfälle oder Probleme zu melden. Auch dies wird insbesondere relevant, wenn der Sicherheitsfahrer nicht mehr an Bord ist (siehe Kapitel 6).
- ▶ Im Zusammenhang mit dem Thema Sicherheit sollte auch bedacht werden, dass es wichtig ist, Beteiligte wie Fahrgäste oder auch Anwohner umfassend zu informieren (siehe auch Handlungsfeld 2). So können technische Grenzen aufgezeigt und mögliche falsche Erwartungshaltungen verhindert werden.
- ▶ Handlungs- und Forschungsbedarf ergeben sich aus den angesprochenen Punkten: Es sollte weiter untersucht werden, wie Hemmnisse und Bedenken von Personen gegenüber der Technologie ausgeräumt werden können. Hier konnte das Projekt erste Ansätze aufzeigen.

### **Handlungsfeld 2 - Informationen zur Technologie**

- ▶ Es wurde in vielen Bereichen des Projekts deutlich, dass möglichst umfassende Informationen zu der Technologie die Akzeptanz positiv beeinflussen. In diesem Zusammenhang wurden positive Beispiele genannt, die seitens der Verkehrsunternehmen als Betreiber von Test- und Regelbetrieben oder auch seitens der öffentlichen Hand wie Bund, Länder und Kommunen vorangetrieben werden können:
  - ▶ Testbetriebe sind geeignet, um die Technologie für Beteiligte greifbar zu machen, ein realistisches Bild der Technologie (zu ihrem aktuellen Stand) darzustellen und ggf. falsche Erwartungshaltungen zu korrigieren

- Bürgerforen ermöglichen eine transparente Kommunikation, die Befürworter wie Kritiker zu Wort kommen lässt. Es müssen differenzierte Diskussionen geführt werden können, die zu einem vermehrten Verständnis aller Parteien beitragen.
- Multiplikatoren können dazu dienen, die Systemakzeptanz in unterschiedlichen Zielgruppen zu erhöhen. So können beispielsweise gezielte Informationsveranstaltungen (bspw. in Schulen oder Seniorenverbänden) dafür sorgen, Technologiewissen gezielt zu vermitteln.

### **Handlungsfeld 3 - Durchführung von Test- und Regelbetrieben**

- Die Systemakzeptanz wird positiv beeinflusst, wenn bestehende Lücken in der ÖPNV-Anbindung durch den Einsatz eines fahrerlosen (Klein-)Busses geschlossen und der Fahrzeugeinsatz als Mehrwert und verbessertes (zusätzliches) ÖPNV-Angebot wahrgenommen werden. Die Mobilitätsbedürfnisse sollten durch das neue Angebot besser erfüllt werden als durch bisherige Mobilitätsoptionen. Der Erfolg des Fahrzeugeinsatzes hängt stark von den konkreten örtlichen Rahmenbedingungen (Einsatzraum und Bedienform) ab (vgl. Einsatzfelder und Bedienformen Kapitel 10).
- Auch einfach zu nutzende, intelligente Buchungs- und Bezahlssysteme können die Systemakzeptanz positiv beeinflussen. Verschiedene Buchungskanäle für die einzelnen Verkehrsmittel können zudem verhindern, dass einzelne Nutzergruppen ausgeschlossen werden, da Ihnen der technische Zugang fehlt, z.B. per App).
- Bei der Durchführung von Test- und Regelbetrieben sind die zu erwartenden Nutzer nur eine Gruppe der zu beteiligenden Akteure. Für eine hohe Systemakzeptanz sollten neben den erwarteten Nutzergruppen auch weitere Personenkreise, wie z.B. Anwohner des Einsatzgebietes, als Zielgruppe für Informationen oder im Rahmen von Beteiligungsverfahren einbezogen werden.
- Aus Sicht der potenziellen Nutzer sind bisher viele Anwendungsfälle für Fahrzeugeinsätze denkbar: Es werden keine räumlichen Wünsche und Anforderungen an künftige Einsatzplanungen von Betreibern adressiert. Dies spricht für eine aus Nutzersicht große mögliche Bandbreite künftiger Fahrzeugeinsätze.
- Es sind derzeit keine Analysen zu als bevorzugt identifizierten Nutzergruppen möglich. Das zeigt weiteren Forschungsbedarf zur Identifizierung von Nutzergruppen, auch wenn es um die tatsächlich realisierte Nutzung geht, die nicht zwingend der zu erwartenden Nutzung (abgefragt über die Online-Befragung) entsprechen muss.
- Im Zusammenhang mit Test-/Regelbetrieben sind Fragestellungen der Regulierung bisher offen (vgl. Baustein Rechtlicher Rahmen Kapitel 12). Regulierungsmechanismen eines (stark) veränderten Verkehrsaufkommens und Flächenverbrauchs durch automatisierte Fahrzeuge, auch zur Reduktion von Leerfahrten werden Auswirkungen auf die Systemakzeptanz haben. Da derartige Regulierungen bisher nicht notwendig sind und fehlen, ist zum Thema Regulierungsoptionen, aber auch deren Akzeptanz weitere Forschungsaktivität nötig.
- Die Wirkung auf die Systemakzeptanz von betrieblichen Ausgestaltungen wie angebotener Takt, Anzahl eingesetzter Fahrzeuge, Nutzerpreis und damit auf die tatsächliche Nutzung in Test-/Regelbetrieben ist nach wie vor ein Forschungsbedarf.

## 12 Baustein Rechtlicher Rahmen

### Zentrale Botschaften

- Die Ergebnisse der Recherchen, Befragungen und Diskussionen zu den rechtlichen Aspekten des Einsatzes von automatisiert fahrenden und elektrisch betriebenen Fahrzeugen in Deutschland haben zunächst zu Tage gebracht, dass für einen Einsatz automatisierter Fahrzeuge sowohl im Testbetrieb und umso mehr als (Massen-)Verkehrsmittel im Regelbetrieb die gesetzlich bestehende Grundlage nicht ausreicht und Anpassungsbedarf auf Seiten des Bundes bzgl. Zulassungsrecht, Haftungs-, Datenschutz- und Personenbeförderungsrecht besteht.

Die Auswertung der Veröffentlichungen zu den untersuchten Pilotprojekten hat keine nennenswerten juristischen Erkenntnisse geliefert. Die Veröffentlichungen befassen sich nicht oder nur sehr oberflächlich mit den rechtlichen Rahmenbedingungen des konkreten Projekts. Das Ergebnis überrascht, da die rechtlichen Anforderungen an die straßenrechtliche Zulassung automatisierter Fahrzeuge und in Bezug auf den verkehrlichen Einsatz im Rahmen des Personenbeförderungsgesetzes fast einheitlich als unzureichend beschrieben werden. Dass trotz dieses Befundes eine Auseinandersetzung in den Veröffentlichungen zu den Pilotprojekten unterbleibt, erklärt sich mit der Kleinteiligkeit der Anforderungen und den häufig situativ gefundenen Ergebnissen, welchen durch die Beteiligten selbst nur eine geringe juristische Belastbarkeit attestiert wird. Das Unterlassen der Veröffentlichung bezweckt damit den Schutz der vor Ort gefundenen Lösung.

Davon zu unterscheiden sind die wissenschaftlich-theoretischen Veröffentlichungen, welche ohne konkreten Projektbezug auskommen und in denen – in der Regel eher abstrakte – grundlegende Rechtsgebiete untersucht werden. Einen aktuellen und verständlichen Überblick vermittelt die Veröffentlichung von Jürgen Ensthaler und Markus Gollrad: „Rechtsgrundlagen des automatisierten Fahrens“ Frankfurt am Main, 2019.

Die Ergebnisse der Recherchen, Befragungen und Diskussionen zu den rechtlichen Aspekten des Einsatzes von automatisiert fahrenden und elektrisch betriebenen Fahrzeugen in Deutschland haben zunächst zu Tage gebracht, dass für einen Einsatz automatisierter Fahrzeuge sowohl im Testbetrieb und umso mehr als (Massen-)Verkehrsmittel im Regelbetrieb die gesetzlich bestehende Grundlage nicht ausreicht.

### 12.1 Zulassungsrecht – Stand und Empfehlungen

Das Zulassungsrecht unterscheidet die Anforderungen nach der zu erzielenden Geschwindigkeit und nur mittelbar über die Anforderungen in Bezug auf die zum Einsatz kommenden Automatisierungsstufen (z.B. nach SAE):

- Bis 6 km/h besteht keine Zulassungspflicht (§ 1 Fahrzeug-Zulassungsverordnung (FZV)).

- Bis 25 km/h, reicht eine Einzelbetriebserlaubnis nach § 21 Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) i.V.m. § 4 Abs. 1 FZV mit Sachverständigengutachten aus. Hierbei kann es zu abweichenden Bewertungen im Einzelfall kommen.

Die Zulassung von Fahrzeugen bis 25 km/h setzt nach geltendem Zulassungsrecht ein Sachverständigengutachten voraus. Bislang bestanden keine abgestimmten Standards, welche Anforderungen von den Fahrzeugen zu erfüllen und die Sachverständigen zu begutachten sind. Durch die Arbeitsgemeinschaft TÜV | DEKRA arge tp 21 wurde im Auftrag des Bund-Länder-Fachausschusses Technisches Kraftfahrwesen der Vorschlag für ein Merkblatt für die Begutachtung und Genehmigung von automatisiert fahrenden Kraftfahrzeugen zur Personen- oder Güterbeförderung im öffentlichen Verkehrsraum erarbeitet. Dieses wird voraussichtlich im September 2019 Merkblatt veröffentlicht.

Dieses Merkblatt wurde entwickelt, um einheitliche Standards bei der Begutachtung und Genehmigung von Kraftfahrzeugen mit automatisierten Fahrfunktionen zu schaffen. Schwerpunkte bestanden dabei in der Aufarbeitung der Auswirkungen von neuen Fahrzeugtechnologien und -konzepten auf die aktuellen Bau- und Betriebsvorschriften der StVZO und angrenzenden Rechtsvorschriften; einschließlich der Beschreibung von Sachverhalten für mögliche Abweichungen von den Bauvorschriften der StVZO. Darüber hinaus wurden die Anforderungen an die funktionale Sicherheit und die Verkehrskompetenzen solcher Fahrzeugkonzepte beschrieben.

Das Merkblatt gliedert sich somit in drei Abschnitte:

- Teil A: Beschreibung der nationalen Bauvorschriften gemäß StVZO sowie möglicher Ausnahmesachverhalte mit den daran gebundenen Auflagen und Bedingungen
  - Teil B: Beschreibung der Anforderungen hinsichtlich der erforderlichen funktionalen Sicherheit
  - Teil C: Beschreibung von Anforderungen an eine Realfahrt zur Bewertung der Verkehrskompetenz von Fahrzeugen im automatisierten Fahrbetrieb
- Ab 25 km/h ist eine Zulassung nach der Verordnung über die EG-Genehmigung für Kraftfahrzeuge (EG-FGV), EU-Rahmenrichtlinie und UN-Regelungen notwendig.

Im Berichtszeitraum wurden keine Zulassungen für automatisierten Fahrfunktionen der Automatisierungsstufe 3 bis 4 nach SAE im Einsatz von mehr als 25 km/h erteilt. Danach sind die Stufen 3 und 4 nach Wiener Übereinkommen (WÜ 1969) und Genfer Abkommen (GA 1949) dann zulässig, wenn ein Fahrer im oder am Fahrzeug anwesend ist, der die Fahrfunktion jederzeit deaktivieren kann. Auf nationaler Ebene ergeben sich die Anforderungen aus § 1a Straßenverkehrsgesetz (StVG). Danach ist der Einsatz automatisierter Fahrfunktionen der Stufe 3 und 4 mit der Straßenverkehrs-Verordnung (StVO) vereinbar, wenn die technischen Anforderungen nach § 1a Abs. 2 Nr. 2 StVG eingehalten und nach § 1a Abs. 3 StVG den dort genannten technischen Anforderungen (nach ECE-Regeln oder abweichenden Anforderungen nach Art. 20 RL 2007/467EG) zugelassen sind. Fahrfunktionen, die nach anderen technischen Anforderungen zugelassen sind (z.B. § 70 Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung

(StVZO)) sind generell nicht von § 1a StVG umfasst. Probefahrten mit Begleitpersonal oder Testfahrten fallen nicht unter § 1a StVG. Diese sind wie Fahrzeuge der Automatisierungsstufe 2 zu behandeln und zuzulassen.

## 12.2 Haftungsrecht – Stand

Gegenwärtig kommt für einen im Verkehrsunfall erlittenen Schaden der Regress gegenüber dem schuldhaft handelnden Fahrzeugführer (§ 18 StVG), verschuldensunabhängig der haftende Fahrzeughalter (§ 7 StVG) und der Fahrzeughersteller (Produzentenhaftung, Produkthaftung, Zuliefererhaftung) in Betracht. Für den Geschädigten würde die verschuldensunabhängige Halterhaftung, wie gehabt, (oder bei der Verantwortung mehrerer, § 17 StVG) einen Anspruchsgegner bereithalten, so dass es hier nicht zu Haftungslücken kommt. Wird ein automatisiertes Fahrzeug gesteuert, modifizieren sich die verkehrsüblichen Pflichten des Fahrzeugführers. Dieser haftet nicht, wenn er die automatisierte Fahrfunktion bestimmungsgemäß verwendet.

## 12.3 Personenbeförderungsrecht – Stand und Empfehlungen

Das BMVI hat ein sog. Eckpunktepapier für eine Novelle des Personenbeförderungsgesetzes vorgelegt. Die Regelungen zielen darauf ab, - jenseits der etablierten Verkehrsformen – auch neue Formen der entgeltlichen oder gewerblichen Beförderung zu erleichtern. Das BMVI hat angekündigt, für die Reform des Personenbeförderungrechts zunächst die Entscheidung des Bundesverwaltungsgerichts zur Anwendung von allgemeinen Vorschriften abzuwarten. Die mündliche Verhandlung ist für den Herbst 2019 terminiert. Es ist daher davon auszugehen, dass vor dem Jahr 2020 keine Änderung des Rechtsrahmens zur gewerblichen Erlaubnis eintritt.

Aus der praktischen Erfahrung ist Anbietern zu empfehlen, die konkreten verkehrlichen Modelle möglichst rechtzeitig mit der zuständigen Genehmigungsbehörde abzustimmen. Da zwischen den Genehmigungsbehörden in Deutschland unterschiedliche Gewichtungen in Bezug auf die Relevanz und Disponibilität von gesetzlichen Genehmigungsmerkmalen des Linienverkehrs bestehen und die verkehrliche Situation vor Ort einer pauschalen Betrachtung entgegensteht, sollten die jeweiligen verkehrlichen Modelle möglichst rechtzeitig mit der Genehmigungsbehörde thematisiert werden.

Aufgrund der im Projekt durchgeführten Befragung von Genehmigungsbehörden zur Genehmigungspraxis bei sog. typengemischten Verkehren nach § 2 Abs. 6 Personenbeförderungsgesetz (PBefG) und Experimentierverkehren nach § 2 Abs. 7 PBefG können gleichwohl folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

Die Auswertung der Veröffentlichungen zu den untersuchten Pilotprojekten hat keine nennenswerten juristischen Erkenntnisse geliefert. Die Veröffentlichungen befassen sich nicht oder nur sehr oberflächlich mit den rechtlichen Rahmenbedingungen des konkreten Projekts. Das Ergebnis überrascht, da die rechtlichen Anforderungen an die straßenrechtliche Zulassung automatisierter Fahrzeuge und in Bezug auf den verkehrlichen Einsatz im Rahmen des Personenbeförderungsgesetzes fast einheitlich als unzureichend beschrieben werden. Dass trotz dieses Befundes eine Auseinandersetzung

in den Veröffentlichungen zu den Pilotprojekten unterbleibt, erklärt sich mit der Kleinteiligkeit der Anforderungen und den häufig situativ gefundenen Ergebnissen, welchen durch die Beteiligten selbst nur eine geringe juristische Belastbarkeit attestiert wird. Das Unterlassen der Veröffentlichung bezweckt damit den Schutz der vor Ort gefundenen Lösung.

Davon zu unterscheiden sind die wissenschaftlich-theoretischen Veröffentlichungen, welche ohne konkreten Projektbezug auskommen und in denen – in der Regel eher abstrakte – grundlegende Rechtsgebiete untersucht werden. Einen aktuellen und verständlichen Überblick vermittelt die Veröffentlichung von Jürgen Ensthaler und Markus Gollrad: „Rechtsgrundlagen des automatisierten Fahrens“ Frankfurt am Main, 2019.

Die Ergebnisse der Recherchen, Befragungen und Diskussionen zu den rechtlichen Aspekten des Einsatzes von automatisiert fahrenden und elektrisch betriebenen Fahrzeugen in Deutschland haben zunächst zu Tage gebracht, dass für einen Einsatz automatisierter Fahrzeuge sowohl im Testbetrieb und umso mehr als (Massen-)Verkehrsmittel im Regelbetrieb die gesetzlich bestehende Grundlage nicht ausreicht.

## 13 Baustein Marktentwicklung und mögliche Geschäftsmodelle

### Zentrale Botschaften

- Betreiber von automatisierten (Klein-)Busflotten werden zukünftig aller Voraussicht die Betriebskostenvorteile nutzen, um vor allem nachfragegesteuerte On-Demand-Verkehre im Flächenbetrieb anzubieten, die stärker auf die Kundenbedürfnisse (möglichst schnell, flexibel, individuell und preiswert) ausgerichtet sind.
- Eine Marktregulierung durch die öffentliche Hand mit dem Ziel, einerseits zusätzliche Verkehrsbelastungen durch On-Demand-Verkehre in den Städten zu vermeiden und Angebotsniveau und -qualität des öffentlichen Verkehrs im ländlichen Raum zu verbessern, sollte angestrebt werden und ist auch sehr wahrscheinlich.

### 13.1 Treiber und Trends für neue Geschäftsmodelle

Die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle im Personenbeförderungsmarkt ist auf zwei wesentliche technologische Treiber zurückzuführen, die mit der Digitalisierung der Mobilität einhergehen:

- Zum einen eröffnen die geringeren Betriebskosten durch die fahrerlose Beförderung und den Einsatz von automatisierten, elektrisch angetriebenen Fahrzeugen vielfältige Möglichkeiten für neue Angebotsformen, die bisher aus wirtschaftlichen Gründen nicht in Betracht kamen, die sich in vielen Fällen zukünftig aber eigenwirtschaftlich (d.h. ohne Zuschüsse der öffentlichen Hand) und gewinnorientiert betreiben lassen.
- Zum anderen ermöglicht der Einsatz von intelligenten Routingalgorithmen, ein effizientes Flottenmanagement mit einem höheren Bedienungskomfort für die Kunden zu verbinden (möglichst Tür-zu-Tür-Beförderung auf dem schnellsten Weg zu der vom Kunden gewünschten Zeit).

Hinzu kommen mit der „Sharing-Ökonomie“ (Teilen von Ressourcen) und der „Plattform-Ökonomie“ (Verknüpfung von Daten und Informationen verschiedenster Produkt- und Dienstleistungsanbieter über digitale Plattformen mit den Profilen potenzieller Nutzer) zwei globale Ökonomie-Trends, die auch den Mobilitätsmarkt prägen. Die Schnittstellen zum intelligenten Routingalgorithmus sind dabei sehr eng. Verkehrsteilnehmer erhalten damit deutlich mehr und sehr viel bequemer Informationen über Mobilitätsalternativen. Perspektivisch wird eine vollständige Integration von erforderlichen Buchungs- und Bezahloptionen angestrebt.

In diesen Rahmen ordnen sich auch mögliche neue Geschäftsmodelle für automatisiert und elektrisch fahrende (Klein-)Busse ein.

## 13.2 Mögliche Angebotsformen und Dienstleistungen

Das hoch- und vollautomatisierte Fahren (SAE-Level 4/5) wird zwar erst langfristig möglich sein. Gerade der ÖPNV bietet aber dafür bessere Einsatzmöglichkeiten als der motorisierte Individualverkehr. Denn Betreiberstrukturen und Leitzentralen sind im ÖPNV in aller Regel schon vorhanden und der Fahrzeugeinsatz ist betrieblich wie technisch weniger anspruchsvoll, denn Bedienungsgebiete und zu befahrende Strecken lassen sich klar abgrenzen. Die Umstellung auf einen automatisierten, fahrerlosen und elektrischen Betrieb ist für sich genommen aber noch kein neues Geschäftsmodell. Neue Geschäftsmodelle kommen erst dann ins Spiel, wenn die Einsparungen auch für neue Angebotsformen wie On-Demand-Verkehre im Flächenbetrieb genutzt werden (keine Linien- und Fahrplanbindung, Wunschzeit-Fahrten, Tür-zu-Tür-Bedienung, App-basierte Fahrtbuchung, Einsatz intelligenter Routingalgorithmen). Alle bisherigen Überlegungen von etablierten und neuen Mobilitätsanbietern deuten darauf hin, dass die Entwicklung in Richtung dieser bedarfsgerechten, flexiblen Angebote gehen wird. Potenzielle Betreiber – ÖPNV-Betreiber ebenso wie kommerziell agierende Start-Ups – streben demnach Mischformen an, welche die aus Kundensicht bestehenden Vorteile der Individualbeförderung (Taxi) mit den betrieblichen Vorteilen der Kollektivbeförderung (Bus) über eine Bündelung der Fahrtwünsche (Ridepooling) verknüpfen.

Je nach Einsatzraum bzw. Raum-Lage-Typ erwarten die Verkehrsexperten neue Geschäftsmodelle auf der Basis unterschiedlicher Angebotsformen:

- ▶ In potenzialstarken Großstädten und Verdichtungsräumen mit häufig bündelbaren Verkehrsströmen könnten bedarfsorientierte, flexible Systeme eine Ergänzung zum linien- und fahrplangebundenen ÖPNV (U-Bahn, S-Bahn, Straßenbahn, nachfragestarke Buslinien, ggf. auch fahrerlos) sein:
  - ▶ On-Demand-Verkehre mit Kleinbussen für die kleinräumige Quartierserschließung sowie als „Erste/Letzte-Meile-Service“ im Vor- und Nachlauf zum linien- und fahrplangebundenen ÖPNV;
  - ▶ On-Demand-Verkehre als komfortables Alternativangebot zum preiswerteren ÖPNV mit Linien-, Fahrplan- und Haltestellenbindung, z.B. fahrerlose Kleinfahrzeuge mit Tür-zu-Tür-Bedienung, Möglichkeit der Individualbeförderung und höheren Preisen als im ÖPNV;
  - ▶ Shuttle-Verkehre mit automatisierten Kleinbussen als neues Angebot zur Erschließung von spezifischen Nutzungsstandorten, z.B. Messe- und Klinikstandorte, größere Betriebe, Freizeit- und Tourismusziele, je nach Situation mit oder ohne Anbindung an den linien- und fahrplangebundenen ÖPNV.
- ▶ In den oftmals nachfrageschwächeren suburbanen oder ländlichen Räumen könnten On-Demand-Verkehre als Ersatz des linien- und fahrplangebundenen ÖPNV eingesetzt werden, der sich dann auf die nachfragestarken Relationen konzentriert:
  - ▶ flächendeckende On-Demand-Verkehre im ländlichen Raum zur klein- und großräumigen Erschließung als Ersatz für Regionalbusverkehre in Gebieten mit eingeschränkten Möglichkeiten zur Nachfragebündelung;
  - ▶ On-Demand-Verkehre zur innerörtlichen Erschließung kleinerer Städte bzw. als Ersatz für kleine Stadtbusverkehre;

- ▶ On-Demand-Verkehre als Zubringer zum linien- und fahrplangebundenen ÖPNV, wo immer dies möglich ist (v.a. Verknüpfung mit dem Schienenpersonennahverkehr und nachfragestarken Regionalbuslinien);
- ▶ auch die Schülerbeförderung im ländlichen Raum – aufgrund der zeitlich begrenzten hohen Nachfrage typischerweise eine Domäne für fahrplangebundene Linienbusse – könnte überall dort ein Einsatzfeld für automatisiert fahrende Kleinbusse sein, wo sich durch Einsatz einer größeren Zahl von Fahrzeugen die Reisezeiten für Schüler deutlich verringern lassen.

Aber es gibt noch weitere Ansätze für neue Geschäftsmodelle mit automatisiert und elektrisch fahrenden (Klein-)Bussen:

- ▶ Ein multifunktional genutzter Fahrzeugpool mit Sharing-Modell ermöglicht es, dass neben kommerziellen Anbietern von Personenbeförderungsleistungen auch Betriebe, Vereine, Privatpersonen oder sonstige Institutionen Zugriff auf die Fahrzeuge haben und für ihre Zwecke nutzen können. Zu klären wäre in dem Fall insbesondere, wer Besitzer bzw. Betreiber des Fahrzeugpools sein könnte, sowie ggf. auch Haftungsfragen. Über den Sharing-Ansatz kann eine höhere und gleichmäßigere Auslastung der Fahrzeuge erreicht werden.
- ▶ Ein weiterer Ansatz für ein Geschäftsmodell ist die Nutzung der eigentlich für die Personenbeförderung vorgesehenen Fahrzeuge für die Warendistribution bzw. für Zustelldienste (Zankl, Rehl 2018: 16) außerhalb der Personenbeförderungszeiten. Auch hier geht es um eine bessere Nutzung der Ressource Fahrzeug. In diesem Zusammenhang wäre zu klären, ob die Fahrzeuge eventuell eine Sonderausstattung für den Warentransport benötigen.
- ▶ Mit Blick auf den Vertrieb von Mobilitätsdienstleistungen mit automatisierten Fahrzeugen sind auch Kooperationen mit Anbietern anderer Dienstleistungen möglich. Denkbar wäre z.B. die Integration der Buchungsmöglichkeit für den Fahrtservice in die Apps von stationären Anbietern, wie z.B. eines Supermarkts.
- ▶ Ein weiteres wichtiges Geschäftsfeld für Mobilitätsanbieter ist die Erfassung und Verwertung von Nutzer- und Nutzungsdaten im Zusammenhang mit Mobilität. Über Nutzerprofile, Auskunftssysteme, Nutzungs-, Buchungs- und Bezahlvorgänge verfügen die Betreiber von On-Demand-Verkehren und anderen Mobilitätsdienstleistungen (Mobilitätsplattformen, Sharing-Angebote usw.) über eine Vielzahl von Verhaltensinformationen und Präferenzen ihrer Kunden, die zum Teil weit über die Mobilität hinausgehen und die sich in anonymisierter oder – soweit mit dem Datenschutz vereinbar – in personalisierter Form aufbereiten und vermarkten lassen.

### 13.3 Potenzielle Anbieter von Mobilitätsdienstleistungen

Es ist absehbar, dass neue Angebotsformen die heutigen Linienbusverkehre zumindest teilweise und die Taxiverkehre weitgehend verdrängen werden. Zu erwarten ist aber auch, dass der Mobilitätmarkt in Deutschland auch in Zukunft vielfältig bleibt und nicht von wenigen, überregional oder international agierenden Unternehmen dominiert wird. Die Marktstrukturen werden sich ändern: Etablierte Mobilitätsanbieter werden vom Markt verschwinden oder sich neu aufstellen, neue Anbieter werden hinzukommen. Auch die

häufig bestehende territoriale Abgrenzung im ÖPNV-Markt wird sich zwar nicht vollständig auflösen, aber verändern. Dies führt zu der Frage, welche Mobilitätsanbieter den künftigen Markt bestimmen werden und ob eine Marktregulierung zu erwarten ist.

Mit Blick auf die Positionierung der zukünftigen Mobilitätsanbieter zeichnet sich folgendes Bild ab:

- **ÖPNV-Unternehmen:** Deren Marktpositionierung hängt vermutlich sehr stark von der Größe, der Leistungsfähigkeit und der Innovationskraft des Unternehmens ab. Überregional agierende (private) Verkehrsunternehmen, aber auch große kommunale Verkehrsunternehmen verfügen über das notwendige Innovations- und Finanzierungspotenzial, um sich vom klassischen ÖPNV-Betreiber zu einem umfassenden Mobilitätsdienstleister weiterzuentwickeln, entweder eigenständig oder durch Kooperationen mit passenden Partnern. Die Möglichkeit, mit einem breit aufgestellten Angebotsportfolio (Linienverkehr, On-Demand-Verkehre, Carsharing, Fahrrad- und E-Scooter-Verleihsysteme) integrierte, multimodale Mobilitätslösungen von der Wegeplanung über die Buchung, Beförderung bis hin zu Bezahlung bzw. Abrechnung anbieten zu können, wird als Strategie für eine erfolgreiche Kundenbindung gesehen. Förderlich ist dabei, dass sie in der Regel bereits lang im Markt etabliert sind und über einen großen Kundenstamm mit den entsprechenden Kundendaten verfügen, um maßgeschneiderte Lösungen anbieten zu können.

Kommunale Verkehrsunternehmen kommen dabei in den Genuss des Konkurrenzschutzes durch die Regelungen der EU-VO 1370/2007<sup>3</sup>, zumal gerade in den größeren Städten ein nicht unerheblicher Anteil des klassischen, aber nicht kostendeckend zu betreibenden ÖPNV-Geschäfts (fahrplangebundener Linienverkehr), auch weiterhin erhalten bleiben wird.

Viele mittelständische Verkehrsunternehmen werden sich vermutlich auf das ÖPNV-Kerngeschäft konzentrieren und mit Partnern verstärken, die ergänzende Mobilitätsdienstleistungen erbringen, wozu auch On-Demand-Flächenverkehre zählen können. Voraussetzung ist, dass es vor Ort geeignete Partner gibt.

Kleinere ÖPNV-Unternehmen, vor allem im ländlichen Raum, werden jedoch unter Druck geraten, weil der Anteil der klassischen Linienverkehre – ihr Kerngeschäft – zugunsten von On-Demand-Flächenverkehren kleiner wird und die notwendige Umstellung des Flottenbetriebs ihre Leistungsfähigkeit übersteigt. In diesem Marktsegment könnte sich dann eine Arbeitsteilung ergeben zwischen regionalen mittelständischen bzw. großen, überregional agierenden Verkehrsunternehmen, die das ÖPNV-Kerngeschäft übernehmen, und überregional agierenden Betreibern von automatisierten Kleinbusflotten, die bedarfsgesteuerte Mobilitätsangebote in der Fläche bieten. Kleine ÖPNV-Unternehmen würden dabei aus dem Markt verdrängt.

- **ÖPNV-Verkehrsverbände:** Verkehrsverbände werden sich zu Mobilitätsverbänden weiterentwickeln. Neben den heutigen ÖPNV-Unternehmen wird man Anbieter

---

<sup>3</sup> Die Verordnung (EG) Nr. 1370/2007 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2007 regelt die Vergabe und Finanzierung von im öffentlichen Interesse liegenden Personenverkehrsleistungen, die auf Basis der am Markt erzielbaren Erlöse von Verkehrsunternehmen nicht erbracht werden, durch die dafür zuständigen Behörden. Sie umfasst den gesamten öffentlichen Personenverkehr im Bereich des Schienenverkehrs und auf der Straße.

ergänzender Angebote und Dienstleistungen einbinden müssen. Wichtigste Aufgabe der Verbundorganisationen wird es sein, die Interessen der beteiligten Unternehmen auszutarieren, im Falle von Aufgabenträgerverbänden die Interessen der ÖPNV-Aufgabenträger zu vertreten und vor allem darauf zu achten, dass aus Nutzersicht ein auf allen Ebenen, d.h. physisch, informatorisch, organisatorisch und tariflich, vernetztes und integriertes Mobilitätsangebot entsteht. Zentrale Aufgaben in diesem Kontext könnten sein:

- die Festlegung von verkehrsmittelübergreifenden Angebotsstandards und die Angebotsplanung für Kommunen zur Gewährleistung einer flächendeckenden Versorgung;
- das Ermöglichen von neuen zukunftsfähigen Geschäftsmodellen für die bestehenden Verkehrsunternehmen;
- die Festlegung von Voraussetzungen und Rahmenbedingungen für die Mitarbeit im Mobilitätsverbund und den Markteintritt neuer Anbieter;
- die Kontrolle der Einhaltung von Vertrags- und Rahmenbedingungen in einem regulierten Mobilitätsmarkt;
- die Mobilitätsvermittlung und -vermarktung (z.B. als Anbieter von integrierten Auskunftssystemen und Tarifprodukten).
- **Taxiunternehmen:** Das klassische Taxigewerbe wird durch automatisierte Kleinbusflotten und Robotaxi-Verkehre vermutlich weitgehend vom Markt verschwinden, höchstens noch als Nischenprodukt in größeren Städten überleben.
- **Neue Betreiber hoch- und vollautomatisiert fahrender Kleinbusflotten:** Sehr wahrscheinlich ist, dass sich neue finanzstarke Anbieter von automatisiert fahrenden Kleinbusflotten am Markt etablieren, die von Automobilherstellern oder großen, international agierenden Kapital- und Internetunternehmen finanziert werden. Erste Aktivitäten dieser Akteure bestehen derzeit im Carsharing (z.B. car2go, DriveNow) und im Ridesharing (z.B. MOIA, Uber, BlaBlaCar). Ein Einstieg als Betreiber automatisierter Kleinbusflotten ist jedoch bei entsprechender Marktreife der Fahrzeuge sehr wahrscheinlich. Neben der Suche nach neuen Einnahmequellen steht für die Akteure dabei auch die Datenverwertung als Geschäftsmodell im Vordergrund. Dabei stehen beide Akteure in Konkurrenz zueinander, wobei Kapital- bzw. Internetunternehmen über enorme finanzielle Ressourcen verfügen, um global zu agieren, neue Märkte zu erschließen und Skaleneffekte realisieren zu können.
- **Betreiber von Mobilitätsplattformen und Anbieter von intelligenten Routing-Algorithmen:** Ihre zukünftige Bedeutung ist noch umstritten. Werden ihre Produkte zum entscheidenden Treiber bei der Entwicklung des Mobilitätsmarkts? Oder liegt die größere Wertschöpfung in der Erfassung und Verwertung von Kundendaten durch die Angebotsbetreiber? Dabei erscheint die Vernetzung unterschiedlicher Systeme zu einem integrierten Mobilitätsangebot, wie es auf der Informationsebene dem Geschäftsmodell der Plattformanbieter entspricht, bedeutender für den Markterfolg zu sein.

## 13.4 Randbedingungen im zukünftigen Mobilitätsmarkt

Welche neuen Geschäftsmodelle sich am Ende durchsetzen werden und wo dies sein wird, hängt nicht zuletzt an den Randbedingungen im zukünftigen Mobilitätsmarkt, die von den potenziellen Nutzern und der öffentlichen Hand gesetzt werden.

Noch ist nicht absehbar, ob es aus Gründen der Nutzerakzeptanz zukünftig Sicherheitspersonal in den fahrerlosen, fernüberwachten Fahrzeugen braucht (vgl. Baustein Systemakzeptanz Kapitel 11). Auch erwarten die zukünftigen Nutzer einen Mehrwert gegenüber dem heutigen ÖPNV, indem bestehende Defizite beseitigt werden, z.B. durch die Einführung von einfach zu nutzenden, intelligenten Buchungs- und Bezahlssystemen. Beides kostet den Betreiber Geld. Nicht zuletzt bestimmen die Nutzer auch selbst, wo sich entsprechende Geschäftsmodelle entwickeln werden.

Die künftige Ausgestaltung des Rechtsrahmens ist unklar. Voraussichtlich werden das Personenbeförderungsrecht, das Zulassungsrecht und das Haftungsrecht angepasst (vgl. Baustein Rechtlicher Rahmen Kapitel 12). Umfang und Auswirkungen sind zwar noch nicht absehbar, setzen aber den Rahmen für neue Geschäftsmodelle. In diesem Zusammenhang stellt sich auch die Frage nach einer Marktregulierung und der Finanzierung von neuen Mobilitätsangeboten außerhalb des konventionellen ÖPNV, und zwar unabhängig von der Automatisierung der Fahrzeugflotten, wobei die wirtschaftlichen Chancen der Automatisierung der Marktentwicklung aber einen deutlichen Schub verleihen werden. Unter umwelt-, verkehrs- und strukturpolitischen Aspekten kann eine Marktregulierung durchaus wünschenswert sein, um z.B.

- ▶ konkurrierende Überangebote von Beförderungsservices mit automatisierten Fahrzeugen in den ohnehin vom Verkehr überlasteten Städten und Verdichtungsräumen zu verhindern (→ Konzessionserteilung),
- ▶ Mindeststandards setzen zu können (→ Konzessionserteilung, ggf. Finanzierung durch öffentliche Hand),
- ▶ „Rosinenpickerei“ von ertragsstarken Relationen in einem Netz aus nachfragestarken und -schwachen Relationen zu vermeiden (→ gebündelte Vergabe von öffentlich finanzierten Verkehrsleistungen unterschiedlicher Art),
- ▶ ein Etablieren von bedarfsgerechten, flexiblen Verkehren in sehr nachfrageschwachen Räumen zu fördern, in denen gewinnorientierte Anbieter trotz der wegfallenden Fahrerkosten keine Möglichkeiten für einen eigenwirtschaftlichen Betrieb sehen (→ Finanzierung durch öffentliche Hand).

Voraussetzung wird jedoch sein, dass neue Mobilitätsangebote, die den konventionellen ÖPNV ergänzen oder ersetzen, in die ÖPNV-Finanzierung der öffentlichen Hand einbezogen werden und die Finanzierungsmittel für den ÖPNV nicht gekürzt werden, sondern zur Verbesserung und Ausweitung des heutigen ÖPNV-Angebots verwendet werden (größeres Fahrtenangebot, Tür-zu-Tür-Bedienung).

Damit sind neben der Gewährleistung der technischen Voraussetzungen für den automatisierten Fahrbetrieb zugleich die Gestaltungsmöglichkeiten der öffentlichen Hand (Bund, Länder und Kommunen) in Bezug auf die Marktentwicklung und Förderung neuer Geschäftsmodelle umrissen. Dies gilt auch für künftige Testbetriebe (SAE-Level 2/3), die dazu genutzt werden sollten, um Marktentwicklungen frühzeitig zu erkennen.

## 14 Schlussfolgerungen

Ein fahrerloser, vernetzter Betrieb von öffentlichen Verkehrsangeboten eröffnet neue Möglichkeiten für eine flexiblere und kostengünstigere Angebotsgestaltung und Betriebsorganisation. Wenn es sich dabei um elektrisch betriebene Fahrzeuge handelt, kann der ÖPNV-Betrieb zudem energiesparender und ressourcenschonender als mit konventionellen ÖPNV-Fahrzeugen erfolgen. Trotz derzeit bestehender Unsicherheiten bezüglich der Kostenentwicklung ist davon auszugehen, dass Automatisierung, Vernetzung und Elektrifizierung aufgrund deutlich geringerer Betriebskosten Spielräume für neue Bedienkonzepte schaffen. Ein breiteres Spektrum an Bedienungskonzepten mit unterschiedlichen Fahrzeuggrößen und Komfortstufen ermöglicht es den Betreibern, flexibler als bisher auf die Komfortexpectationen verschiedener Nutzergruppen einzugehen.

Die Simulationsrechnungen innerhalb des Projekts „LEA(Klein-)Bus“ konnten zeigen, dass der automatisierte Fahrbetrieb mit elektrischen (Klein-)Bussen - unabhängig von den Einsatzräumen und der Betriebsform - ein besseres Fahrtenangebot und höheren Komfort zu gleichen Kosten bieten kann. Insbesondere eine bedarfsgerechte, nutzerorientierte Personenbeförderung mit Tür-zu-Tür-Bedienung kann die Attraktivität von ÖPNV-Angeboten für den Nutzer erheblich steigern, wenn sich auch gleichzeitig höhere Anforderungen an die Betriebsorganisation, das Flottenmanagement und die Betriebsinfrastruktur ergeben. Solche On-Demand-Systeme stoßen bei hoher Nachfrage und eingeschränkten Möglichkeiten zur Nachfragebündelung aufgrund des hohen Fahrzeugbedarfs schnell an betriebliche und wirtschaftliche Grenzen und können so zu unerwünschten Verkehrs- und Umweltbelastungen führen. Das eingesetzte Betriebskonzept muss daher unter den verkehrlichen, stadträumlichen, umweltbezogenen und wirtschaftlichen Aspekten einen Fahrbetrieb zu „vertretbaren“ Bedingungen ermöglichen.

Nachfrageschwächere suburbane oder ländliche Räumen mit dispers verteilten Mobilitätsbedarfen und überschaubarem Nachfrageaufkommen können enorm vom bedarfsorientierten Einsatz automatisiert, vernetzt und elektrisch fahrender Kleinbusflotten profitieren. Hier können Kleinbusse als Ersatz des linien- und fahrplangebundenen ÖPNV dienen oder eine Angebotslücke im ÖPNV schließen. In Groß- und Mittelstädten sowie Verdichtungsräumen können On-Demand-Verkehre im Flächenbetrieb für die kleinräumige Quartierserschließung oder die Erschließung spezifischer Nutzungsstandorte sowie als Erste- bzw. Letzte-Meile-Service im Vor- und Nachlauf zum linien- und fahrplangebundenen ÖPNV eingesetzt werden. Dabei handelt es sich weniger um einen Ersatz als um eine Ergänzung zum linien- und fahrplan-gebundenen ÖPNV. Im Linienverkehr können fahrerlose (Klein-)Busse kostengünstiger eingesetzt werden und ermöglichen bspw. ein besseres Serviceangebot bei gleichbleibenden Kosten.

Die bisher gesammelten Erfahrungen aus den Testbetrieben mit automatisierten Kleinbussen zeigen eine hohe Verkehrssicherheit und Akzeptanz der eingesetzten Fahrzeuge. Hindernisse auf dem Weg wurden sicher erkannt. Die Befragungen zur Akzeptanz von automatisierten Kleinbussen im ÖPNV zeigten eine große Offenheit aller Personengruppen gegenüber der neuen Technologie. Auch die (potenziellen) Nutzer erwarten Vorteile hinsichtlich des Umweltschutzes, eine bessere und flexiblere

Anbindung und ein Mehr an Mobilität für ältere und mobilitätseingeschränkte Personen durch den Einsatz von automatisierten, elektrisch fahrenden Kleinbussen.

Für einen künftigen Regelbetrieb ohne Sicherheitsfahrer – seine Anwesenheit im Fahrzeug ist heute rechtlich wie technisch erforderlich – ist noch Weiterentwicklungs- und Anpassungsbedarf. Das Zulassungsrecht untersagt bislang das Fahren ohne einen Fahrer im oder am Fahrzeug, der die Fahrfunktion jederzeit deaktivieren kann. Darüber hinaus ist ab einer Geschwindigkeit von 25 km/h eine Zulassung nach Fahrzeug-genehmigungsverordnung, EU-Rahmenrichtlinie und UN-Regelungen notwendig. Doch auch für die aktuell laufenden Testbetriebe, mit Sicherheitsfahrer und einer Höchstgeschwindigkeit von 25 km/h, sind die Zulassungs- und Genehmigungsprozesse extrem langwierig, denn es handelt sich um Einzelerlaubnisse. Eine abgestimmte Systematisierung von fahrzeug-, straßenverkehrszulassungs- und straßenordnungsrechtlichen Regelungen ist zu entwickeln und die Erarbeitung von Leitlinien für die Begutachtung und Zulassung zu fördern. Für die leichtere Genehmigung von On-Demand-Verkehren sind zusätzliche Anpassungen im Personenbeförderungsgesetz vorzunehmen. Es wird empfohlen, eine neue Verkehrsform, den sog. Flächenverkehr, einzuführen. Wünschenswert ist eine regulative Chancengleichheit der Verkehrsformen Flächenverkehr und Linienverkehr mit ähnlichen Rechten und Pflichten.

Die Technologie und Ausstattung der Fahrzeuge muss dahingehend weiterentwickelt werden, dass ein regulärer Fahrbetrieb ermöglicht ist. Die heutigen Fahrzeug-Prototypen sind noch nicht in der Lage, die erkannten Hindernisse eigenständig zu umfahren. Die Fahrzeuge sollten, wenn sie vom Hersteller ausgeliefert werden, den Vorschriften der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung entsprechen. Das ist derzeit nicht der Fall. Um maximale Sicherheit beim Fahrzeugeinsatz zu gewährleisten, muss die Redundanz der Systeme, die Zuverlässigkeit und Resilienz weiter optimiert werden. Die Testfahrten zeigten, dass die Verkehrsinfrastruktur beständig gepflegt und instandgesetzt werden muss, da für das Fahrzeug nicht erkennbare Beschilderungen und Markierungen zu unerwünschtem Fahrverhalten führten. Eine komplette Erneuerung der Verkehrsinfrastruktur ist nicht erforderlich, der Ausbau der digitalen Infrastruktur für die Vernetzung zwischen Fahrzeugen und Infrastruktur aber zwingend.

Es wird empfohlen, Testbetriebe unter Bedingungen eines späteren Regelbetriebs durchzuführen, denn diese können wichtige Erkenntnisse zu Akzeptanz, Funktionsfähigkeit sowie Einsatzfeldern und Bedienformen liefern. Insbesondere zur Ausgestaltung von bedarfsgesteuerten On-Demand-Verkehren bestehen noch Erkenntnislücken (akzeptierte Vorbuchungs-, Warte- und Umwegzeiten oder Zeitbedarfe für die Ein- und Ausstiegsvorgänge, die Möglichkeiten zur Steuerung der Fahrtwunschbündelung, die Zahlungsbereitschaft der Nutzer für bestimmte Komfortaspekte sowie die verkehrlichen und Umweltwirkungen von On-Demand-Systemen). Die testweise Nutzung, aber auch die Information über automatisierten ÖPNV mittels Veranstaltungen oder auskunftgebenden Fahrtbegleiter kann den Informationsbedarf potenzieller Nutzer und Verkehrsteilnehmer decken und helfen, mögliche Unsicherheiten und Bedenken zu nehmen. Der Einsatz automatisierter und elektrisch betriebener Fahrzeuge im ÖPNV wird nur dann erfolgreich sein, wenn Umfang und Struktur des Bedienkonzepts der Verkehrsnachfrage und den Nutzeranforderungen gerecht und in das bestehende ÖPNV-Netz integriert wird.

## 15 Literaturverzeichnis

- 2getthere (2019): 2getthere. Abgerufen unter <https://www.2getthere.eu/grt-vehicle-automated-minibus/>, am 19.07.2019.
- Bainwol, M. (2015): A Huge Breakthrough in Fuel Economy; in: Green Cars Journal´s. January 28, 2015. Abgerufen unter: <http://greencarjournal.com/perspectives/huge-breakthrough-fuel-economy/> am 04.11.2018.
- Becker, J. et al. (2014): Bosch's Vision and Roadmap Toward Fully Autonomous Driving. In: Meyer, G. und Beiker, S. (Hg.): Road Vehicle Automation. Cham, s.l.: Springer International Publishing (Lecture Notes in Mobility), S. 49–59.
- BusinessWire (25.07.2019): NAVYA Presents Its New Strategic Orientations and Announces Its Half-Year Revenues. Abgerufen unter <https://www.businesswire.com/news/home/20190724005947/en/NAVYA-Presents-New-Strategic-Orientations-Announces-Half-Year>, am 22.08.2019.
- Christie, D.; Koymans, A.; Chanard, T.; Lasgouttes, J.-M.; Kaufmann, V. (2016): Pioneering Driverless Electric Vehicles in Europe: The City Automated Transport System (CATS). In: Transportation Research Procedia 13, S. 30–39. DOI: 10.1016/j.trpro.2016.05.004.
- COWI, PTV (2019): The Oslo Study – How autonomous cars may change transport in cities. Im Auftrag von Ruter, Oslo/Norway.
- Dahlmann, D. (19.08.2019): Ein Hype in der Krise – warum vollautonome Fahrzeuge wohl nie kommen. Abgerufen unter <https://www.gruenderszene.de/automotive-mobility/krise-vollautonome-fahrzeuge-drehmoment?interstitial> am 22.08.2019.
- EasyMile (2019): EasyMile. Abgerufen unter <https://easymile.com/solutions-easymile/ez10-autonomous-shuttle-easymile/>, am 19.07.2019.
- Eden, G.; Nanchen, B.; Ramseyer, R.; Évéquoz, F. (2017a): Expectation and experience: Passenger acceptance of autonomous public transportation vehicles. Abgerufen unter <http://publications.hevs.ch/index.php/publications/show/2299>.
- Eden, G.; Nanchen, B.; Ramseyer, R.; Évéquoz, F. (2017b): On the Road with an Autonomous Passenger Shuttle. In: Mark, G.; Fussell, S.; Lampe, C.; Schraefel, M.C.; Hourcade, J.P.; Appert, C. und Wigdor, D. (Hg.): Proceedings of the 2017 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems - CHI EA '17. the 2017 CHI Conference Extended Abstracts. Denver, Colorado, USA, 06.05.2017 - 11.05.2017. New York, New York, USA: ACM Press, S. 1569–1576.
- Ensthaler, J.; Gollrad, M. (2019): Rechtsgrundlagen des automatisierten Fahrens, Frankfurt am Main.
- Erhardt, G.d.; Roy, S.; Cooper, D. et al. (2019): Do transportation network companies decrease or increase congestion? In: Science Advances Vol. 5, no. 5.
- HFM (2019): Motionboard. Abgerufen unter <https://www.motionboard.de/motionboard?lang=de>, am 19.07.2019.
- ITF/OECD (2015): Urban Mobility System Upgrade. How shared self-driving cars could change city traffic.
- Local Motors (2019): Local Motors. Abgerufen unter: <https://localmotors.com/mediakit/>, am 19.07.2019.
- Madigan, R.; Louw, T.; Dziennus, M.; Graindorge, T.; Ortega, E.; Graindorge, M.; Merat, N. (2016): Acceptance of Automated Road Transport Systems (ARTS): An Adaptation of the UTAUT Model. In: Transportation Research Procedia.

- NAVYA (2019): Navya. Abgerufen unter <https://navya.tech/en/news/press/> abgerufen, am 09.07.2019.
- Nordhoff, S.; van Arem, B.; Merat, N.; Madigan, R.; Rurhort, L.; Knie, A.; Happee, R. (2017): User Acceptance of Driverless Shuttles Running in an Open and Mixed Traffic Environment. In: 12th ITS European Congress.
- SAE International (2016): Automated Driving Levels of Driving Automation are defined in new SAE International Standard J3016. Abgerufen unter [https://web.archive.org/web/20161120142825/http://www.sae.org/misc/pdfs/automated\\_driving.pdf](https://web.archive.org/web/20161120142825/http://www.sae.org/misc/pdfs/automated_driving.pdf) am 06.06.2019.
- Schaller Consulting (2017): UNSUSTAINABLE? The Growth of App-Based Ride Services and Traffic, Travel and the Future of New York City, New York.
- Schmidt, F. (2019): Entwicklung einer Methodik zur Bewertung bestehender Infrastruktur hinsichtlich der Nutzbarkeit für autonome Busse als Zubringer zum SPNV. Masterarbeit, KIT FAST, Karlsruhe. (noch nicht veröffentlicht)
- Schmidt, F. (2019): Entwicklung einer Methodik zur Bewertung bestehender Infrastruktur hinsichtlich der Nutzbarkeit für autonome Busse als Zubringer zum SPNV. Masterarbeit, KIT FAST, Karlsruhe. (noch nicht veröffentlicht)
- Shaw, S. (2018): Studie autonome Fahrzeuge: Zusammenfassung der Ergebnisse. Hg. v. GIM Suisse AG. Abgerufen unter <https://www.postauto.ch/de/news/erste-studie-zeigt-akzeptanz-von-selbstfahrenden-bussen-der-bev%C3%B6lkerung> am 01.08.2018.
- Universität Stuttgart (2016): MEGAFON Modellergebnisse geteilter autonomer Fahrzeugflotten des öffentlichen Nahverkehrs, Stuttgart.
- Verkehrsverbund Karlsruhe (2014): Nahverkehrsplan 2014. Karlsruhe.
- WAYMO (2019): Waymo. Abgerufen unter [www.waymo.com/press/](http://www.waymo.com/press/) abgerufen, am 09.07.2019.
- Wicki, M.; Bernauer, T. (2018): Public Opinion on Route 12. Interim report on the first survey on the pilot experiment of an automated bus service in Neuhausen am Rheinfall. In: ISTP Paper Series, 3, Institute of Science, Technology and Policy (ISTP), ETH Zürich.
- Zankl, C.; Rehl, K. (2018): Digibus 2017. Erfahrungen mit dem ersten selbstfahrenden Shuttlebus auf öffentlichen Straßen in Österreich. Hg. v. Salzburg Research Forschungsgesellschaft mbH. Abgerufen unter [https://www.salzburgresearch.at/wp-content/uploads/2018/04/Digibus\\_2017\\_Endbericht\\_final.pdf](https://www.salzburgresearch.at/wp-content/uploads/2018/04/Digibus_2017_Endbericht_final.pdf) am 14.08.2018.