

Studie

Auswirkungen der Einführung des autonomen Fahrens auf die Beschäftigung im Öffentlichen Personennahverkehr



Vorwort



Liebe Leserinnen, liebe Leser,

Straßenbahnen und Busse, die sich scheinbar von Geisterhand gesteuert im Straßenverkehr bewegen. Diese Vision des öffentlichen Personennahverkehrs der Zukunft scheint näher zu rücken. Sie beschreibt nicht allein neue technologische Möglichkeiten, sondern auch tiefgreifende Veränderungen für die Beschäftigten.

Arbeitsplätze und Tätigkeiten verschwinden aufgrund veränderter Nachfrage oder weil sie durch Technikeinsatz verdrängt werden. Gleichzeitig werden neue Produkte und Geschäftsmodelle entwickelt. Neue Tätigkeiten und Berufe entstehen, bestehende Berufe und Tätigkeiten wandeln sich inhaltlich und damit auch die Anforderungen für die Qualifikation.

Der Übergang zum autonomen Fahren, der sich gegenwärtig in mehreren Stufen vollzieht, steht exemplarisch für den technologischen Wandel. Auch wenn der großangelegte Einsatz von autonomen, selbstfahrenden Fahrzeugen derzeit noch nicht absehbar ist, wird er sich in der Verkehrs- und Logistikbranche unmittelbar auf die Beschäftigten auswirken.

Im Rahmen der vorliegenden Studie werfen wir einen Blick auf mögliche Wechselwirkungen zwischen der Einführung von autonomen Fahrzeugen – als Technologie der Zukunft auch im Bereich des öffentlichen Personennahverkehrs – und der Arbeit der Beschäftigten. Dabei werden sowohl die Perspektive des Arbeitgebers als auch jene der von den Veränderungen betroffenen Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer einggenommen.

Praxispartner bei der Erstellung der Studie war die Leipziger Verkehrsbetriebe GmbH (LVB). Auf Grundlage der derzeitigen Unternehmenssituation wurden absehbare Auswirkungen auf die Arbeitswelt ermittelt und weitere Entwicklungen der Beschäftigung prognostiziert.

Mein herzlicher Dank geht an alle, die sich an der Erstellung dieser Studie beteiligt haben!

Ein zeitgemäßes, vorausschauendes Personalmanagement sowie die menschengerechte Entwicklung, Auswahl und Einführung von Technologien jeweils unter Einbeziehung der Beschäftigten sowie der Betriebsräte sind das Leitbild zur erfolgreichen Gestaltung von guter Arbeit 4.0.

In diesem Sinne wünsche ich mir, dass die aus der Studie gewonnenen Erkenntnisse einen wichtigen Beitrag zur weiteren Diskussion leisten und uns viele Anregungen liefern, im Freistaat Sachsen den Wandel im Sinne von Guter Arbeit zu gestalten.

Martin Dulig
Sächsischer Staatsminister für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr

Inhalt

| | |
|---|-----------|
| Abkürzungsverzeichnis..... | 5 |
| Abbildungsverzeichnis..... | 6 |
| 1 Einführung | 7 |
| 1.1 Motivation..... | 7 |
| 1.2 Die LVB als Praxispartner der Studie | 11 |
| 1.3 Themenfelder und Methodologie..... | 14 |
| 2 Stand und Zukunft der Technik autonomen Fahrens im ÖPNV..... | 18 |
| 2.1 Aktueller Stand in Wissenschaft und Praxis..... | 18 |
| 2.1.1 Straßengebundener ÖPNV | 18 |
| 2.1.2 Schienengebundener ÖPNV | 22 |
| 2.2 Entwicklungs- bzw. Umsetzungsstand bei der LVB..... | 25 |
| 2.2.1 Straßengebundener ÖPNV | 25 |
| 2.2.2 Schienengebundener ÖPNV | 26 |
| 2.3 Ergebnisse der Onlinebefragung | 27 |
| 2.3.1 Straßengebundener ÖPNV | 27 |
| 2.3.2 Schienengebundener ÖPNV | 28 |
| 3 Auswirkungen autonomen Fahrens auf Unternehmen und Geschäftsmodelle im ÖPNV | 30 |
| 3.1 Aktueller Stand in Wissenschaft und Praxis..... | 30 |
| 3.1.1 ÖPNV als öffentliche Aufgabe | 30 |
| 3.1.2 Der ÖPNV – eine transformationserfahrene Branche | 31 |
| 3.1.3 Chancen für Unternehmen des ÖPNV..... | 31 |
| 3.1.4 Herausforderungen für Unternehmen im ÖPNV..... | 31 |
| 3.1.5 Zukünftige Gestaltung des ÖPNV | 34 |
| 3.2 Entwicklungs- bzw. Umsetzungsstand bei der LVB..... | 34 |
| 3.3 Ergebnisse der Onlinebefragung | 35 |
| 4 Auswirkungen autonomen Fahrens auf Arbeit und Beschäftigung..... | 39 |
| 4.1 Gesundheit, Ergonomie und Sicherheit am Arbeitsplatz von Beschäftigten im ÖPNV durch Techniken autonomen Fahrens..... | 39 |
| 4.1.1 Aktueller Stand in Wissenschaft und Praxis..... | 39 |
| 4.1.2 Die Fahraufgabe im Umbruch..... | 42 |
| 4.1.3 Forschung zu Automatisierungseffekten..... | 44 |
| 4.1.4 Relevante Aspekte für eine gelungene Umsetzung automatisierten Fahrens im ÖPNV..... | 47 |
| 4.1.5 Entwicklungs- bzw. Umsetzungsstand bei der LVB..... | 51 |
| 4.1.6 Ergebnisse der Onlinebefragung | 54 |
| 4.2 Beschäftigungsentwicklung und Weiterbildung | 56 |
| 4.2.1 Aktueller Stand in Wissenschaft und Praxis..... | 56 |
| 4.2.2 Entwicklungs- bzw. Umsetzungsstand bei der LVB..... | 59 |
| 4.2.3 Ergebnisse der Onlinebefragung | 62 |

| | | |
|----------------------------------|---|------------|
| 5 | Zusammenführung der Ergebnisse und Ableitungen | 68 |
| 5.1 | Das Wichtigste im Überblick..... | 68 |
| 5.2 | Ansatzpunkte zur weiteren Diskussion | 70 |
| ANHANG | | i |
| Literaturverzeichnis..... | | iii |

Abkürzungsverzeichnis

| Abkürzung | Erläuterung |
|----------------|---|
| ABS | Antiblockiersystem |
| AFB | Automatische Fahr- und Bremssteuerung |
| ATO | Automatic Train Operation |
| ATP | Automatic Train Protection |
| BAuA | Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin |
| BDO | Bundesverband Deutscher Omnibusunternehmer e. V. |
| BMAS | Bundesministerium für Arbeit und Soziales |
| BMBF | Bundesministerium für Bildung und Forschung |
| BMWi | Bundesministerium für Wirtschaft und Energie |
| BMVI | Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur |
| BOStrab | Straßenbahn-Bau- und Betriebsordnung |
| CVD | engl.: Clean Vehicle Directive (dt.: Richtlinie zur Förderung sauberer und energieeffizienter Fahrzeuge) |
| DLR | Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. in der Helmholtz-Gemeinschaft |
| ESP | Elektronisches Stabilitätsprogramm |
| ETCS | engl.: European Train Control System (dt.: Europäisches Zugbeeinflussungssystem) |
| GDA | Gemeinsame Deutsche Arbeitsschutzstrategie |
| GoA | engl.: Grades of Automation (Automatisierungsgrad) |
| IEC | engl.: International Electrotechnical Commission (dt.: Internationale Elektrotechnische Kommission) |
| IKEM | Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität |
| KIT | Karlsruher Institut für Technologie |
| LED | engl.: light-emitting diode (dt.: lichtemittierende Diode, Leuchtdiode) |
| Lidar | engl.: light detection and ranging (dt.: eine Sensortechnologie, die Laserstrahlen zur Fernmessung verwendet) |
| Lkw | Lastkraftwagen |
| LVB | Leipziger Verkehrsbetriebe GmbH |
| OEM | engl.: Original Equipment Manufacturer (dt.: Originalerstausrüster) |
| ÖPNV | Öffentlicher Personennahverkehr |
| PBefG | Personenbeförderungsgesetz |
| Pkw | Personenkraftwagen |
| StVG | Straßenverkehrsgesetz |
| StVO | Straßenverkehrsordnung |
| VBG | Verwaltungs- und Berufsgenossenschaft |
| VDV | Verband Deutscher Verkehrsunternehmen |
| zGG | zulässiges Gesamtgewicht |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|---------------|--|----|
| Abbildung 1: | Projektspektrum der LVB (Quelle: LVB)..... | 13 |
| Abbildung 2: | Eingruppierung der Teilnehmenden an der Onlinebefragung | 16 |
| Abbildung 3: | Stufen des automatisierten bzw. autonomen Fahrens (Eigene Darstellung nach VDA, 2015)..... | 19 |
| Abbildung 4: | Automatisierungsgrade im Schienenverkehr (eigene Darstellung nach UITP, 2012)..... | 23 |
| Abbildung 5: | Umsetzbares Flexibilisierungspotenzial des Metrobetriebs in Abhängigkeit von der Fahrgastnachfrage durch Flexibilisierung (eigene Darstellung nach Schnieder, 2019)..... | 23 |
| Abbildung 6: | Ergebnis der Onlinebefragung – Wahrscheinlichkeit der branchenweiten Einführung des teil- bzw. vollautomatisierten Fahrens im straßengebundenen ÖPNV..... | 27 |
| Abbildung 7: | Ergebnis der Onlinebefragung – Erwartung der Umsetzung der verschiedenen Stufen des automatisierten Fahrens im straßengebundenen ÖPNV..... | 28 |
| Abbildung 8: | Ergebnis der Onlinebefragung – Wahrscheinlichkeit der branchenweiten Einführung des automatisierten Fahrens im schienengebundenen ÖPNV..... | 29 |
| Abbildung 9: | Ergebnis der Onlinebefragung – Erwartung der Umsetzung der verschiedenen Stufen des automatisierten Fahrens im schienengebundenen ÖPNV..... | 29 |
| Abbildung 10: | Anteil der Fortbewegungsarten an der täglichen Mobilität in deutschen Städten (heute und 2035) nach Deloitte, 2019 | 33 |
| Abbildung 11: | Ergebnis der Onlinebefragung – Herausforderungen für die Entwicklung zum autonomen Fahren im ÖPNV | 36 |
| Abbildung 12: | Ergebnis der Onlinebefragung – Folgen der Einführung teil- bzw. vollautomatisierter Fahrsysteme im ÖPNV..... | 37 |
| Abbildung 13: | Ergebnis der Onlinebefragung – Einfluss auf Geschäftsmodelle von ÖPNV-Unternehmen..... | 37 |
| Abbildung 14: | Ergebnis der Onlinebefragung – Zeitraum für die Veränderung von Geschäftsmodellen | 38 |
| Abbildung 15: | Gesundheitsstand der Beschäftigten in der LVB-Gruppe (Andreas Böttcher et al., 2019)..... | 52 |
| Abbildung 16: | Anzahl körperlicher Übergriffe auf Dienstpersonal der LVB (Andreas Böttcher et al., 2019)..... | 53 |
| Abbildung 17: | Ergebnis der Onlinebefragung – Änderungen der physischen Arbeitsbelastung von Fahrerinnen und Fahrern durch die Einführung teil- bzw. vollautomatisierten Fahrens..... | 55 |
| Abbildung 18: | Ergebnis der Onlinebefragung – Änderungen der psychischen Arbeitsbelastung von Fahrerinnen und Fahrern durch die Einführung teil- bzw. vollautomatisierten Fahrens..... | 55 |
| Abbildung 19: | Beschäftigungsentwicklung nach Qualifikationsgrad in der Personenbeförderung (Eigene Auswertung, Quelle: Bundesagentur für Arbeit)..... | 57 |
| Abbildung 20: | Beschäftigungsstand und Entwicklung nach Berufen..... | 58 |
| Abbildung 21: | Personalplanung der LVB bis 2024 nach Angaben der LVB..... | 59 |
| Abbildung 22: | Beschäftigungsplanung nach Unternehmensbereichen nach Angaben der LVB..... | 60 |
| Abbildung 23: | Anzahl der Beschäftigten der LVB nach Alter, Stand: Februar 2020 | 60 |
| Abbildung 24: | Beschäftigte der LVB nach Qualifikation, Stand Februar 2020 | 61 |
| Abbildung 25: | Ergebnis der Onlinebefragung – Auswirkungen des teil- bzw. vollautomatisierten Fahrens auf Tätigkeiten..... | 62 |
| Abbildung 26: | Wordcloud der zwölf häufigsten Begriffe aus den Freitext-Antworten der Expertinnen und Experten, wegfallende Tätigkeiten (Eigene Erhebung, Visualisierung: Wordl.net)..... | 63 |
| Abbildung 27: | Wordcloud der zwölf häufigsten Begriffe aus den Freitext-Antworten der Expertinnen und Experten, sich verändernde Tätigkeiten (Eigene Erhebung, Visualisierung: Wordl.net)..... | 63 |
| Abbildung 28: | Wordcloud der zwölf häufigsten Begriffe aus den Freitext-Antworten der Expertinnen und Experten, neu hinzukommende Tätigkeiten (Eigene Erhebung, Visualisierung: Wordl.net) | 64 |
| Abbildung 29: | Ergebnis der Onlinebefragung – Relevanzverlust und Wegfall von Berufsbildern..... | 64 |
| Abbildung 30: | Ergebnis der Onlinebefragung – Neu entstehende Berufsbilder..... | 65 |
| Abbildung 31: | Ergebnis der Onlinebefragung – Entwicklung des Qualifikationsniveaus..... | 65 |
| Abbildung 32: | Ergebnis der Onlinebefragung – Künftiger Bedarf ausgewählter Ausbildungsberufe | 66 |

1 Einführung

1.1 Motivation

Die Transformation der Arbeitswelt ist eng mit technologischem Wandel und sich verändernden gesellschaftlichen Anforderungen verzahnt. Exemplarisch wird dies im Verkehrssektor sichtbar. Zunehmende Automatisierung, veränderte Kundenanforderungen und das Ziel einer nachhaltigen Mobilitätswende beeinflussen die künftige Arbeitsnachfrage. Neben einer möglichen Substitution von Arbeit sind dabei vor allem sich wandelnde Tätigkeitsprofile und, daraus resultierend, veränderte Kompetenzanforderungen zu erwarten. Berufsbilder wandeln sich. Beschäftigte und Unternehmen sind infolge gleichermaßen gefordert.

Die Entwicklung im Öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) hin zum autonomen Fahren soll im Kontext der vorliegenden Studie exemplarisch als Untersuchungsgegenstand für eben diese Arbeitsmarkt- und Beschäftigungseffekte durch den Einsatz von teil- hin zu vollautomatisierten Technologien dienen. Dabei liegt die These zugrunde, dass mit der Entwicklung zum autonomen Fahren, d. h. bereits mit der Einführung fortgeschrittener Fahrerassistenzsysteme und Technologien zum teilautomatisierten Fahren und erst Recht mit der im weiteren Verlauf der Entwicklung zu erwartenden Einführung autonomer Fahrsysteme im ÖPNV, Tätigkeitsprofile und Berufsbilder eine grundlegende Veränderung erfahren, Anforderungen an Kompetenzprofile und die Belastung am Arbeitsplatz steigen und in letzter Konsequenz auch Arbeitsplätze wegfallen könnten. Angesichts dessen hat sich diese Studie der Aufgabe gestellt, mit einem konkreten Fallbeispiel, der Leipziger Verkehrsbetriebe GmbH (im Folgenden LVB), verschiedene Themenfelder vor dem Hintergrund der Einführung autonomen Fahrens im ÖPNV zu beleuchten und in einem letzten Schritt Ableitungen und Empfehlungen für eine zukunfts-fähige Ausrichtung von Arbeit und Beschäftigung in dieser und anderen Branchen zu entwerfen.

Transformation durch Automatisierung im ÖPNV

Autonomen Fahrzeugen wird seit geraumer Zeit das Potenzial zugesprochen, den Personen- und Güterverkehr tiefgreifend zu verändern. Die Automatisierung des Straßenverkehrs eröffne neue Möglichkeiten, den Anforderungen des stetig wachsenden Bedarfs an Mobilität mit höherem Komfort, mehr Flexibilität und Sicherheit bei geringeren Kosten gerecht zu werden. Weniger Unfälle, eine höhere Verkehrseffizienz durch besseres Verkehrsmanagement im Personen- und Güterverkehr und eine neue Qualität multimodaler, flexibler und individualisierter Mobilität in der Kombination von motorisiertem Individualverkehr und öffentlichem Verkehr sind die Zielhorizonte der technischen Entwicklung hin zum autonomen Fahren. Ein zweiter Blick zeigt, dass unter dem Begriff des autonomen Fahrens eine Reihe von unterschiedlichen Graden der Fahrzeugautonomie (und der sie ermöglichenden Technologien) gefasst wird. Die Bandbreite reicht dabei von der Automatisierung klassischer Busse und Bahnen, die liniengeführt und fahrplanbasiert sind, bis – in längerer Perspektive und mit noch erheblichen Unsicherheiten behaftet – zu autonomen Fahrzeugen, die keinerlei Einflussmöglichkeiten der Passagiere mehr zulassen und als sich selbst regulierende Systeme operieren.

Fortgeschrittene Fahrerassistenzsysteme sind auf deutschen Straßen bereits heute Realität und ermöglichen es, das „Parken“ oder „Fahren“ in bestimmten Situationen an das Fahrzeug abzugeben. Fahrzeuge mit solchen Funktionen, wie z. B. dem Spurhalte-, Notbrems- oder Überholassistenten, werden als teilautomatisiert bezeichnet (Stufe 2 des autonomen Fahrens, siehe Kapitel 2.1.1). Der derzeitige Stand der Forschung und Entwicklung ermöglicht in Pilotprojekten sogar ein vollautomatisiertes Fahren (Stufe 4) in weniger komplexen Verkehrssituationen, z. B. auf Autobahnen, bei dem immer noch die Fahrerin bzw. der Fahrer auf Anforderung eingreifen muss. Autonomes Fahren (5. und letzte Stufe) im öffentlichen Raum, bei dem die Fahraufgabe unabhängig von Fahrbahn und Umgebungsbedingungen allein vom Fahrzeug ausgeführt wird, scheint laut Technologieprognosen erst für die Zeit nach 2030 realistisch zu sein. Sollten die technischen Hürden alsbald überwunden werden, so wird von einigen Expertinnen und Experten erwartet, dass autonomes Fahren aus technischen und regulatorischen Gründen in den geschlossenen Systemen des ÖPNV eingeführt und sich erst

später auch im Individualverkehr durchsetzen wird. Gleichwohl ist festzustellen, dass die aktuelle Förderung von Forschung und Entwicklung zu hochautomatisiertem Fahren insbesondere Anwendungen im Bereich des Pkw- und Lkw-Segments außerhalb der Personenbeförderung fokussiert (siehe Kapitel 2.1), sodass autonomes Fahren im ÖPNV ggf. doch nachgelagert zum Individualverkehr eingeführt werden könnte. Gesicherte Prognosen dazu sind nicht verfügbar.

Praktische Tests in ÖPNV-nahen, begrenzten Einsatzbereichen offenbaren allerdings technologische Herausforderungen, die bisherige Prognosen zur Verfügbarkeit autonomer Fahrzeuge möglicherweise als zu optimistisch erweisen. Aktuelle öffentlich geförderte Forschungs- und Entwicklungsprojekte deuten darauf hin, dass die technischen Schwierigkeiten autonomen Fahrens im öffentlichen Straßenraum gravierender sind als bisher angenommen (siehe Kapitel 2.1.1). Unerwartete Hindernisse wie parkende Autos auf den einprogrammierten Strecken müssen immer noch durch einen menschlichen Operator¹ manuell umfahren werden. Rechts-/Links-Vorfahrten und Kreuzungssituationen werden ebenfalls noch nicht automatisch bewältigt. Auch die derzeitige maximale Geschwindigkeit von 18 km/h ist ein Hemmnis für die Akzeptanz auf Seiten der Fahrgäste und auch der übrigen Verkehrsteilnehmer.

Die technischen Entwicklungen sind für öffentliche Verkehrsbetriebe ohne zusätzliche Förderung überdies kaum zu finanzieren: nicht nur aufgrund der Kosten der Fahrzeugbeschaffung oder -aufrüstung, sondern auch bedingt durch die notwendige infrastrukturseitige Ausstattung mit der entsprechenden Sensorik sowie der Ausrüstung der Leitstelle zur Überwachung des Fahrbetriebs.

Herausforderungen durch rechtliche Beschränkungen

Neben technologischen Hürden sind insbesondere rechtliche Beschränkungen vorhanden, die die Einführung des autonomen Fahrens aus Sicht der Beschäftigten mit zahlreichen Unsicherheiten verbindet. Was den Straßenverkehr betrifft, gehen assistiertes und teilautomatisiertes Fahren (Stufen 1 und 2, siehe Kapitel 2.1) grundsätzlich mit dem deutschen Straßenverkehrsrecht sowie mit internationalen Vorgaben konform (Deutscher Bundestag, 2018b), da das von der Straßenverkehrsordnung (StVO) vorausgesetzte Beherrschen bzw. Führen des Fahrzeugs durch eine Fahrerin bzw. einen Fahrer, also einen Menschen, beim assistierten und teilautomatisierten Fahren gegeben ist. Anders liegen die Dinge, sobald das Level des hochautomatisierten Fahrens (Stufe 3) erreicht wird, da der technische Automatisierungsgrad es der Fahrerin bzw. dem Fahrer gestattet, sich während der Fahrt anderen Dingen als dem Fahren zuzuwenden. Durch Rechtsänderungen in den Jahren 2016 und 2017 wurde der Raum für das automatisierte Fahren erweitert. Mit Wirkung vom 21. Juni 2017 wurden die §§ 1a und 1b in das Straßenverkehrsgesetz (StVG) eingefügt. Nach § 1a Abs. 1 StVG ist der Betrieb eines Kraftfahrzeugs „mittels hoch- oder vollautomatisierter Fahrfunktion“ grundsätzlich zulässig, wenn die Funktion bestimmungsgemäß verwendet wird. Die Fahrerin bzw. der Fahrer darf sich während des Betriebs dieser Fahrfunktion vom Verkehrsgeschehen und der Fahrzeugsteuerung abwenden, er muss aber „wahrnehmungsbereit“ bleiben, sodass er die Fahrzeugsteuerung unverzüglich übernehmen kann, wenn ihn das System dazu auffordert. Damit ist der Weg für den Einsatz von hoch- und vollautomatisierten Fahrfunktionen geöffnet und automatisiertes Fahren der Stufen 3 und 4 wird möglich. Lediglich das autonome Fahren (Stufe 5) wird eindeutig nicht von § 1a StVG erfasst. Autonomes Fahren im Straßenverkehr ist damit nach wie vor unzulässig (Deutscher Bundestag, 2018b). Ein entsprechendes Gesetz zum autonomen Fahren befindet sich allerdings laut Bundesregierung in Vorbereitung. Bis 2022 soll damit automatisiertes Fahren auf deutschen Straßen „[...] in festgelegten Betriebsbereichen im öffentlichen Straßenverkehr im Regelbetrieb ... rechtlich ermöglicht werden“ (Bundesregierung, 2020). Dies bezieht explizit den ÖPNV als ersten möglichen Anwendungsbereich mit ein, da die Fahrzeuge hier in der Regel in bestimmten Routinen (z. B. Linien) eingesetzt werden.

Im Fall des autonomen Schienenverkehrs greifen andere Regelungen. Die rechtlichen Herausforderungen sind hier geringer als auf der Straße. Der fahrerlose Betrieb von reinen U-Bahnen ist nicht nur in Deutschland schon

¹ Überwachender Mitfahrer/in

heute Praxis (Deutscher Bundestag, 2018a). Das autonome Fahren von Straßenbahnen ist hingegen bislang erst Theorie bzw. Gegenstand weniger Forschungsprojekte (PNN, 2019). Straßenbahnen nehmen am allgemeinen Straßenverkehr teil, sie sind aber aufgrund der Bindung an die Schiene keine Kraftfahrzeuge im Sinne des § 1a StVG. Die Straßenbahn-Bau- und Betriebsordnung (BOStrab) regelt in der Bundesrepublik Deutschland den Bau und Betrieb von Straßenbahnen. Rechtsgrundlage für die Verordnung ist § 57 Personenbeförderungsgesetz (PBefG). In den einschlägigen Paragrafen der BOStrab zum führerlosen Fahren (§ 53 Abs. 2, § 16 Abs. 6, § 31 Abs. 4, § 43 Abs. 5 Nr. 3) sind die Voraussetzungen autonomer Schienenfahrzeuge definiert. Hier ist u. a. festgelegt, dass der Bahnkörper (Gleisbett und Schienen) im Falle führerlosen Fahrens von kreuzenden Personen und Fahrzeugen freizuhalten ist bzw. entsprechende Sicherungen vorhanden sein müssen. Diese Regelungen spiegeln auch die Überlegungen der Ethik-Kommission für automatisiertes und vernetztes Fahren wider. Deren 2017 veröffentlichte Regeln besagen u. a., dass die Zulassung von automatisierten Systemen nur vertretbar ist, „wenn sie im Vergleich zu menschlichen Fahrleistungen zumindest eine Verminderung von Schäden im Sinne einer positiven Risikobilanz verspricht“ (BMVI, 2017). Für Straßenbahnen, die im innerstädtischen Raum mit Auto-, Rad- und Fußgängerverkehr interagieren müssen, ist dies aber kaum zu gewährleisten. S-, U- und Regionalbahnen stehen mit ihren in der Regel separierten Streckennetzen diesbezüglich vor weniger Problemen.

Die Einführung autonomen, sprich führerlosen Fahrens bei Bussen und Bahnen ist somit erst mit zeitlicher Verzögerung zu erwarten. Statt eines disruptiven ist von einem evolutionären Übergang bzw. Aufstieg von einfachen Formen des assistierten Fahrens hin zu vollautomatisierten Formen auszugehen. Dies eröffnet den ÖPNV-Unternehmen ein Zeitfenster, sich sowohl mit bereits existenten als auch zukünftigen Auswirkungen der Einführung autonomen Fahrens und damit zusammenhängenden generellen Entwicklungen auf dem Mobilitätsmarkt auseinanderzusetzen und aktiv zu werden, bevor weitergehende technische Möglichkeiten zu fundamentalen Umbrüchen führen.

Transformation der Mobilitätsmärkte

Technologischer Wandel im Rahmen von Digitalisierungsprozessen führt auch heute schon zu gravierenden Veränderungen der Mobilitätsmärkte. Mobilität der Zukunft in den Kommunen wird nicht mehr primär auf Basis privater Fahrzeuge, sondern multimodal, unter Nutzung unterschiedlicher öffentlicher und privater Transportmittel sowie mittels digitaler Zugänge realisiert werden. Der einfache digitale Zugang zu mehreren vor Ort verfügbaren Mobilitätsdiensten über verschiedenen Mobilitätsformen ist in einigen Städten bereits heute möglich. In Hamburg etwa bietet die App „hvv switch“ die aufeinander abgestimmte Planung und Bezahlung von Fahrten mit ÖPNV, Ride- und Car-Sharing-Angeboten. Die Integration weiterer Dienste, wie Bike-Sharing oder Taxi, ist geplant (Reichel, 2020). Auch eine deutschlandweite integrierte App wird seitens der Deutschen Bahn angestrebt. Erst kürzlich wurde hierzu ein Teil der moovel Group GmbH übernommen, die B2B²/B2G³-Softwarelösungen für Kommunen und Verkehrsverbände entwickelt (Hamburg.de, o. J.). ÖPNV-Unternehmen stehen jedoch zunehmend vor der Herausforderung, sich die Hoheit über die relevante Plattform in ihrem Gebiet zu sichern und die eigenen Angebote in die nutzerzentrierten Mobilitätsketten der Plattformen einzupassen. Autonome, digitalisierte Fahrzeuge können für die ÖPNV-Unternehmen Möglichkeiten bieten, neue Angebote unter Einschluss ihres bestehenden Liniennetzes zu realisieren. Die Verfügbarkeit autonomer Fahrzeuge kann aber auch ein Risiko für den ÖPNV darstellen, beispielsweise wenn andere Anbieter ebenfalls entsprechende Shuttle-Angebote bereitstellen – unabhängig vom Liniennetz und zu attraktiveren Konditionen für die Fahrgäste. Solche divergierenden Szenarien stellen für die ÖPNV-Unternehmen erhebliche Unsicherheiten dar. Dabei muss eingrenzend erwähnt werden, dass private Anbieter genehmigungsrechtlichen Hürden unterliegen, die einen Marktzutritt teilweise erheblich beschränken.

² Business-to-Business: Leistungserbringung von Unternehmen an Unternehmen (im Unterschied zu Business-to-Consumer: Leistungserbringung von Unternehmen an Endverbraucher)

³ Business-to-Government: Leistungserbringung von Unternehmen an staatliche Institutionen.

Nach derzeitiger Rechtslage werden z. B. Ridepooling- bzw. Ridesharing-Angebote⁴ nur als neuartige Gelegenheitsverkehre lt. Personenbeförderungsgesetz (§ 2 Abs. 6 PBefG) oder zum Zweck der Erprobung (§ 2 Abs. 7 PBefG) genehmigt und sind mithin mit zahlreichen Herausforderungen verbunden. Die Bundesregierung beabsichtigt im Rahmen der Novellierung des PBefG, die bislang zwischen den Genehmigungsbehörden in Deutschland divergierende Anwendungspraxis zu vereinheitlichen und damit Planungs- und Rechtssicherheit für Mobilitätsdienste zu schaffen, indem eine neue Form des Linienverkehrs sowie eine neue Form des gebündelten Bedarfsverkehrs geschaffen werden.⁵ Weder der ÖPNV noch das konventionelle Taxi- und Mietwagen-gewerbe dürfen durch diese neuen Fahrdienste einem existenzgefährdenden Wettbewerb ausgesetzt werden. Dabei ermöglichen Ridepooling und -sharing durch niedrighschwellige Nutzerschnittstellen via App Punkt-zu-Punktverbindungen unabhängig von der Tageszeit. Ebenso besteht das Risiko, dass aufgrund der möglichen Bündelung von Fahrtwünschen mit der Folge reduzierter Fahrtkosten dem als Sammelverkehr organisierten ÖPNV wesentliche Teile des Verkehrsaufkommens entzogen werden. Dies spricht potenziell gegen die Genehmigung derartiger Angebote. Gleichzeitig haben solche Angebote das Potenzial, gleichsam ergänzend zum ÖPNV und auf Basis intelligenter, plattformvermittelter Verknüpfung, das Verkehrsaufkommen insgesamt zu reduzieren, wodurch eine höhere Nachhaltigkeit des Mobilitätssektors insgesamt erreicht werden könnte. Genehmigungsbehörden müssen dies gegenwärtig im spezifischen Einzelfall abwägen. Die derzeit diskutierte Novelle des PBefG dürfte speziell für ÖPNV-Unternehmen bessere Voraussetzungen schaffen, da diese künftig Pooling-Angebote im Rahmen des Linienverkehrs anbieten können (Verband Deutscher Verkehrsunternehmen [VDV], 2020b).

Auswirkungen auf Beschäftigung und Arbeit

Die technologische Entwicklung stellt aber nicht nur die Verkehrsunternehmen, sondern auch die Beschäftigten und das Personalmanagement dieser Betriebe – im Verbund mit der demografischen Entwicklung – vor neue Herausforderungen. Mit dem Eintritt geburtenschwacher Jahrgänge in den Arbeitsmarkt und der zunehmenden Präferenz für eine akademische Ausbildung entsteht mitunter ein Mangel an Fachkräften in Ausbildungsberufen. Mit dem Einsatz und der Durchsetzung von Technologien teil- bzw. vollautomatisierten Fahrens könnten nicht nur zahlreiche Arbeitsplätze, sondern auch Berufe wegfallen und Tätigkeitsprofile, Anforderungen, Belastungen und Qualifikationsbedarfe grundlegend geändert werden.

Hinsichtlich des Fachkräfteangebotes kommt eine Prognose zur digitalisierten Arbeitswelt des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales (BMAS) zu dem Ergebnis, dass in der Berufsgruppe „Führer von Fahrzeug- und Transportgeräten“ von 2025 bis 2035 mit einem insgesamt abnehmenden Fachkräfteangebot in Deutschland gerechnet werden muss (Kalinowski et al., 2019). In den Berufsgruppen „Überwachung/Wartung Verkehrsinfrastruktur“ und „Fahrzeugführung im Eisenbahnverkehr“ nimmt das Fachkräfteangebot im selben Zeitraum sogar noch stärker ab. Diese beiden Gruppen zählen damit zu den 20 Berufsgruppen mit robusten potenziellen Fachkräftengaps in der Zukunft. Aus Sicht der Verkehrsunternehmen ist Fachkräftesicherung und -gewinnung damit, auch jenseits autonomer Fahrtechnik, ein wichtiges Zukunftsthema.

Was die Substitutionspotenziale autonomen Fahrens angeht, so liegen derzeit keine Modellrechnungen zu möglichen Beschäftigungseffekten infolge der Automatisierung im Verkehr vor. Wie in anderen Branchen auch, ist davon auszugehen, dass dem Verlust von Arbeitsplätzen in der klassischen Fahrzeugführung ein möglicher Aufbau neuer Beschäftigungsfelder entgegensteht. Für die Beschäftigten bedeuten die technologischen Entwicklungen Chancen und Risiken zugleich. Auf der einen Seite ist zu erwarten, dass durch den Einsatz neuer Technologien (Teil-)Tätigkeiten automatisiert werden und sich Arbeitsbedingungen hierdurch verbessern. Gleichzeitig kann der Einsatz von teil-, insbesondere aber vollautomatisierten Fahrzeugen bisherige Berufe und Qualifikationen gefährden und entwerten, ohne dass weiterqualifizierende Entwicklungspfade zu neuen

⁴ Personenbeförderungsdienstleistungen in Form eines bedarfsgesteuerten Flächenbetriebs – dabei erfolgt die Fahrdurchführung nicht unter Bindung an einen Fahrplan oder feste Linienwege. Anders als bei Taxis werden dabei zugleich auch weitere Fahrgäste im gleichen Fahrzeug befördert.

⁵ Referenten-Entwurf der Bundesregierung: Entwurf eines Gesetzes zur Modernisierung des Personenbeförderungrechts, Kabinettsfassung vom 16.12.2020.

Beschäftigungsmöglichkeiten für den Einzelnen schon vorhanden oder auch nur erkennbar sind. Im Sinne guter Arbeit muss Technologieeinsatz daher aktiv gestaltet werden (Institut DGB-Index Gute Arbeit 2016).

Verkehrsunternehmen und ihre Beschäftigten befinden sich damit aktuell in einer Umbruchsituation im Spannungsfeld von Technologie – Organisation – Qualifikation: Die evolutionäre Entwicklung zum autonomen Fahren führt zu neuen technologischen Möglichkeiten und neuen Geschäftsmodellen, die tradierte Technik, Organisationsformen und den Markt der Unternehmen in Frage stellen. Die Entwicklung des Fachkräfteangebots und die Entstehung neuer Berufsbilder im Personentransport zwingen zu aktivem Personalmanagement.

Potenziale der Beschäftigten und deren Erfahrungen müssen gezielt genutzt und weiterentwickelt werden, gerade vor dem Hintergrund einer alternden und schrumpfenden Erwerbsbevölkerung. Die Unternehmen sind gefordert, Arbeitsplätze so attraktiv zu gestalten, dass neue Talente angezogen werden. Die Beschäftigten stehen vor der Herausforderung, ihre Kompetenzen an neue technische Möglichkeiten anzupassen, erweiterte Gestaltungsspielräume in der Arbeit durch digitale Technik zu nutzen und den Wandlungsprozess im Unternehmen mitzugestalten.

Ziel der vorliegenden Studie ist es, diese Entwicklungen zu beleuchten, zusammenzudenken und mögliche Gestaltungspfade für Unternehmen, Beschäftigte und politische Entscheiderinnen und Entscheider aufzuzeigen, die jenseits des konkreten Branchenbezugs auch für Akteure in anderen Wirtschaftszweigen von Interesse bzw. verwertbar sein können.

1.2 Die LVB als Praxispartner der Studie

Um die Entwicklungen und Herausforderungen teil- bzw. vollautomatisierten Fahrens im ÖPNV anhand eines konkreten Anwendungsfalls zu beleuchten, wurden die Verkehrsbetriebe der Stadt Leipzig als Untersuchungsgegenstand und Forschungspartner in die Untersuchung einbezogen. Die Stadt Leipzig als stetig wachsende Metropole in Sachsen und als Wohn-, Arbeits- und Lebensraum von gut 600.000 Einwohnerinnen und Einwohnern steht mit ihrer Entwicklung und ihren Mobilitätskonzepten exemplarisch für die neuen Herausforderungen, denen sich Kommunen in Deutschland bei der Sicherstellung nachhaltiger und innovativer Mobilität gegenübersehen. Die LVB befinden sich mit ihren Schwestergesellschaften Leipziger Stadtwerke und Leipziger Wasserwerke über die Leipziger Versorgungs- und Verkehrsgesellschaft mittelbar im Eigentum der Stadt Leipzig. Sie sind gebunden an die kommunalen Mobilitätskonzepte und durch diese gefordert. Daneben sind sie Teil des lokalen und überregionalen Mobilitätsmarktes und müssen sich auf diesem behaupten sowie mit technologischen und wettbewerblichen Veränderungen auf diesem Markt kontinuierlich auseinandersetzen.⁶

Leipzig ist eine wachsende Stadt mit 601.668 Einwohnerinnen und Einwohnern (Bezugsjahr 2019). In der gesamten Region leben mehr als 2,25 Millionen Menschen. Insbesondere zwischen 2012 und 2016 wuchs die Bevölkerung der Stadt schnell, mittlerweile befindet man sich auf einem moderaten Wachstumspfad. Im Jahr 2040 wird ein Bevölkerungsstand vom 665.000 Einwohnerinnen und Einwohnern prognostiziert (Stadt Leipzig, Amt für Statistik und Wahlen, 2019a). Als Wissenschafts- und Wirtschaftsstandort zieht die Stadt insbesondere jüngere Zuwanderinnen und Zuwanderer an und verzeichnet ebenso hohe Geburtenraten (Stadt Leipzig, Amt für Statistik und Wahlen, 2019b).

Die wirtschaftlichen Eckdaten weisen Leipzig als dynamische Metropole aus, die stetige Zuwächse bei (Industrie-)Arbeitsplätzen und dem Ausbau bestehender Niederlassungen, Neuansiedlungen und Neugründungen von Unternehmen verzeichnen kann (Stadt Leipzig, Dezernat Wirtschaft, Arbeit und Digitales, 2019). Die aktuellen Auswirkungen der Corona-Pandemie lassen sich derzeit noch nicht abschätzen⁷.

⁶ Die LVB wird auch in der Studie „Arbeit 4.0 – Wie gestalten sächsische Unternehmen gute digitale Arbeit?“ des Sächsischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr als Praxisbeispiel untersucht; online verfügbar unter: <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/36751>.

⁷ <https://www.leipzig.de/news/news/leipzig-erwartet-hohe-einnahmeverluste/>, zuletzt geprüft am 25.08.2020

Aufgrund dieser vorteilhaften wirtschaftlichen und demografischen Entwicklungen belegt Leipzig in deutschen Städterankings teils sehr gute Platzierungen (HWWI/Berenberg, 2019)⁸.

Vor dem Hintergrund dieses Wachstumsprozesses hat die Stadt in den Jahren 2017 und 2018 unter Beteiligung der Leipziger Bürgerinnen und Bürger sowie von Interessensgruppen einen Diskussionsprozess zur Entwicklung einer „Mobilitätsstrategie 2030 für Leipzig“⁹ initiiert. Am Ende dieses Prozesses standen sechs Mobilitätsszenarien für Leipzig. Die Stadt hat sich 2018 für das sogenannte Nachhaltigkeitsszenario entschieden, das insbesondere die Steigerung der Fahrgastzahlen und der Auslastung im ÖPNV sowie die Reduzierung von Schadstoff- und Lärmemissionen in den Vordergrund stellt¹⁰. Das ausgewählte Szenario diente als Grundlage für den 2019 fortgeschriebenen Nahverkehrsplan der Stadt Leipzig, der die angestrebten Netz- und Beförderungskapazitäten und Leistungsstandards im öffentlichen Nahverkehr festlegt¹¹.

Die LVB hat einschließlich ihrer Tochtergesellschaften 2.469 Beschäftigte, davon 1.178 im Fahrdienst (2018), und betreibt ein Netz von 13 Straßenbahn- sowie 46 Buslinien mit Streckenlängen von 143,5 km (Straßenbahn) bzw. 302 km (Bus). Im Jahr 2018 wurden durch die LVB 156,4 Millionen Fahrgäste befördert. 291 Straßenbahnen sowie 166 Busse – und deren Fahrerinnen und Fahrer – haben hierbei eine Fahrleistung von insgesamt 24,3 Mio. km (Straßenbahn 12,7 Mio. km, Bus 11,6 Mio. km) erbracht (Leipziger Verkehrsbetriebe (LVB) GmbH, 2020). Im Jahr 2020 hat die Corona-Pandemie aktuell zu einer Reduzierung der täglichen Fahrten um 25 % geführt¹². Um den wachsenden Mobilitätsbedarfen und den politischen Zielvorgaben der Stadt zu entsprechen, investieren die Verkehrsbetriebe erhebliche Summen in das Streckennetz und den Fuhrpark. Daneben spiegelt sich der stetige Aufgabenzuwachs in einem aktiven Personal- und Qualifizierungsmanagement wider, das besonders dazu dient, die Nachfrage des Unternehmens nach Fahrerinnen und Fahrern zu decken.

Die LVB hat die komplexen Herausforderungen aus sich verändernden Kundenanforderungen, dem Ziel einer nachhaltigen Mobilitätswende und einer zunehmenden Automatisierung von Fahrsystemen erkannt und gestaltet die Transformation ihres Geschäftsmodells und ihrer Arbeitsorganisation aktiv. So investiert die LVB in Forschungs- und Entwicklungsprojekte, die jenes komplexe Spektrum an Herausforderungen adressieren. Deren Projektinhalte werden nachfolgend kurz zusammengefasst. Mit der Entwicklung einer eigenen (multimodalen) Mobilitäts-App „Leipzig mobil“¹³ ist es den Verkehrsbetrieben gelungen, eine eigene Plattform in Leipzig zu schaffen, die andere Verkehrsträger integriert (Fahrrad, Car-Sharing, Taxi) und Daten von Kundinnen und Kunden sowie -zugänge bei ihnen hält. Eine wesentliche Rolle für die Entwicklung der App, die durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur gefördert wird, spielt die „Mobilitätsfabrik“ der LVB. Diese wurde 2019 in Kooperation mit dem Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation in Göttingen gestartet. Sie dient als Kompetenzzentrum, das Softwareentwickelnde und Forschende zusammenbringt und neue digitale Lösungen für den Nahverkehr und die LVB entwickeln soll¹⁴.

⁸ <https://www.iwconsult.de/aktuelles/projekte/staedteranking-2019>, zuletzt geprüft am 25.08.2020

⁹ <https://www.leipzig.de/umwelt-und-verkehr/verkehrsplanung/mobilitaetsstrategie-2030/>, zuletzt geprüft am 25.08.2020

¹⁰ <https://www.leipzig.de/umwelt-und-verkehr/verkehrsplanung/mobilitaetsstrategie-2030/nachhaltigkeits-szenario/>, zuletzt geprüft am 25.08.2020

¹¹ <https://www.leipzig.de/umwelt-und-verkehr/verkehrsplanung/oeffentlicher-personennahverkehr/>, zuletzt geprüft am 25.08.2020

¹² <https://www.leipzig.de/news/news/leipzig-erwartet-hohe-einnahmeverluste/>, zuletzt geprüft am 25.08.2020

¹³ Im Sommer 2020 wurde eine Weiterentwicklung der App „Leipzig mobil“ vorgestellt. Die neue Mobilitäts-App der LVB firmiert nun unter dem Namen „LeipzigMove“.

¹⁴ <https://www.l.de/verkehrsbetriebe/kundenservice/services/nachrichten/detailansicht/9,1,YToxOntzOjY6Im-VudGI0eSl7czo0iixMzY1Ijt9>, zuletzt geprüft am 25.08.2020

Innovationslandkarte der Leipziger Verkehrsbetriebe



Abbildung 1: Projektspektrum der LVB (Quelle: LVB)

Das Ende 2018 gestartete Projekt „MADAM“ (Mobile Arbeit wird digital, digitale Arbeit wird mobil)¹⁵, finanziert vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales, dient dazu, neue Formen digitaler Arbeit und Kommunikation mit den Beschäftigten zu erproben und neue Ansätze orts- und zeitflexiblen Arbeitens zu entwickeln und einzuführen. Dabei spielen insbesondere partizipative und agile Methoden des Projektmanagements eine Rolle.

Im 2019 gestarteten Forschungsprojekt „ABSOLUT“ (Automatischer Bus-Shuttle selbstorganisierend zwischen Leipzig und dem BMW-Terminal) werden automatisiert fahrende, vernetzte Kleinbusse entwickelt, die das BMW-Werk Leipzig an den S-Bahn-Verkehr anbinden sollen. Beteiligt sind neben der LVB auch Unternehmen, Entwickler und die Technische Universität Dresden. Projektförderer ist das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Mit dem Projekt soll gezeigt werden, wie ein automatischer Mehrpersonentransport auf einer begrenzten Strecke mit höheren Geschwindigkeiten als bisher realisiert werden kann. Aus Sicht der LVB sind insbesondere die Entwicklung der Fahrzeugsensorik und -elektronik für das autonome Fahren von Bedeutung sowie die Umrüstung der Lichtsignalanlagen und die Anbindung der autonomen Fahrzeuge an die Leitstelle. Nach erfolgreichen Tests im Rahmen des Projekts soll in erster Linie das Mobilitätsangebot für die ca. 13.000 Mitarbeitenden der beiden an der Teststrecke befindlichen Unternehmenssitze erweitert werden. Neben der Erprobung und Zulassung der Fahrzeuge wird im Projekt auch der Pilotbetrieb im öffentlichen Raum zum Testen verschiedener Einsatzkonzepte erprobt – Stichworte: bedarfsgerechtes 24/7-Angebot bzw. „on demand“, Entwicklung eines Buchungs- und Informationsinterfaces, Aufbau und Vernetzung mit der Leitstelle (ABSOLUT, 2020).

Das Projekt „Chamäleon“ besitzt ebenfalls Verbindungen zum Thema des teil- bzw. vollautomatisierten Fahrens. Hier werden Ampeln auf ausgewählten Straßenbahnlinien im Stadtgebiet mit dem Betriebsleitsystem der LVB verbunden und kommunizieren mit diesem in Echtzeit. Basierend darauf werden Fahrerassistenzsysteme ermöglicht, die die Fahrdienstleistenden über Ampelschaltungen auf der Strecke informieren, sodass Beschleunigungs- und Bremsvorgänge reduziert werden können. Im Ergebnis kann dadurch Energie eingespart und der Materialabrieb reduziert werden.

Das INTERREG-geförderte Vorhaben „LOW-CARB“ (Capacity building for integrated low-carbon mobility planning in functional urban areas) hat sich mit integrierter und umweltfreundlicher Verkehrsplanung in urbanen Räumen beschäftigt. Leitmotiv ist die Reduzierung von Treibhausgasen im Verkehrssektor in Stadt-Umland-

¹⁵ <https://www.madam-leipzig.de/>, zuletzt geprüft am 25.08.2020

Regionen mittels intelligenter Verkehrskonzepte in einer Kooperation mit der LVB und der Mitteldeutschen Verkehrsverbund GmbH.

„Flexa“ ist ein neues Mobilitätsangebot im Leipziger Norden, das in einer Pilotphase den Kundinnen und Kunden die Möglichkeit gibt, zusätzlich zum bestehenden LVB-Liniensystem Kleinbusfahrten individuell per Telefon oder App zu buchen. Die Kundinnen und Kunden werden an bestehenden oder neu berechneten, individuellen Haltepunkten abgeholt und zum Ziel oder anderen Verkehrsmitteln gebracht. Das Buchungssystem sorgt dabei für optimale Fahrzeugauslastung und Routenführung, indem Fahrten mehrerer Kundinnen und Kunden kombiniert werden. Entwickelt wurde das System mit Unterstützung des Max-Planck-Instituts im Rahmen des Programms „Digitalisierung kommunaler Verkehrssysteme“ des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur.

Mit „Leipzig mobil blue“ unterstützen die LVB die betriebliche Mobilität ihrer eigenen Mitarbeitenden mit dem Fokus auf ökonomische und ökologische Nachhaltigkeit. Das System ermöglicht den Mitarbeitern für betriebliche Fahrten die kombinierte Nutzung von ÖPNV, Fahrzeugen aus dem LVB-Fuhrpark mit alternativen Antrieben sowie Car- und Bike-Sharing. Das softwaregestützte Buchungssystem soll Auskunfts- und Buchungsmöglichkeiten für die Nutzenden unter einer Oberfläche bieten.

Die geschilderten Projekte zeigen, dass digitale Innovationen bei der LVB schon heute einen hohen Stellenwert besitzen. Mit der Einbindung der LVB in die vorliegende Untersuchung bietet sich die Möglichkeit, aktuelle Entwicklungen im Bereich teil- und vollautomatisierten Fahrens und dessen Konsequenzen auf Arbeit und Beschäftigung anhand eines konkreten Unternehmens zu betrachten und praktische Handlungsoptionen abzuleiten, die an dessen bestehende Strategien anknüpfen oder darüber hinausgehen. Ziel der Studie ist es, dabei zu allgemeingültigen Schlussfolgerungen zu kommen, die auch für andere Akteure der Mobilität Einsichten und Anleitungen geben können.

1.3 Themenfelder und Methodologie

Die vorliegende Studie folgt einem qualitativen Ansatz, der neben einer Literaturlauswertung zu den Themenfeldern der Studie sowie einer Auswertung von Daten der LVB die Durchführung und Auswertung persönlicher Interviews mit Vertreterinnen und Vertretern der LVB sowie von telefonischen Interviews mit Expertinnen und Experten zu den verschiedenen Themenfeldern der Studie enthält und durch eine Onlinebefragung abgerundet wird.

Zur verwendeten Terminologie ist festzuhalten, dass, auch wenn der Studientitel ausdrücklich vom autonomen Fahren spricht, auch Zwischenstufen der Entwicklung zum autonomen Fahren betrachtet werden. Dies ist schon deshalb sinnvoll, da ein autonomes Fahrzeug die höchste der fünf Entwicklungsstufen darstellt, deren Erreichung mit einem langen Zeithorizont verbunden ist. Im Kontext der vorliegenden Studie wird deshalb anstelle einer generellen Verwendung des Begriffes „autonomes Fahren“ auf die dem jeweiligen Kontext angemessene Differenzierung zurückgegriffen, die auf den allgemein akzeptierten Stufenmodellen für straßen- und schienengebundenen Verkehr beruht, die in Kapitel 2.1 ausführlich vorgestellt werden. Insbesondere wird in der Studie auf das „teil-, hoch- und vollautomatisierte Fahren“, also die Stufen 2 bis 4 des autonomen Fahrens, referenziert.

Die mit dem Studienkontext verbundenen Fragestellungen wurden der Übersichtlichkeit halber in Themencluster gruppiert. Folgende Arbeitsinhalte bzw. Zielstellungen sind damit verbunden:

- **Stand und Zukunft der Technik autonomen Fahrens**

Um die Auswirkungen autonomen Fahrens und seiner Vorstufen auf Unternehmen und Personal des ÖPNV einschätzen zu können, wird in der folgenden Untersuchung zunächst der aktuelle technische Reifegrad dargestellt und eine Einschätzung zum Zeithorizont sowie den Herausforderungen der

technischen Entwicklung hin zum autonomen Fahren gegeben. Dabei fließen neben wissenschaftlichen Publikationen auch die (teilweise vorläufigen) Ergebnisse aktueller Forschungsprojekte ein, die sich insbesondere mit der praktischen Erprobung autonomer Fahrzeuge in begrenzten öffentlichen Räumen in Deutschland beschäftigen und eine Reihe von Erkenntnissen über die praktischen Probleme autonomen Fahrens liefern.

- **Auswirkungen des teil- bzw. vollautomatisierten Fahrens auf Unternehmen und Geschäftsmodelle**

Digitalisierung und automatisiertes Fahren werden sowohl die Betriebsorganisation als auch die Geschäftsmodelle im ÖPNV möglicherweise grundlegend ändern. Die LVB legt ihrer Firmenstrategie entsprechende Szenarien zugrunde, die Grundannahmen über den Verlauf dieser Entwicklungen enthalten. Diese werden im Rahmen der vorliegenden Studie mit Erkenntnissen aus der Wissenschaft und Strategieentwicklungen in der Branche kontrastiert, wobei auch sich ändernde Rahmenbedingungen im ökonomischen und gesellschaftlichen Umfeld berücksichtigt werden. Mit Blick auf das untersuchte Unternehmen stellen sich weitere Fragen: Wie sehen die betrieblichen Akteure die Entwicklungen? Welche Handlungsoptionen sehen sie für sich selbst, welche Strategien halten sie für wahrscheinlich? Wie wird die aktuelle Transformation im Unternehmen kommuniziert, und welche Kultur der Einbindung der Beschäftigten lebt das Unternehmen bereits (und kann es ggf. auch in Zukunft nutzen)? Welche Unterstützung erwarten die Akteure von externen Stakeholdern aus Politik, Kommune, Bildung und Gewerkschaften?

- **Gesundheit, Ergonomie, Sicherheit – Fahrarbeitsplätze im technischen Wandel**

Durch technische Entwicklungen ändern sich schon heute mit jeder neuen Fahrzeuggeneration Arbeitsplätze für Bus- und Straßenbahnfahrer/-innen. Mit Techniken teil- bzw. vollautomatisierten Fahrens könnten weitere Neuerungen in den Fahrerkabine einziehen. Daraus ergeben sich Fragen zur sich verändernden physischen und psychischen Belastung der Beschäftigten. Es müssen Lösungen diskutiert werden, wie das Belastungsprofil in Zukunft optimierbar ist. Auch die spezifische Rolle, die dem betrieblichen Gesundheitsmanagement aktuell und in Zukunft zukommen kann, soll dabei Gegenstand sein. Daneben stellen sich Fragen zu sicherheitsrelevanten Auswirkungen solcher Technologien, etwa in verkehrspsychologischer Sicht. Verbessert teil- bzw. vollautomatisiertes Fahren die Verkehrssicherheit und die Bediensicherheit für die Fahrerin bzw. den Fahrer oder sind gegenteilige Effekte möglich? Und wie können Fahrdienstleistende stärker in die Gestaltung der Arbeitsplätze einbezogen werden?

- **Auswirkungen autonomen Fahrens auf Beschäftigungsentwicklung, Fachkräftebedarf/Personalmanagement, Berufsbilder und Qualifikationsprofile**

Auf der Basis quantitativer Methoden sollen die vermuteten Effekte der demografischen Entwicklung und neuer Fahrtechnologien auf Beschäftigungsentwicklung, Fachkräftebedarf, Berufsbilder und Qualifikationsprofile ermittelt und prognostiziert werden. Vor dem Hintergrund dieser Prognosen werden die künftige Personalzusammensetzung des Beispielunternehmens untersucht und mögliche Folgen für die Fachkräftegewinnung und das künftige Personalmanagement ausgelotet: Wie lässt sich das Personalmanagement im Spannungsverhältnis zwischen Altersstruktur der Belegschaft, demografischem Wandel, Wertewandel der jüngeren Generation und Auswirkungen der Digitalisierung optimieren? Dies beinhaltet auch die Frage nach künftigen Weiterbildungs- und Qualifizierungserfordernissen und -möglichkeiten für die Beschäftigten im ÖPNV.

Die methodische Umsetzung der Studie erfolgte mit folgenden drei Bausteinen:

Literaturlauswertung

Im Rahmen der Literaturlauswertung wurde der aktuelle Stand wissenschaftlicher Erkenntnisse zum Themenfeld „voll- bzw. teilautomatisiertes Fahren“ und den damit verbundenen Auswirkungen auf Beschäftigung im ÖPNV anhand aktueller Publikationen und vorhandener Studien aufgearbeitet. Weiterhin wurden Unterlagen der LVB eingesehen und Betriebsdaten ausgewertet. Dabei wurde das Ziel verfolgt, zu den zuvor definierten Themenclustern Informationen zu gewinnen und in übertragbare Ansätze zur Gestaltung von Beschäftigung in Zeiten eines technologischen Wandels im ÖPNV oder ggf. auch anderen Branchen zu überführen.

Interviews mit der LVB und Expertengespräche

Orientiert an den dieser Studie zugrunde liegenden Fragestellungen wurde ein Gesprächsleitfaden (siehe Anhang) erstellt. Dieser Gesprächsleitfaden bildete die Grundlage für die Durchführung qualitativer Interviews mit Vertretern und Vertreterinnen der LVB (insgesamt zwölf Interviews) sowie externen Expertinnen und Experten (insgesamt sechs Interviews). Der Leitfaden wurde dabei an das jeweilige Spezialgebiet des Interviewpartners bzw. der Interviewpartnerin angepasst.

Onlinebefragung

Um die in der Literaturlauswertung, den Interviews mit der LVB und den durchgeführten Expertengesprächen gewonnenen Erkenntnisse zu validieren, wurde zusätzlich eine offene Onlinebefragung durchgeführt. Der zugrundeliegende Fragebogen wurde, ausgerichtet an den in dieser Studie zu behandelnden Themenkomplexen und über die Software *keyingress*, umgesetzt. Die Befragung wurde im Zeitraum von März bis Anfang April 2020 durchgeführt. Die Befragung war vier Wochen online zugänglich. In diesem Zeitraum wurden unter anderem mit Unterstützung des Verbands Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) und des Bundesverbands Deutscher Omnibusunternehmer e. V. (BDO) Expertinnen und Experten angesprochen. Insgesamt nahmen 53 Personen an der Umfrage teil.

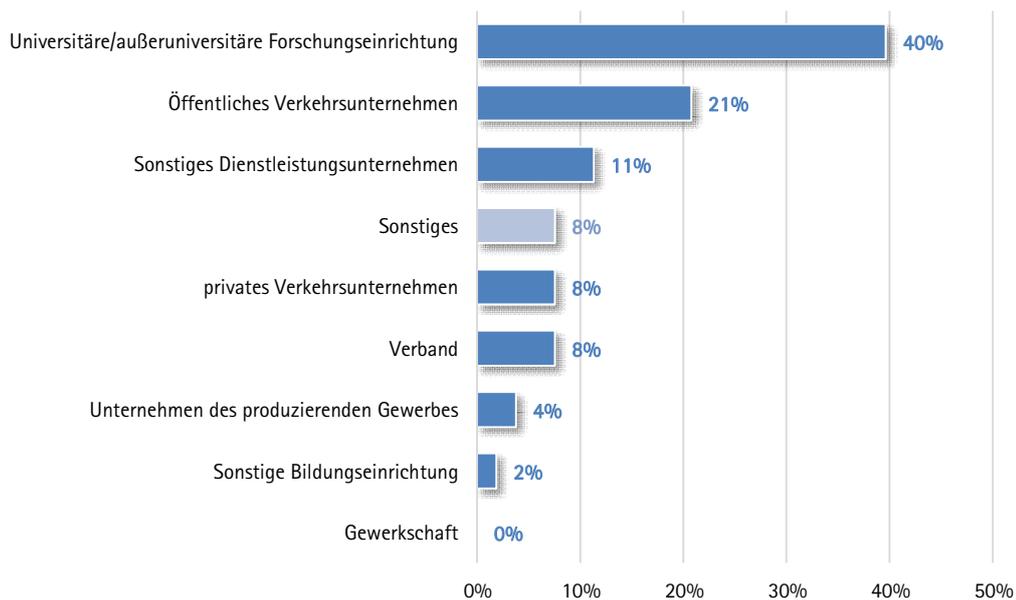


Abbildung 2: Eingruppierung der Teilnehmenden an der Onlinebefragung

Abbildung 2 zeigt die Zusammensetzung der zugrundeliegenden Stichprobe. 40 % der Teilnehmenden waren Vertreter universitärer und außeruniversitärer Forschungseinrichtungen. 21 % der Teilnehmenden sind in öffentlichen Verkehrsunternehmen und 8 % in privaten Verkehrsunternehmen tätig. 11 % der Befragten ordneten sich der Kategorie sonstiger Dienstleistungsunternehmen zu. 8 % der Teilnehmenden waren Vertretende von Verbänden. 4 % gehörten Unternehmen des produzierenden Gewerbes an. Vertreter von Gewerkschaften nahmen nicht an der Befragung teil. 8 % der Teilnehmenden ordneten sich keiner der vorgenannten Gruppen zu. Insgesamt 92 % der Befragten gaben an, bereits Berührungspunkte mit dem Thema „teil- bzw. vollautomatisierten Fahrens“ gehabt zu haben.

2 Stand und Zukunft der Technik autonomen Fahrens im ÖPNV

2.1 Aktueller Stand in Wissenschaft und Praxis

Um Effekte auf Arbeit und Beschäftigung durch Einführung der Technologie des teil- bzw. vollautomatisierten Fahrens ableiten zu können, ist es essenziell, sich im Vorfeld einen Überblick über Stand und Zukunft dieses Technologiefeldes - mit dem speziellen Fokus auf die Anwendung im ÖPNV - zu verschaffen. Die nachfolgenden Ausführungen legen daher die technischen Grundlagen, den Stand der Technik für das teil- bzw. vollautomatisierte bis hin zum autonomen Fahren im straßengebundenen bzw. schienengebundenen ÖPNV dar und geben jeweils einen Ausblick in die zukünftige Entwicklungsperspektive. Es folgt eine Gegenüberstellung mit dem aktuellen Status quo bei der LVB und eine Abrundung durch die Ergebnisse der Onlinebefragung.

2.1.1 Straßengebundener ÖPNV

Als straßengebundener ÖPNV wird im Rahmen dieser Studie der Busverkehr verstanden, während Straßenbahnen als schienengebundener ÖPNV erfasst werden. Dieser unterscheidet sich in zwei Fahrzeugklassen: Kleinbusse mit einer Länge von rund 5 Metern und einer Transportkapazität von sechs bis zwölf Personen (im Folgenden Shuttle-Busse bzw. Shuttles genannt) und Nahverkehrsbusse der EG-Fahrzeugklasse M3, also mit mehr als 5 Tonnen zulässigem Gesamtgewicht (zGG).

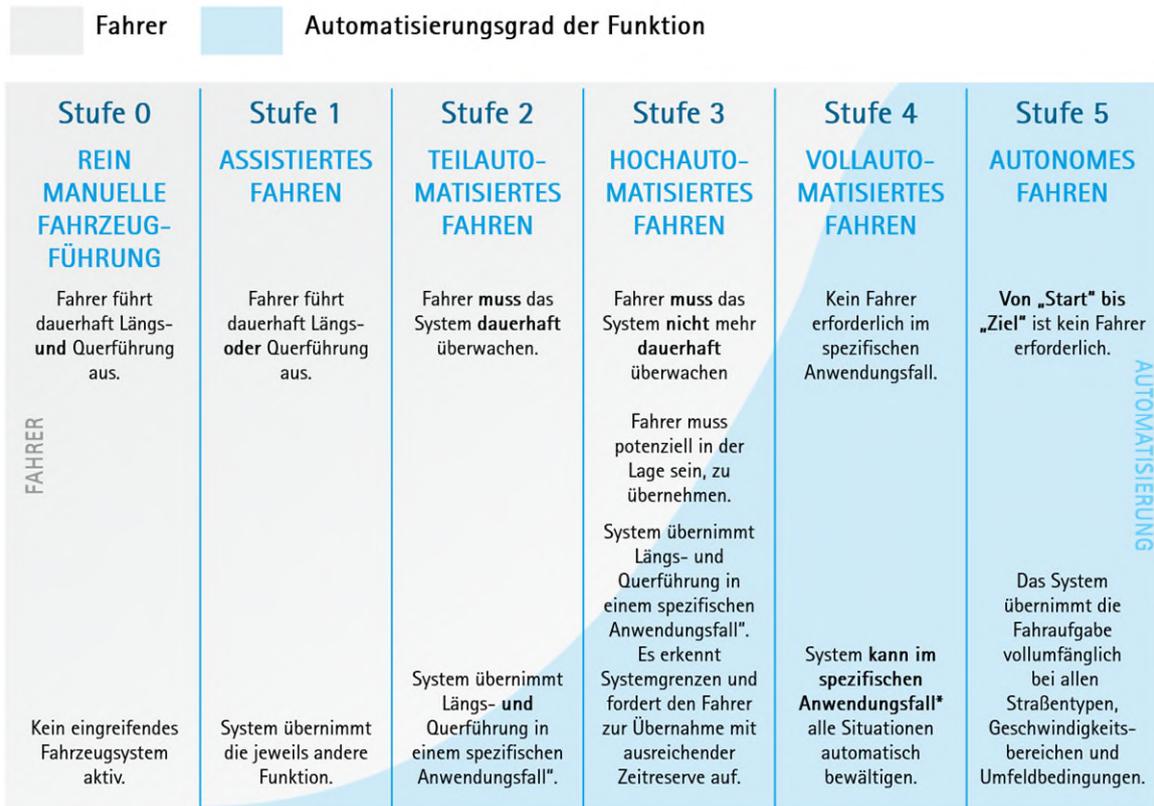
Da die maßgeblichen Entwicklungen des autonomen Busbetriebs aktuell vor allem im Bereich der Shuttles stattfinden, wird der Fokus der Betrachtungen im folgenden Kapitel auf diesen Fahrzeugen liegen. Doch auch auf relevante Entwicklungen bei den größeren Nahverkehrsbusen wird eingegangen. Autonome Shuttles in der Pkw-Klasse, z. B. im Rahmen eines ÖPNV-betriebenen Ridesharing-Dienstes, sind nicht Gegenstand dieser Studie.

2.1.1.1 Grundlagen

Vorab sollen die auf Expertenebene definierten Stufen des automatisierten bzw. autonomen Fahrens auf der Straße dargelegt werden (Verband der Automobilindustrie [VDA], 2015):

- **Stufe 0** entspricht der **rein manuellen Fahrzeugführung**. Es ist kein Fahrzeugsystem eingreifend aktiv. Solche Fahrzeuge werden in Deutschland allerdings nicht mehr für den Straßenverkehr zugelassen.
- In **Stufe 1**, dem **assistierten Fahren**, unterstützen Fahrerassistenzsysteme die Fahrzeugführung. Hierzu gehören etwa die gesetzlich vorgeschriebenen ABS- und ESP-Funktionen. Nebenbei: Ab 2022 erweitert sich die Palette der Pflicht-Assistenten in Europa schrittweise. So müssen neue Pkw bald u. a. mit der autonomen Notbremsfunktion und Spurhalteassistenten ausgestattet sein.
- Damit können neue Fahrzeuge bereits der **Stufe 2**, dem **teilautomatisierten Fahren**, zugeordnet werden. Denn hier übernimmt das Fahrzeugsystem in bestimmten Anwendungsfällen die Steuerung selbst. Der bzw. die Fahrende behält aber dauerhaft die Hoheit über das Fahrzeug. Neben dem Spurhalteassistenten sind die automatische Einparkfunktion oder ein Überholassistent solchen Systemen zuzuordnen.
- **Stufe 3** ist das **hochautomatisierte Fahren**. Hier kann der bzw. die Fahrende sich zeitweise von der Fahrzeugführung abwenden, muss aber jederzeit innerhalb weniger Sekunden in der Lage sein, zu übernehmen - etwa in komplexen Situationen wie Baustellen. Das Fahrzeug kann also zeitweise komplett selbst fahren.

- Bei **Stufe 4**, dem **vollautomatisierten Fahren**, kann das Fahrzeug in bestimmten Fällen (z. B. Straßentypen, Geschwindigkeitsbereiche) alle darin enthaltenen, auch komplexen Situationen automatisch bewältigen. Im Normalbetrieb können sich alle Insassen längere Zeit vom Fahrgeschehen abwenden. Die „fahrende“ Person muss allerdings jederzeit fahrtüchtig sein.
- Bei der letzten und **5. Stufe**, dem **autonomen Fahren**, sind die Fahrzeuginsassen nur noch Passagiere; das Fahrzeug übernimmt alle Fahrfunktionen.



*Anwendungsfälle beinhalten Straßentypen, Geschwindigkeitsbereiche und Umfeldbedingungen

Abbildung 3: Stufen des automatisierten bzw. autonomen Fahrens (Eigene Darstellung nach VDA, 2015)

Im Pkw- und Lkw-Bereich wird heute das hochautomatisierte Fahren (Stufe 3) bereits in verschiedenen Projekten erfolgreich demonstriert (EDDI, 2019). Im Lkw-Bereich wird für das vollautomatisierte Fahren (Stufe 4) laut aktueller Studien mit einer Marktreife ab 2025 gerechnet (Michael Krail et. al., 2019). Hierbei wird allerdings der Anwendungsfall „Autobahn“ in den Fokus genommen. Deshalb ist der Stand der Technik im Lkw-Bereich nicht unbedingt auf Nahverkehrsbusse übertragbar.

Im Anwendungsfeld ÖPNV gelten besondere Rahmenbedingungen für den Einsatz hochautomatisierter Fahrzeuge. So ist permanent eine Kontrollinstanz, wie etwa die Leitstelle, in den Fahrzeugeinsatz involviert. Weiterhin erfolgt der Betrieb im Rahmen bestimmter Routine- oder Steuerungsvorgaben. Demzufolge wird im straßengebundenen ÖPNV zwar ein Betrieb nach oben beschriebener Definition über die Stufe 4 hinaus möglich sein, ein autonomer Betrieb nach der Definition von Stufe 5 ist aber nicht umzusetzen. Um den Einsatz hochautomatisierter Fahrzeuge der höchsten Stufe im ÖPNV gleichwohl abzubilden, hat der Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV), angelehnt an die VDA-Definitionen, kürzlich eine „Stufe 4 ÖV – fahrerlos im spezifischen ÖV-Anwendungsfall“ definiert. In dieser Stufe erfolgt der Fahrzeugbetrieb fahrerlos auf einer spezifischen Linie oder in einem spezifischen Anwendungsgebiet mit fakultativer Unterstützung einer Leitstelle (VDV, 2020a).

2.1.1.2 Stand der Wissenschaft

Die derzeit in einer Vielzahl von Forschungs- und Entwicklungsprojekten gegenständlichen ÖPNV-Shuttles sind nach ihrem Entwicklungsstand dem hochautomatisierten Fahren (Stufe 3) zuzuordnen. Sie sind mit einer Vielzahl an Assistenzsystemen ausgestattet und können auf vorprogrammierten Strecken ohne das Eingreifen einer Begleitperson, oft auch als Operator bezeichnet, fahren. Hauptsächlich werden Fahrzeuge der Newcomer EasyMile und Navya in den Vorhaben eingesetzt. Eine Liste aller Projekte ist auf der VDV-Internetseite zu finden.¹⁶

In aktuellen Berichten solcher Projekte zeichnet sich allerdings ab, dass die eingesetzten Fahrzeuge doch noch deutlich hinter den Erwartungen der Anwendenden zurückbleiben. Zwar können sich die Fahrzeuge selbstständig auf einer virtuellen, im Vorfeld „erlernten“ Linie bewegen, ihre Geschwindigkeit den Umständen anpassen und bei unerwarteten Hindernissen zuverlässig zum Stehen kommen. Doch werden wiederholte Betriebseinschränkungen und -unterbrechungen aufgrund von technischen Defekten verzeichnet, insbesondere durch Softwarefehler. Eindeutige Grenzen des automatisierten Fahrens zeigen sich bei bestimmten Wetterbedingungen, wie Regen oder Schneefall oder aufwirbelndem Laub. Hier kommt das Fahrzeug wiederholt wegen vermeintlicher Hindernisse auf der Fahrbahn zum Stehen. Weiterhin sind Ausweichmanöver, z. B. bei Falschparkern oder die Reaktion auf Vorfahrtsituationen, nicht ohne Eingriff des Begleitpersonals umsetzbar. Ein weiterer genannter Nachteil ist die auf einschränkende Zulassungsbestimmungen zurückzuführende geringe Höchstgeschwindigkeit der Fahrzeuge im öffentlichen Raum (max. 18 km/h, oft aber unter 15 km/h in der Praxis). Fahrgästen, die bei hoher Schrittgeschwindigkeit schneller unterwegs sein könnten, zeigt sich hier kein Mehrwert (HEAT, 2020; STIMULATE, 2020). Darüber hinaus ist die notwendige Anbindung an die Leitstelle technisch derzeit nicht umgesetzt [Interview 09].

Folglich unterscheidet sich der technisch umsetzbare Reifegrad bei den hochautomatisierten Shuttles deutlich von dem im Pkw- und Lkw-Bereich. Das liegt vor allem daran, dass die Shuttlehersteller Start-ups sind, die sozusagen in der Fahrzeugentwicklung neu anfangen. Aber auch im Service verfügen sie über weniger Ressourcen und Know-how als marktführende Unternehmen wie BMW, Daimler, Volvo, Tesla oder Google. Demzufolge fallen die Fahrzeuge bei Soft- oder Hardwareproblemen länger aus. Nichtsdestotrotz sind diesen Unternehmen wichtige Impulse hin zum autonomen Shuttleverkehr zu verdanken [Interview E].

Neben den vielseitigen Forschungs- und Entwicklungsprojekten rund um hochautomatisierte Shuttles gibt es auch einige wenige Vorhaben, die sich mit der Automatisierung größerer Nahverkehrsbusse beschäftigen. Zu nennen sind hier insbesondere die jüngeren Projekte in Singapur und Schottland, welche 2019 jeweils einen mehrjährigen Demonstrationsbetrieb mit mehreren Fahrzeugen starteten. Anders als bei den kleineren Shuttles sind hier etablierte Fahrzeughersteller (OEM) wie Volvo (Schweden) und Alexander Dennis (Vereinigtes Königreich) in die Fahrzeugentwicklung eingebunden (E&T, 2019) (CAVForth, 2019). Volvo etwa kann hier Know-how und Technologie aus der hochautomatisierten Lkw-Sparte einbringen.

2.1.1.3 Ausblick

Aktuelle Veröffentlichungen treffen sehr unterschiedliche Aussagen zur Weiterentwicklung der Technologien für das autonome Fahren auf der Straße. Der European Road Transport Research Advisory Council (ERTRAC) verortet in seiner Anfang 2019 veröffentlichten Roadmap (Projektion zur künftigen technologischen Entwicklung) vollautomatisierte Pkw (Stufe 5) nur unbestimmt nach 2030 (*Connected Automated Driving Roadmap*, 2019). Der Verband der Deutschen Automobilindustrie (VDA) dagegen erwartet das vollautomatisierte Fahren (Stufe 4) erst Anfang der 2030er Jahre (Verband der Automobilindustrie [VDA], 2020). Eine Studie der Autoren Roos und Siegmann prognostiziert, dass solche Fahrzeuge nicht vor 2040 auf deutschen Straßen fahren (Roos & Siegmann, 2020). Insbesondere die notwendige Car2Car- und Car2Infrastructure-Kommunikation sowie die

¹⁶ <https://www.vdv.de/liste-autonome-shuttle-bus-projekte.aspx>, zuletzt geprüft am 25.08.2020

daraus hervorgehenden Netz- (5G), Normungs- und Standardisierungsansprüche werden als wesentlicher Limitierungsfaktor für eine flächendeckende Ausbreitung autonomer Straßenfahrzeuge in hochkomplexen städtischen Verkehrssystemen gesehen. Zudem sei auf die in Kapitel 1.1 erwähnten Grundsätze der Ethik-Kommission für automatisiertes und vernetztes Fahren verwiesen, nach denen die Unversehrtheit des menschlichen Lebens allein im Vordergrund steht und der Schutz der Menschen Vorrang vor allen Nützlichkeitsbewertungen haben soll (BMVI, 2017).

Ungeachtet der oben beschriebenen Hindernisse haben Bundesregierung und Automobilindustrie in der 3. Sitzung der Konzentrierten Aktion Mobilität im September 2020 das Ziel festgelegt, dass bis 2022 Fahrzeuge mit autonomen Fahrfunktionen im Regelbetrieb fahren sollen. Damit wäre Deutschland der erste Staat weltweit, der fahrerlose Fahrzeuge auf seinen Straßen zulässt. Hierzu soll nicht nur die Fortführung der Förderung der Forschung und Entwicklung wesentlich beitragen, sondern insbesondere die Verabschiedung eines neuen Gesetzes zum autonomen Fahren, das autonome Kraftfahrzeuge (Stufe 5) in festgelegten Bereichen des öffentlichen Straßenverkehrs erlaubt (Bundesregierung, 2020). Die formulierten Zielstellungen sind vor dem Hintergrund der vorhergehenden Ausführungen auf Grundlage der in dieser Studie zusammengeführten Erkenntnisse über Fortschritte und Herausforderungen bei der Entwicklung zum autonomen Fahren als äußerst ambitioniert zu bewerten und stellen in dieser Form zunächst lediglich eine politische Willensbekundung der Bundesregierung dar.

Die in den genannten Roadmaps abgebildete künftige technologische Entwicklung bezieht sich in erster Linie auf die Pkw-Entwicklung, da hier herstellerseitig die größten (monetären) Anstrengungen unternommen werden. Im Bereich der hochautomatisierten Shuttles ist keine schnellere Entwicklung zu erwarten. Damit das Fahrzeugsystem der Shuttles auch in komplexen Situationen selbstständig entscheiden kann, muss sein Umfeld in einem möglichst weiten Radius detektiert werden. Jedes dabei erfasste Objekt ist anschließend hinsichtlich seiner Position (Stillstand/Bewegung), Bewegungsrichtung und Geschwindigkeit in Sekundenbruchteilen zu bewerten. Allein die hierfür erforderliche Sensorik ist bei aktuell in der Erprobung befindlichen Shuttles noch nicht ausgereift. Es werden Radar- und Lidarsensoren genutzt, in aktuell laufenden Forschungsprojekten auch in Kombination (HEAT, 2020; STIMULATE, 2020), aber es fehlt in der Regel noch eine optische Erfassung per Kamera, um alle Dimensionen ausreichend zu erfassen. Das Forschungsprojekt ABSOLUT¹⁷ der LVB hat sich daher zum Ziel gesetzt, ein Fahrzeug des Herstellers EasyMile dahingehend weiterzuentwickeln, dass ein Dreifachsensorsystem aus Lidar, Radar und optischer Sensorik (Kameras) zum Einsatz kommt. Die drei Sensortechnologien sollen dabei mittels Künstlicher Intelligenz in ein einheitliches Umgebungsbild zusammengeführt werden. Hier eine hohe Gesamtreichweite des Sensorsystems und eine hohe Präzision zu erreichen, stellt bereits eine hinreichende Herausforderung dar. So sollen Objekte im Umfeld des Fahrzeuges nicht nur detektiert, sondern auch klassifiziert werden. Das System soll z. B. eine auf der Straße liegende Plastiktüte von einem Ziegelstein unterscheiden können. Erste Praxiserprobungen sind für 2021 geplant. Ein zuverlässiger Prototyp könnte bis 2024 entwickelt sein [Interview 09].

Im Hinblick auf die Automatisierung von Nahverkehrsbussen jenseits der 10-m-Fahrzeuflänge ist voraussichtlich trotz des höheren Know-hows und der zu erwartenden höheren Entwicklungsetats der Hersteller in naher Zukunft – bis auf einige wenige über Forschungsprogramme mitfinanzierte Demoprojekte hinaus – wenig Neues zu erwarten.

Das offensichtliche Fehlen entsprechender Forschungs- und Entwicklungsprojekte etablierter Bushersteller in der nationalen und europäischen Förderlandschaft macht deutlich, dass von deren Seite ein eher geringes Interesse an einem schnellen Erreichen der Serienreife für den öffentlichen Betrieb existiert, obwohl die o. g. fortgeschrittenen Demonstrationsprojekte in Schottland und Singapur mit großen Nahverkehrsbussen zeigen, dass die technologische Reife zumindest genauso weit ist wie bei den Shuttles. Neben den enorm hohen Entwicklungskosten für die Automatisierung ist der aktuell herrschende Wettbewerbsdruck im Bereich der

¹⁷ Unter Beteiligung der Partner IAV und Vitesco (Continental) [bis Mai 2020] mit wissenschaftlicher Begleitung durch die TU Dresden

alternativen Antriebstechnologien ein wesentlicher Grund. Vor dem Hintergrund der jüngst verabschiedeten Clean Vehicle Directive (CVD)¹⁸ und ambitionierter staatlicher Förderprogramme ist die Nachfrage nach Elektrobussen hoch. Die Anstrengungen der Bushersteller konzentrieren sich folglich aktuell auf die Aufstellung eines zuverlässigen Elektrobusangebots mit einer stetigen Verbesserung der Modelle (insb. hinsichtlich der Reichweite), eine Verstärkung der damit verbundenen neuen Produktionsprozesse sowie die Implementierung neuer Geschäftsmodelle. EvoBus bzw. Daimler setzen beispielsweise auf das Angebot von Fahrzeugen und Ladetechnologie aus einer Hand. Nach Stimmen von Herstellern wird das erste Ziel die Automatisierung im Depotbereich sein. Hier sind die zu beherrschenden Strecken, Prozesse und Situationen überschaubar. Eine Umsetzung innerhalb der nächsten zehn Jahre ist dabei denkbar.

2.1.2 Schienengebundener ÖPNV

2.1.2.1 Grundlagen

Wie im Straßenverkehr gibt es auch im Schienenverkehr eine Einordnung der verschiedenen Automatisierungsgrade (Grades of Automation, GoA). Bevor diese im Einzelnen vorgestellt werden, erfolgt eine Begriffsdefinition der ATP (Automatic Train Protection) und ATO (Automatic Train Operation). Die automatische Zug-sicherung (ATP) errechnet und kontrolliert die Abstände zu anderen Bahnen und beeinflusst u. a. in Abhän-gigkeit davon die Geschwindigkeit des Zuges. Die automatische Zugsteuerung (ATO) steuert alle weiteren Ab-läufe, also u. a. das Anfahren und Stoppen oder die Türsteuerung. Gerade Letzteres stellt hohe Anforderungen an den autonomen Betrieb, damit Fahrgäste, die sich ggf. unvorsichtig oder unvernünftig verhalten, nicht verletzt werden. Je nachdem, wie weit diese Assistenzsysteme selbstständig den Fahrbetrieb übernehmen, werden in der internationalen Norm IEC 62267:2009 die folgenden Automatisierungsgrade festgelegt (M. Rajabalinjad et al., 2019):

- **GoA 0** entspricht dem herkömmlichen Fahrbetrieb auf Sicht. Die Basisfunktionen unterliegen alle der Kontrolle des Fahrpersonals.
- Im **GoA 1** wird die Fahrt weiterhin manuell ausgeführt. Das ATP kommt dabei unterstützend zum Einsatz. Es dient der sicheren Zugsbewegung durch Geschwindigkeitsanpassung oder Kollisionsvermeidung.
- **GoA 2** ist ein halbautomatischer Zugbetrieb, bei dem ATP und ATO zum Einsatz kommen. Die Zugsicherung und -steuerung wird – bis auf die Türsteuerung – vollständig automatisch durchgeführt. Zudem muss der bzw. die Fahrende in Sondersituationen bereit sein, den Betrieb zu übernehmen.
- Beim **GoA 3**, dem fahrerlosen Zugbetrieb, ist das Personal nur noch begleitend im Fahrzeug. Alle Funktionen werden von ATP und ATO gesteuert. Im Bedarfs- oder Störfall kann weiterhin manuell eingegriffen werden.
- **GoA 4** ist der vollautomatisierte, fahrerlose Zugbetrieb. Das Bordpersonal ist nicht mehr für die Zugsteuerung zuständig.

Eine detaillierte Darstellung der verschiedenen Automatisierungsgrade erfolgt in Abbildung 4.

¹⁸ Die EU-Richtlinie 2019/1161 (<https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2019/1161/oj>) legt u. a. für jeden Mitgliedsstaat nationale Ziele für den Mindestanteil von alternativ betriebenen Fahrzeugen an der Gesamtbeschaffung vor. In Deutschland müssen bis 2025 mindestens 45 % der neu beschafften Busse (Klasse M3) emissionsarm oder emissionsfrei betrieben werden. Bis 2030 liegt die Mindestquote bei 65 %.

| Automatisierungsgrad | Art des Zugbetriebs | Fahrsteuerung | Bremssteuerung | Verschließen der Türen | Betrieb im Falle einer Störung |
|----------------------|--|---------------|----------------|------------------------|--------------------------------|
| GoA 1 | manuelle Fahrt mit Zugbeeinflussung | Fahrer | Fahrer | Fahrer | Fahrer |
| GoA 2 | halbautomatischer Zugbetrieb mit Fahrer | automatisch | automatisch | Fahrer | Fahrer |
| GoA 3 | fahrerloser Zugbetrieb mit Begleitung | automatisch | automatisch | Zugbegleiter | Zugbegleiter |
| GoA 4 | vollautomatischer fahrerloser Zugbetrieb | automatisch | automatisch | automatisch | automatisch |

Abbildung 4: Automatisierungsgrade im Schienenverkehr (eigene Darstellung nach (UITP, 2012))

Die Automatisierung der Schiene bietet gerade im Nahverkehrsbereich verschiedene Vorteile im Vergleich zum straßengebundenen Verkehr. So erlaubt die Zug-zu-Zug-Kommunikation und die genaue Ortung der Fahrzeuge den Einsatz von mehr Zügen auf einer Strecke. Die sonst statischen Zugabstände werden deutlich flexibler, sodass eine Verringerung der Taktzeiten auf bis zu 75 Sekunden möglich ist (UITP, 2012). Das sorgt für eine deutliche Kapazitätssteigerung und auch eine Verbesserung der Pünktlichkeit im ÖPNV, wodurch die Attraktivität für Fahrgäste zunimmt. In Nürnberg beträgt die kürzeste Zugfolge 85 Sekunden. Die Kapazität konnte damit um 50 % gesteigert werden, wobei der Energieverbrauch um 15 % reduziert wurde (DVF, 2018).

Ein weiterer Vorteil ist die steigende Flexibilität. Durch die Lösung des Betriebs von Personalkapazitäten kann der Fahrzeugeinsatz genauer auf kurzfristig schwankende Bedarfe zugeschnitten werden. So können Lehrfahrten reduziert werden. Umgekehrt ist der Einsatz von zusätzlichen Zügen, beispielsweise bei einem Ausfall des Busbetriebs (etwa bei Streiks oder durch großflächige Straßensperrungen), auch kurzfristig möglich. Abbildung 5 zeigt das durch Automatisierung umsetzbare Flexibilisierungspotenzial des Metrobetriebs in Abhängigkeit von der Fahrgastnachfrage (Schnieder, 2019).

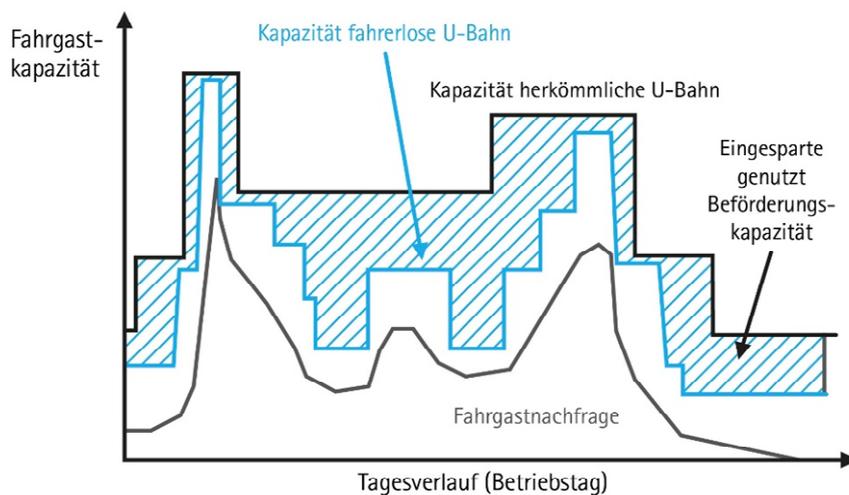


Abbildung 5: Umsetzbares Flexibilisierungspotenzial des Metrobetriebs in Abhängigkeit von der Fahrgastnachfrage durch Flexibilisierung (eigene Darstellung nach Schnieder, 2019)

Trotz der höheren Fahrzeugdichte sind die Sicherheitsstatistiken automatisierter Zugsysteme deutlich besser als die der manuell gesteuerten Systeme. Zudem steigt das subjektive Sicherheitsgefühl der Fahrgäste, wenn durch frei werdende Kapazitäten wieder mehr Servicepersonal an Bahnsteigen eingesetzt werden kann (UITP, 2012).

Ein weiterer wichtiger Vorteil ist die automatisierte Wartung durch besondere Sensoren. Fehler und Verschleiß können eher erkannt und behoben werden, sodass Störungen und Ausfällen viel besser vorgebeugt werden kann (Allianz pro Schiene, 2020).

2.1.2.2 Stand der Wissenschaft

Um den Stand der Umsetzung wissenschaftlicher Erkenntnisse im Bereich der Automatisierung im schienen- gebundenen ÖPNV näher zu betrachten, wird dieser in drei Bereiche unterteilt: (1) U-Bahn, (2) S- bzw. Regionalbahn sowie (3) Straßenbahn. Diese drei Bereiche unterscheiden sich wesentlich in ihren Rahmenbedingungen und Voraussetzungen für die Automatisierung des Zugbetriebs. Während beispielsweise die U-Bahn in der Regel in einem abgeschlossenen Tunnelsystem fährt und so nahezu keine Störfaktoren auftreten können, können im S- bzw. Regionalbahnbetrieb durchaus unerwartete Gegenstände, Tiere oder Personen auf den Gleisen auftreten. Die Straßenbahn birgt durch ihre Einbettung in den urbanen Straßenverkehr mit komplexen Situationen und vielfältigen Verkehrsteilnehmenden die größten Herausforderungen für Sensorik und Algorithmen. Im Folgenden werden die drei Segmente detaillierter beschrieben.

Im **U-Bahn-Segment** ist die Automatisierung am weitesten fortgeschritten. Weltweit gibt es bereits über 100 Metrolinien, die vollautomatisiert (GoA 4) fahren. Diese finden sich hauptsächlich in Asien, aber auch in Europa, bspw. in London, Paris, Barcelona, Budapest und Kopenhagen. In Deutschland ist bisher die einzige fahrerlose U-Bahn in Nürnberg im Einsatz, diese allerdings schon seit 2008 (DVF, 2018). In Berlin gab es bereits 2003 ähnliche Pläne für die Linie U5, diese wurden aus Kostengründen aber auf 2025 verschoben, wobei nun die Linie U8 in die Planung einbezogen wird (Hasselmann, 2019). Mehrkosten für die Automatisierung von U-Bahnlinien entstehen vor allem auf Seiten des Fahrzeugs, der Sensorik und der Signalanlagen sowie in zusätzlichen Sicherungsmaßnahmen an Bahnsteigen (UITP, 2012).

Im Bereich der **S- und Regionalbahn** sind die Fahrzeuge technisch auf einem ähnlichen Stand wie die U-Bahn. Allerdings ist die Umfelderkennung hier höheren Anforderungen ausgesetzt, da mehr und viel differenziertere Objekte auftreten können. Wegen der leichteren Zugänglichkeit der Gleise ist auch die Verantwortung eine höhere. Praktisch umgesetzt wird in Deutschland derzeit GoA 2, also manueller Zugbetrieb mit Teilautomatisierung durch Assistenzsysteme (AFB) (DVF, 2018). Die erste hochautomatisierte S-Bahn Deutschlands wird gerade in Hamburg geplant. Hier wird dann erstmals GoA 3 in einer deutschen S-Bahn umgesetzt. Eine wichtige Grundlage ist der bereits umgesetzte ETCS-Standard im Hamburger Bahnnetz. Während die Zugwende im Bahnhof Bergedorf bereits vollautomatisiert erfolgt, ist auf der Strecke weiterhin eine Begleitperson anwesend, die bei Störungen und Notfällen eingreifen kann. Die erwarteten Vorteile sind auch hier die deutlich schnellere Taktung von 60 Sekunden und die Erhöhung der Fahrgastkapazität um 30 %. Vier Züge befinden sich aktuell in einem aufwendigen mehrstufigen Zulassungsprozess. Laut Plan sollen sie ab Oktober 2021 im realen Betrieb eingesetzt werden (Hamburger Morgenpost, 2020).

Der Anwendungsbereich **Straßenbahn** unterscheidet sich hinsichtlich der Anforderungen und Rahmenbedingungen noch einmal deutlich vom Anwendungsbereich U- und S-Bahn. Die Herausforderungen an die Automatisierung liegen hier vor allem in der Einbindung in den urbanen Straßenverkehr mit all seinen komplexen und teils unvorhersehbaren Situationen und in der offenen Zugänglichkeit der Gleise für alle Verkehrsteilnehmenden. Daher sind die technologischen Anforderungen mit denen hochautomatisierter Straßenfahrzeuge vergleichbar. Wie die oben beschriebenen Shuttles, müssen Straßenbahnen für die Umfelderkennung mit Lidar, Radar und Kameras ausgestattet sein. Für die Verarbeitung des hohen und vielseitigen Datenaufkommens bedarf es intelligenter Algorithmen.

Das erste und viel beachtete Vorhaben zur Entwicklung einer autonomen Tram ist das Forschungsprojekt „Teaching Trams to Drive“. Zusammen mit den Potsdamer Verkehrsbetrieben ViP entwickelte Siemens einen Prototypen, der seit Mai 2018 (noch begleitet) auf einer 12 km langen Teststrecke im Linienbetrieb eingesetzt wird. Das Fahrzeug beschleunigte auf bis zu 50 km/h. Dabei wurden allerdings keine Fahrgäste transportiert. Die Leerfahrten dienten erst einmal der Daten- und Erfahrungssammlung (PNN, 2019).

2.1.2.3 Ausblick

Die vorangestellten Ausführungen zum Stand der Technik zeigen, dass im Bereich der U-Bahn nicht die Technologie der limitierende Faktor für einen verbreiteten Einsatz autonomer Zugsysteme ist, sondern die dafür notwendigen finanziellen Kraftanstrengungen. Die Aufwendungen fallen dabei weniger stark ins Gewicht, wenn ohnehin neue Linien gebaut werden. Daher schreitet die Implementierung nur langsam voran. Abgesehen von den erwähnten Plänen in Berlin, sind keine weiteren Bauvorhaben in Deutschland öffentlich bekannt.

Bei S- und Regionalbahn sind neben finanziellen Hürden vor allem Sicherheitsaspekte ausschlaggebend für die Einführung hochautomatisierter bzw. autonomer Fahrsysteme. Weiterhin ist, ebenso wie im Straßenbereich, die Digitalisierung der Schieneninfrastruktur eine wesentliche Voraussetzung. Die Tatsache, dass noch rund 27 % der Stellwerke im deutschen Streckennetz manuell – teils mit Hebel und Seilzügen – bedient werden, macht die darin liegende Herausforderung deutlich (Die Zeit, 2020). Daher werden fahrerlose Züge voraussichtlich zuerst im nichtöffentlichen Schienenbereich, also in Zugdepots oder Wendeabschnitten, Einzughalten. Wie weiter oben beschrieben, ist in diesem Jahr der erste Fahrzeugeinsatz in Hamburg geplant. Zu weiteren Projekten in Deutschland gibt es keine öffentlichen Aussagen.

Auf Grundlage des oben dargestellten Standes der Technik ist davon auszugehen, dass bis zum serienmäßigen realen Einsatz autonomer Straßenbahnsysteme noch mindestens 20 Jahre vergehen werden. Die Hochautomatisierung von Trams wird für den Linieneinsatz nur mit geringem Druck verfolgt, da, im Gegensatz zu Straßenfahrzeugen, aktuell keine nennenswerte Nachfrage der Verkehrsbetriebe besteht. Der erste Schritt wird die Automatisierung des Depotbetriebs sein, da dieser technisch leichter umsetzbar und durchaus attraktiv für Betreiber ist. Die weiteren Bestrebungen von Siemens gehen daher in diese Richtung. Im Rahmen des im Oktober 2019 gestarteten Projekts AStriD (Autonome Straßenbahn im Depot) wird innerhalb der nächsten drei Jahre ein solches System auf dem Betriebshof der Potsdamer ViP unter wissenschaftlicher Begleitung vom Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und dem Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität e. V. (IKEM) aufgebaut und erprobt (Siemens Mobility GmbH, 2019).

2.2 Entwicklungs- bzw. Umsetzungsstand bei der LVB

Im Gespräch mit Vertreterinnen und Vertretern der LVB wurde deutlich, dass es auch in diesem ÖPNV-Unternehmen keinen disruptiven Technologiewandel von manuellem Fahrbetrieb auf automatisiertes Fahren geben wird, sondern von einem längeren evolutionären Weg über die verschiedenen Stufen des automatisierten Fahrens auszugehen ist, welche in Kapitel 2.1.1.1 dargestellt wurden [Interview 05]. Zum Zeitpunkt der Studiererstellung befanden sich keine hoch- oder vollautomatisierten Fahrzeuge im straßen- oder schienengebundenen Regelbetrieb der LVB. Die nachfolgenden Ausführungen adressieren daher insbesondere den in aktuellen Forschungsprojekten der LVB umgesetzten Stand der Implementierung im straßen- sowie schienengebundenen ÖPNV und umreißen das Ziel der Entwicklungsarbeiten für die Zukunft.

2.2.1 StraÙengebundener ÖPNV

Die Hochautomatisierung im straÙengebundenen ÖPNV wird bei der LVB derzeit im Rahmen des bereits unter 1.2 geschilderten Forschungs- und Entwicklungsprojektes „ABSOLUT“ untersucht.

Ergänzend zu den allgemeinen Projektinformationen kommt aus einem Gespräch mit der LVB noch ein Hinweis [Interview 09] zum Tragen: Da derzeit für Geschwindigkeiten von hoch- bzw. vollautomatisiert fahrenden Fahrzeugen kein rechtlicher Rahmen besteht, sind die Rahmenbedingungen des Projektes ABSOLUT also von Ausnahmeregelungen geprägt. Das Projekt sieht vor, dass erste Fahrten im öffentlichen Raum im Jahr 2021 mit zwei Demonstratoren möglich sein werden (Proof of Concept) und dann drei weitere Jahre für die Entwicklung des Prototyps benötigt werden. Nach Einschätzung von [Interview 09] wird sich eine anschließende praktische Umsetzung im ÖPNV nicht kurz- und auch nicht mittelfristig ergeben, wie noch vor wenigen Jahren

erwartet wurde. Insbesondere technische Schwierigkeiten bei bestimmter Witterung, unerwarteten Hindernissen und komplexen Situationen im Verkehrsgeschehen verbinden die Perspektive für das Jahr 2030 mit gewissen Unsicherheiten bezüglich einer weitverbreiteten Nutzung von vollautomatisierten oder gar autonomen Fahrzeugen. Eine weitere Hürde ist aus Sicht von [Interview 09] auch die aktuelle Notwendigkeit eines Sicherheitsfahrers bzw. Operators. Aktuell steht dieser im Fahrzeug während der Fahrt. Bei höheren Geschwindigkeiten der Fahrzeuge, wie im Projekt angestrebt, ist dies aus Gründen der Sicherheit nicht mehr möglich und der Operator bedarf eines Sitzplatzes, der eine gute Sicht auf das Verkehrsgeschehen zulässt. In der aktuellen Projektumsetzung von ABSOLUT ergibt sich die Schwierigkeit, dass dieser Sitzplatz im Nachhinein schwer in die Shuttlearchitektur zu integrieren ist, da immer wieder Sichtbehinderungen durch die A-Säulen auftreten. Es reifen daher die Ideen, ob man für die Übergangsphase doch erst einmal auf eine normale Kleinbuskarosserie mit Sitzplatz zurückgreifen sollte [Interview 09].

Aktuell sind keine hoch- bzw. vollautomatisierten Fahrzeuge im Fuhrpark der LVB vorhanden, und auch marktseitig ist das Angebot laut Auskunft von [Interview 09] nicht befriedigend. Die verfügbaren Fahrzeuge fahren mit zu geringen Geschwindigkeiten und eine Anbindung an die Leitstelle ist aktuell nicht umsetzbar. Damit sind die Anforderungen an eine Nutzung im ÖPNV derzeit nicht abgedeckt [Interview 09].

Eine weitere Herausforderung besteht in der Art der Navigation im vollautomatisierten bzw. autonomen Fahren: Eine reine auf GPS gestützte Navigation ist nicht ausreichend, da beispielsweise Abschattungen die Navigation behindern. Um diese Herausforderung zu umgehen, braucht es genauere digitale Karten, die jedoch sehr kostenintensiv sind und im Hinblick auf die Größe des gesamten Straßennetzes in Leipzig als nicht finanzierbar betrachtet werden [Interview 09].

2.2.2 Schienengebundener ÖPNV

Für den Bereich des schienengebundenen ÖPNV wurde im Rahmen von Kapitel 2.1.2 dargestellt, dass im S- und U-Bahnsegment der Automatisierungsgrad schon recht hoch ist, im Bereich der Straßenbahnen allerdings noch großes Potenzial vorhanden ist: Hier ist die Herausforderung zu meistern, dass sich das Fahrzeug immer wieder neu auf die Umgebung einstellen muss. Diese allgemeingültige Feststellung spiegelt sich natürlich auch im aktuellen Status quo der LVB wider. Generell ist festzuhalten, dass Straßenbahnen zu einer sehr langlebigen Fahrzeugkategorie gehören, sodass nur im Rahmen der mitunter bis zu 20-jährigen Beschaffungsintervalle eine Steigerung des Automatisierungsgrades im Fuhrpark möglich ist. Die Beschaffung der nächsten Generation Straßenbahnen ist für die Jahre 2023/2024 geplant – diese werden durch eine größere Vielzahl an Assistenzsystemen geprägt sein, mit dem Ziel, Entlastung für den die Fahrerin bzw. den Fahrer und Steigerung der Sicherheit zu erreichen [Interview 11].

Weiterhin wichtig zu bedenken ist, dass im Straßenbahnbereich die Entwicklung hin zu Mobilitätsplattformen – und damit in Konsequenz das weitaus stärker individualisierte Fahrzeugdesign, abgestimmt auf die spezifischen Kundenwünsche – entscheidend ist: Im Unterschied zu Bussen (die auch kürzere Lebenszyklen haben) können hier keine Fahrzeuge „von der Stange“ eingesetzt bzw. in das Verkehrssystem integriert werden, da jede Straßenbahn an das jeweilige Schienennetz und die baulichen Gegebenheiten des Verkehrsraumes angepasst werden muss. Die Chance, die sich daraus ergibt, liegt darin, dass man im Rahmen einer solchen „Projekt“- bzw. individuellen Fahrzeugentwicklung die Möglichkeit erhält, das Fahrzeug mitzugestalten, auch im Hinblick auf neue technologische Ansätze [Interview 05].

Zwei aktuelle Projekte, die im schienengebundenen Bereich der LVB umgesetzt wurden bzw. werden, sind das Projekt Chamäleon, in welchem die Umrüstung bzw. Vernetzung der Licht- und Ampelanlagen untereinander sowie mit den Fahrzeugen im Zentrum steht, sowie die sächsische Plattform „Straßenbahn der Zukunft“. In Letzterem wird mit den kommunalen Verkehrsbetrieben der Städte Leipzig, Görlitz und Zwickau eine Ausschreibung für neue Fahrzeuge erarbeitet, die neue Technologieschnittstellen beinhalten sollen, um für neue Entwicklungen gerüstet und gleichzeitig in den drei unterschiedlichen Netzen der Kommunen einsetzbar zu

sein [Interview 05]. Die Plattform steht in Zusammenhang mit dem Ausbau der „Südsehe“ in Leipzig, im Rahmen derer auch Infrastrukturmaßnahmen (z. B. neue Schienennetze oder Innovationen im Bereich der Antriebstechnologien) geplant sind. Laut Auskunft von [Interview 05] hat die sächsische Plattform „Straßenbahn der Zukunft“ ein Lastenheft mit den technischen Anforderungen erstellt. Im zweistufigen Ausschreibungsverfahren, das schon gestartet wurde, sind die Hersteller aufgefordert, diese Anforderungen zu erfüllen und umzusetzen.

2.3 Ergebnisse der Onlinebefragung

Im Rahmen der Onlinebefragung wurde die Erwartungshaltung gegenüber Zeithorizonten für eine Einführung der verschiedenen Stufen des teil- bzw. vollautomatisierten Fahrens bis hin zum autonomen Fahren im ÖPNV hinterfragt. Weiterhin wurde eruiert, für wie wahrscheinlich die Befragten eine branchenweite Durchsetzung der Technologie halten, je nach Grad der Automatisierung der Fahrzeuge. Die Befragung untergliederte sich in Analogie zu den bisherigen Ausführungen dieses Kapitels in Fragen zum straßen- und schienengebundenen ÖPNV.

2.3.1 Straßengebundener ÖPNV

Ein Blick in die Ergebnisse der Onlinebefragung (vgl. Abbildung 6) zeigt, dass bei den Befragten die Einschätzung überwiegt, im Bereich des straßengebundenen ÖPNV nehme die Wahrscheinlichkeit einer branchenweiten Einführung für automatisiertes Fahren mit jedem Anstieg des Reifegrades ab: Während 92 % der Befragten der Meinung sind, das assistierte Fahren (Stufe 1) werde sich sehr sicher branchenweit durchsetzen, meinen nur noch 17 %, dass dies auch für das autonome Fahren (Stufe 5) realistisch sei. Auffällig ist, dass jeweils 98 % der Befragten die Wahrscheinlichkeit der branchenweiten Einführung von assistiertem und teilautomatisiertem Fahren als hoch oder mittel einschätzen. Von einer branchenweiten Einführung hochautomatisierter Fahrsysteme gehen 90 % der Befragten, für vollautomatisierte Fahrsysteme immerhin noch 83 % mit einer hohen oder mittleren Wahrscheinlichkeit aus. Immerhin 60 % der Befragten erwarten mit einer hohen oder mittleren Wahrscheinlichkeit, dass fahrerlose Systeme der Stufe 5 im straßengebundenen ÖPNV branchenweit umgesetzt werden.

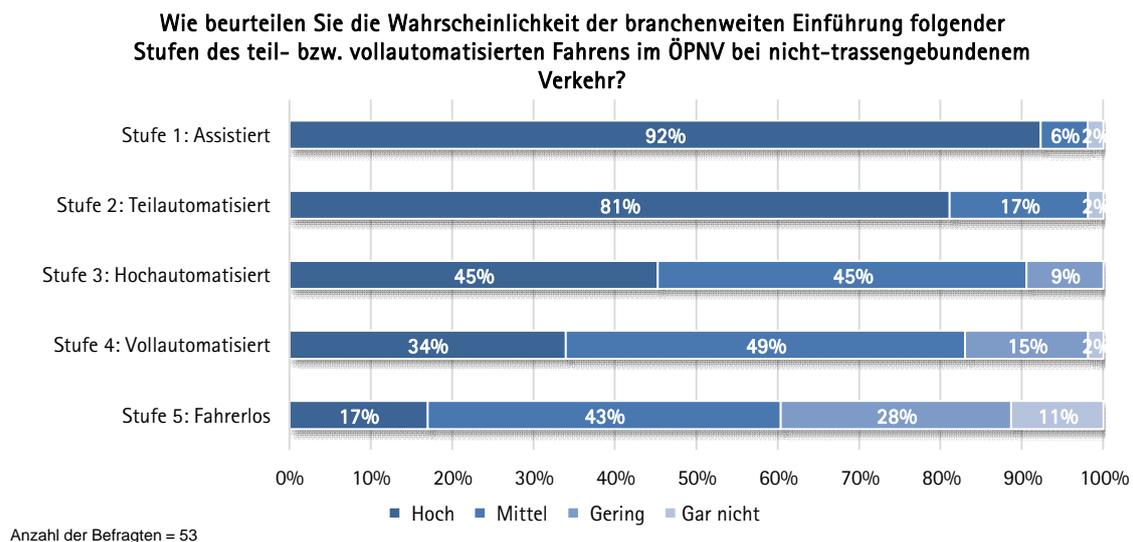


Abbildung 6: Ergebnis der Onlinebefragung – Wahrscheinlichkeit der branchenweiten Einführung des teil- bzw. vollautomatisierten Fahrens im straßengebundenen ÖPNV

Nach den zu erwartenden Zeiträumen für eine Einführung der Technologien im nicht trassengebundenen ÖPNV befragt (vgl. Abbildung 7), zeigt sich, dass die meisten Umfrageteilnehmenden davon ausgehen, dass kurzfristig, sprich bis zum Jahr 2025, primär teilautomatisierte Fahrzeuge (Stufe 2) im straßengebundenen ÖPNV

eingesetzt werden. Für das hochautomatisierte Fahren (Stufe 3) gehen 79 % der Befragten davon aus, dass dies bis zum Jahr 2030 umgesetzt wird. Für 2040, also weitere zehn Jahre später, gehen 43 % der Befragten davon aus, dass vollautomatisiertes Fahren (Stufe 4) realisiert werden kann. Fahrerlose Systeme (Stufe 5) halten 56 % der Befragten bis 2040 oder früher realisierbar. Weitere 44 % der Befragten gehen immerhin davon aus, dass derartige Systeme bis 2050 im straßengebundenen ÖPNV fahren können.

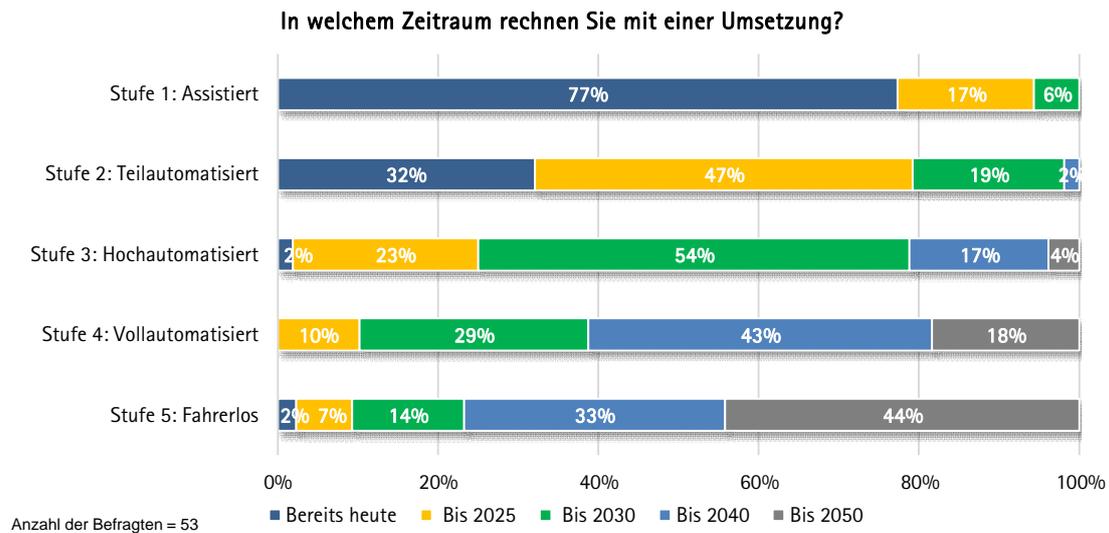


Abbildung 7: Ergebnis der Onlinebefragung - Erwartung der Umsetzung der verschiedenen Stufen des automatisierten Fahrens im straßengebundenen ÖPNV

2.3.2 Schienengebundener ÖPNV

Auf die Frage, wie hoch die Wahrscheinlichkeit beurteilt wird, dass es eine branchenweite Einführung des automatisierten Fahrens im schienengebundenen ÖPNV geben wird, antworteten 94 % der Befragten, das assistierte Fahren (Stufe 1) sei sehr wahrscheinlich, und knapp die Hälfte der Befragten teilt diese Einschätzung auch in puncto vollkommen fahrerlosen, sprich autonomen Fahrens (Stufe 5). Im Gegensatz zum straßengebundenen ÖPNV wird im schienengebundenen ÖPNV damit die branchenweite Umsetzungswahrscheinlichkeit für den maximalen Reifegrad des autonomen Fahrens als wesentlich höher eingeschätzt. Etwa ein Drittel der Befragten sieht mittlere Chancen für die branchenweite Einführung von hoch-, vollautomatisiertem bzw. autonomem Fahren im schienengebundenen ÖPNV. Fast ein Zehntel der Befragten geht davon aus, dass sich das autonome Fahren (Stufe 5) im schienengebundenen ÖPNV nicht branchenweit umsetzen lässt (vgl. Abbildung 8).

Wie beurteilen Sie die Wahrscheinlichkeit der branchenweiten Einführung folgender Stufen des (teil-)automatisierten Fahrens im ÖPNV bei trassengebundenem Verkehr?

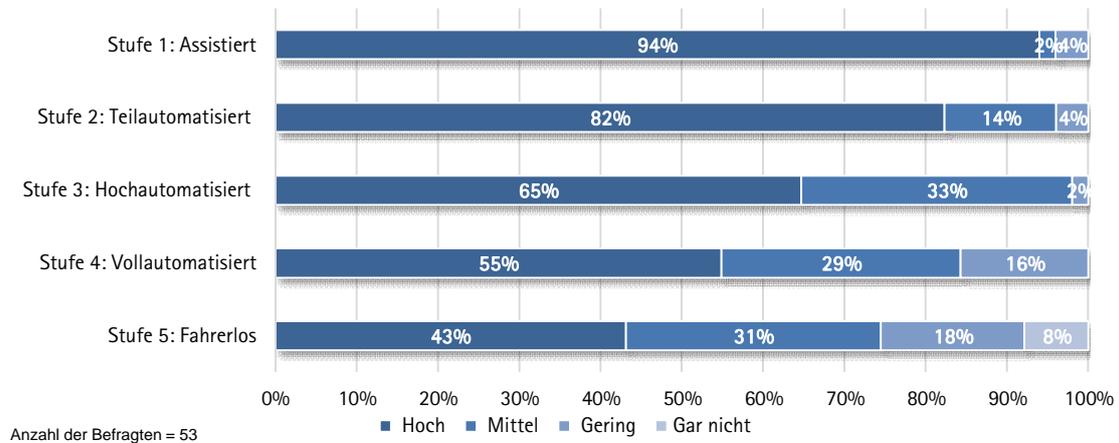


Abbildung 8: Ergebnis der Onlinebefragung – Wahrscheinlichkeit der branchenweiten Einführung des automatisierten Fahrens im schienengebundenen ÖPNV

Folgerichtig sind mit Blick auf die zeitliche Umsetzung der technologischen Fortentwicklung im Bereich des schienengebundenen ÖPNV (vgl. Abbildung 9) 75 % der Befragten der Meinung, Stufe 1 der Fahrzeugautomatisierung, sprich das assistierte Fahren, werde bereits heute umgesetzt. Für teilautomatisierte Fahrsysteme (Stufe 2) gehen 77 % der Befragten davon aus, dass diese im ÖPNV bis spätestens 2025 umgesetzt werden. Hochautomatisierte Fahrsysteme (Stufe 3) können nach Einschätzung von 83 % der Befragten bis spätestens 2030 umgesetzt werden. Vollautomatisierte Fahrsysteme der Stufe 4 werden immerhin noch von 65 % der Befragten bis 2030 als umsetzbar eingeschätzt. Für fahrerlose Systeme (Stufe 5) erwartet eine Mehrheit (54 %) der Befragten, dass diese erst bis 2040 oder bis 2050 umgesetzt werden.

In welchem Zeitraum rechnen Sie mit einer Umsetzung?

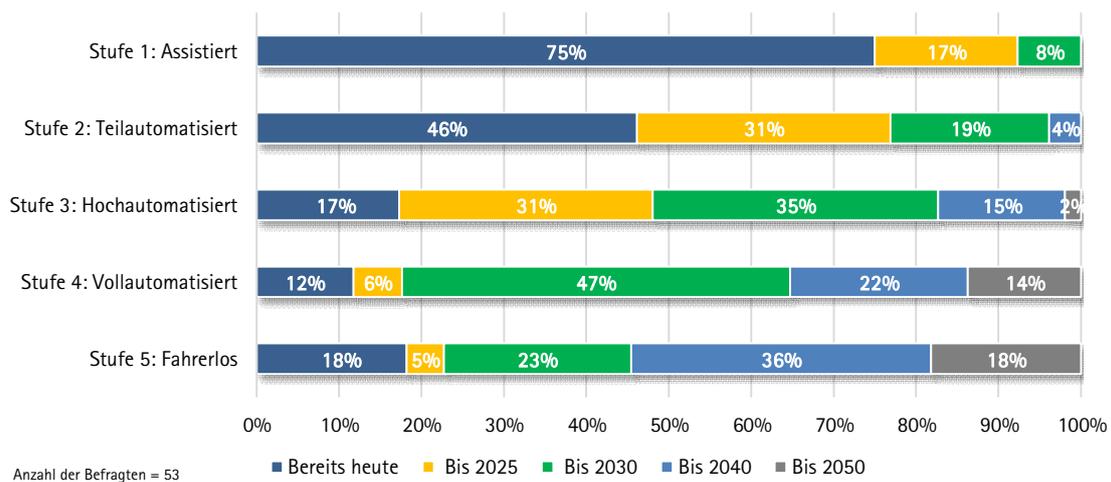


Abbildung 9: Ergebnis der Onlinebefragung – Erwartung der Umsetzung der verschiedenen Stufen des automatisierten Fahrens im schienengebundenen ÖPNV

3 Auswirkungen autonomen Fahrens auf Unternehmen und Geschäftsmodelle im ÖPNV

3.1 Aktueller Stand in Wissenschaft und Praxis

Aus der zuvor skizzierten technischen Entwicklung teil- bzw. vollautomatisierter Fahrsysteme ergeben sich mittelbare und unmittelbare Konsequenzen für Unternehmen des ÖPNV und deren Geschäftstätigkeit. Dieses Kapitel liefert daher zunächst eine kursorische Analyse des ÖPNV als Branche, inklusive einer Einordnung dessen sektoraler Entwicklung und Besonderheit. Anschließend werden sowohl Chancen als auch Herausforderungen analysiert, die sich für ÖPNV-Unternehmen und deren Geschäftsmodelle aus der Entwicklung hin zum autonomen Fahren ergeben. Dabei werden insbesondere Entwicklungspotenziale aufgezeigt und mögliche wirtschaftliche Risiken eingeordnet. Die Diskussion der Konsequenzen teil- bzw. vollautomatisierter Fahrsysteme auf ÖPNV-Unternehmen dient dazu, ein Verständnis dafür zu entwickeln, wie sich die Geschäftstätigkeit der Unternehmen verändert bzw. verändern wird – was ganz wesentliche Auswirkungen auf die Beantwortung der Frage hat, wie sich die Arbeit von Beschäftigten in diesem Sektor verändert bzw. verändern wird.

3.1.1 ÖPNV als öffentliche Aufgabe

Die Entwicklung teil- bzw. vollautomatisierter Fahrsysteme ist nicht ausschließlich eine technologische Fragestellung. Vielmehr verändert die Entwicklung zum autonomen Fahren ganz wesentlich die Bedingungen, unter denen Verkehrsunternehmen wirtschaften. Dabei werden sie potenziell im Kern ihrer Leistungserbringung berührt. Erstens entstehen aus der Einführung dieser komplexen Systeme erhebliche Herausforderungen für das Management der Technologieadaption und der Entwicklung neuer Services und Geschäftspraktiken. Zweites verändern sich durch den technologischen Wandel potenziell die Wettbewerbsbedingungen, unter denen sich die Unternehmen auch gegenüber neuen Wettbewerbern zu behaupten haben.

In der Betrachtung der wirtschaftlichen Entwicklung des ÖPNV ist es von besonderer Relevanz, sich die Besonderheiten dieser Branche vor Augen zu führen. So existieren im Markt öffentliche Verkehrsunternehmen parallel zu solchen in gemischter und rein privater Trägerschaft. Die meisten Kundinnen und Kunden haben dabei bewusste Berührungspunkte mit öffentlichen Verkehrsunternehmen. Sie haben, gemessen am Anteil der jährlich beförderten Fahrgäste, den größten Anteil am Markt (Resch, 2015, S. 20). Doch nicht nur aufgrund dieser Koexistenz von privaten und öffentlichen Unternehmen ist der ÖPNV kein Markt wie jeder andere. Vielmehr handelt es sich bei der Beförderungsleistung um eine öffentliche Aufgabe, vergleichbar mit Leistungen der öffentlichen Daseinsvorsorge (Küpper & Steinführer, 2017): „Bei öffentlichen Aufgaben handelt es sich um Aufgaben, die im Interesse der Allgemeinheit liegen und die nicht oder nicht ausreichend über den Markt geregelt werden bzw. geregelt werden können.“ (Resch, 2015, S. 16).

Welche Bedeutung der ÖPNV für die tägliche Mobilität der Menschen in Deutschland besitzt, zeigt ein Blick auf den gegenwärtigen Modal-Split zwischen den relevantesten Verkehrsträgern in Deutschland: Neben dem Autoverkehr mit 49 % und dem Fuß- und Fahrradverkehr mit 31 % hat der ÖPNV mit 20 % einen erheblichen Anteil an der täglichen Mobilität (Deloitte, 2019, S. 13). Dabei handelt es sich um einen Durchschnittswert, Stadt-Land-Differenzen wurden nicht beachtet.

3.1.2 Der ÖPNV – eine transformationserfahrene Branche

In den vergangenen Jahrzehnten hat der ÖPNV bereits einen erheblichen Transformationsprozess mit unmittelbaren Auswirkungen auf die Beschäftigten durchlaufen. Seit den 1990er-Jahren standen insbesondere die öffentlichen Unternehmen unter einem steigenden Konkurrenzdruck, nicht zuletzt aufgrund der Liberalisierung solcher Märkte mit vormaligem (Quasi-)Staatsmonopol. Der seinerzeit eingeleitete Strukturwandel hatte zum Ziel, die Produktivität zu steigern und Prozesse zu optimieren (Resch, 2015, S. 96–97). Durch die Schaffung neuer Tarifstrukturen wurden Gehaltsunterschiede zu Wettbewerbern aus dem privaten Sektor abgebaut. Realisiert wurde dies vor allem über eine Verringerung der Einstiegsgehälter für neue Beschäftigte (Resch, 2015, S. 100). In einer gemeinsamen Anstrengung der Sozialpartner ist es gelungen, den Fortbestand öffentlicher Verkehrsunternehmen zu sichern, ohne dabei auf das Mittel betriebsbedingter Kündigungen zurückgreifen zu müssen (Resch, 2015, S. 100–101).

3.1.3 Chancen für Unternehmen des ÖPNV

Betrachtet man den Personenverkehr insgesamt, so ergeben sich aus der Einführung teil- bzw. vollautomatisierter Fahrsysteme ganz erhebliche Chancen. Die Anforderungen an Sicherheit, Flexibilität, Komfort und Zuverlässigkeit des Personenverkehrs nehmen zu. Die Entwicklung zum autonomen Fahren kann hier einen Beitrag zur Erreichung dieser Ziele und zu einer besseren Befriedigung der Mobilitätsbedürfnisse leisten (Fraedrich et al., 2017, S. 6). Selbstverständlich können auch ÖPNV-Anbieter in ihren Leistungen von höherer Sicherheit, Flexibilität und Komfort wirtschaftlich profitieren, wenngleich sich wesentliche Effekte, wie zunehmende Energieeffizienz, möglicherweise kurz- bis mittelfristig nur eingeschränkt realisieren lassen. Deutlich wird dies am Beispiel der Verringerung des Energie- beziehungsweise Kraftstoffverbrauchs durch Reduktion vermeidbarer Beschleunigungs- und Bremsvorgänge, wie sie etwa durch eine „Homogenisierung des Verkehrsflusses“ mittels teil- bzw. vollautomatisierter Fahrsysteme erreicht werden könnte (Fraedrich et al., 2017, S. 21). Dieser Effekt könnte sich erst ab einem gewissen Grad der Durchdringung automatisierter bzw. autonomer Fahrsysteme in den Flotten der ÖPNV-Anbieter und im gesamten Verkehrssektor voll ausschöpfen lassen (Fraedrich et al., 2017, S. 7).

Vor allem kurz- und mittelfristig dürfte die Entwicklung hin zum autonomen Fahren dennoch positive Effekte für die Geschäftsmodelle von ÖPNV-Unternehmen zeigen. Neben der Kostenreduktion ist insbesondere eine Flexibilisierung der Leistungen erreichbar. Weiterhin können Kundinnen und Kunden adaptive, also stärker an deren individuellen Mobilitätsbedürfnissen orientierte, Services angeboten werden (Resch, 2015, S. 23). Mit Blick auf die Marktpotenziale vollautomatisierter Fahrsysteme im ÖPNV liegt dabei der Fokus nicht ausschließlich auf urbanen Räumen mit hoher Mobilitätsdichte. So werden jüngst die Potenziale digitaler Lösungen zur Adressierung der Bedürfnisse von Menschen in ländlichen Räumen und zum Ausgleich von Nachteilen bei der Versorgung mit ÖPNV-Leistungen diskutiert (Gross-Fengels & Fromhold-Eisebith, 2018, S. 156). Dadurch könnte perspektivisch der bestehende Linienverkehr sinnvoll durch autonome On-Demand-Angebote, etwa zur Anbindung ruraler Siedlungsgebiete, aber auch von Gewerbegebieten und Hochschulen außerhalb von Stadtzentren, ergänzt werden. Auch die Anbindung ländlicher Räume an bestehende Knotenpunkte des ÖPNV, z. B. S-, U- und Straßenbahnhaltepunkte, könnte mit einem autonomen On-Demand-Service – z. B. Shuttle-Busse, vergleichbar mit Anruf-Sammeltaxen – verbessert werden (Canzler, Knie & Ruhrort, 2019, S. 22–23). Solche Services könnten nicht nur im ländlichen Raum, sondern auch in dichter besiedelten Gebieten punktuell weniger frequentierte Linien in Schwachlastzeiten ersetzen (Canzler et al., 2019, S. 23).

3.1.4 Herausforderungen für Unternehmen im ÖPNV

Mit der Entwicklung zum autonomen Fahren ergeben sich neben Chancen auch ganz erhebliche Herausforderungen. Kurz- und mittelfristig dürfte die größte Herausforderung für Unternehmen des ÖPNV vor allem im Management des einsetzenden Transformationsprozesses liegen. Mittel- bis langfristig könnte sich das Wettbewerbsumfeld durch den Eintritt neuer Konkurrenten in den Markt erneut verschärfen.

Mit Blick auf das Management des einsetzenden Transformationsprozesses werden sowohl potenzielle unternehmensinterne als auch kundenseitige Barrieren diskutiert. So bescheinigen Canzler et al. dem Sektor insgesamt eine fehlende Innovationskultur (2019, S. 23): „Die zentrale Frage wird (...) sein, ob und wie es den mehrheitlich kommunalen Verkehrsunternehmen gelingt, die notwendige ‚trial and error‘-Kultur zu entwickeln.“ (Canzler et al., 2019, S. 23). Daher empfehlen die Autorinnen und Autoren die Kooperation von ÖPNV-Unternehmen mit privatwirtschaftlichen Technologieunternehmen, wie dies etwa von der Hamburger Hochbahn, den Berliner Verkehrsbetrieben und der LVB bereits praktiziert werde (Canzler et al., 2019, S. 24).

Doch nicht nur unternehmensseitig können strukturelle Faktoren als Barrieren bei der Einführung teil- bzw. vollautomatisierter Fahrsysteme wirken. Vielmehr muss auch die nutzerseitige Akzeptanz für solche neuen Mobilitätsformen gegeben sein (Gross-Fengels & Fromhold-Eisebith, 2018, S. 157).

Mittel- bis langfristig könnte die Entwicklung zum autonomen Fahren zu einer Marktlage führen (teilweise ist dies auch heute schon der Fall), in der der klassische ÖPNV mit gänzlich neuen privaten Mobilitätsangeboten konfrontiert ist. So wird in einigen Szenarien davon ausgegangen, dass es bis Mitte der 2030er-Jahre zu einer Konkurrenzsituation zwischen etablierten ÖPNV-Unternehmen und Anbietern autonomer Fahrzeugflotten (Taxis und Shuttles) kommen könnte (Deloitte, 2019; Fraedrich et al., 2017). Gemeinsam ist den referenzierten Szenarien, dass sie im angenommenen Wettbewerb traditionaler ÖPNV-Angebote mit autonomen Taxis und autonomen Kleinbussen von einer nachteiligen Wettbewerbssituation für die traditionellen Mobilitätsanbieter rechnen (Deloitte, 2019, S. 14; Fraedrich et al., 2017, S. 7). Die zugrunde liegende Annahme lautet, dass bei autonomen Straßenfahrzeugen der Stufe 5, für die keine Fahrerin bzw. kein Fahrer mehr benötigt wird, die Kosten für den Transport per Pkw (Taxi) oder Kleinbus (Shuttle-Service) durch den Wegfall der Fahrerin bzw. des Fahrers deutlich reduziert würden (Deloitte, 2019, S. 6; Fraedrich et al., 2017, S. 23). Einer Berechnung der Unternehmensberatung Deloitte zufolge könnte bis 2035 der Preis pro Kilometer für die Fahrt mit autonomen Taxis bei 0,34 Cent pro Kilometer liegen. Für Fahrten mit autonomen Shuttles kommt Deloitte sogar nur auf einen Preis von 0,15 Cent pro Kilometer. Die Studie stellt den rechnerischen Vergleich zum ÖPNV an: „Für eine Fahrt (mit einem autonomen Shuttle) über 10 Kilometer entstehen also nur Kosten von 1,50 Euro. Das ist gut die Hälfte eines durchschnittlichen ÖPNV-Tickets in deutschen Städten (2,80 Euro) – und die Person wird von Tür zu Tür transportiert!“ (Deloitte, 2019, S. 17).

Diesem Szenario folgend, würde eine zunehmende Konkurrenzsituation von ÖPNV-Anbietern und Anbietern autonomer Taxi- und Shuttle-Flotten eine Abwärtsspirale für ÖPNV-Unternehmen in Gang setzen. Eine geringere Nachfrage nach bestehenden Linienverbindungen führt schließlich zu einer Erhöhung der Betriebskosten pro Fahrgast (Fraedrich et al., 2017, S. 23), was die Preisstruktur des ÖPNV zusätzlich unter Druck setzen würde. Konkret geht Deloitte davon aus, dass in sämtlichen Nutzergruppen des ÖPNV eine erhebliche Wechselbereitschaft zu autonomen Fahrdiensten bestehe. So wird bei den Berufstätigen davon ausgegangen, dass fast jeder Vierte wechselbereit wäre, bei Schülern sogar jeder Dritte (Deloitte, 2019, S. 15). Demnach könnte sich der Modal Split¹⁹ bis 2035 zu Gunsten autonomer Fahrdienste und zu Ungunsten der Verkehrsträger Auto und ÖPNV entwickeln (Deloitte, 2019, S. 13).

¹⁹ Unter dem Modal Split versteht man eine Kenngröße zur Aufteilung der Verkehrsnachfrage auf verschiedene Verkehrsmittel.

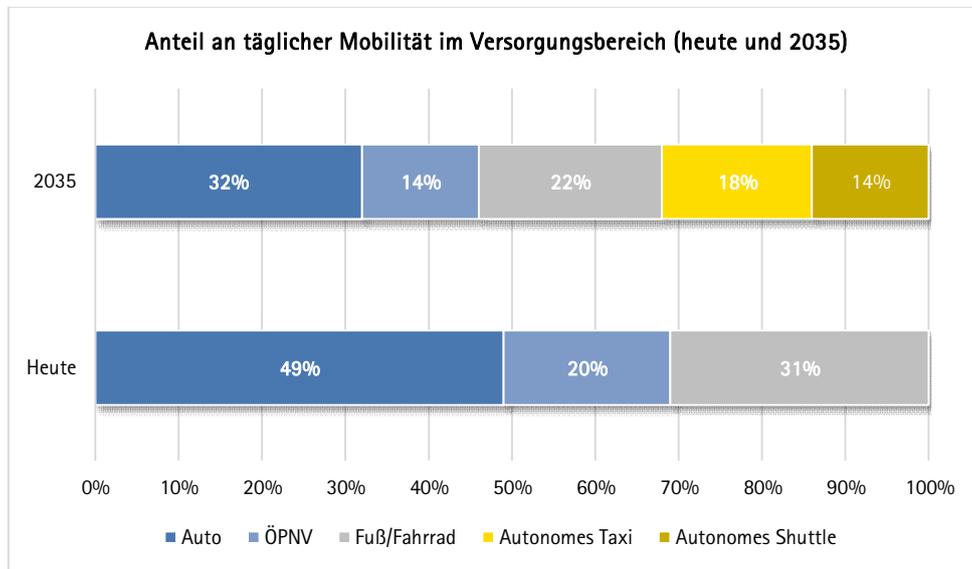


Abbildung 10: Anteil der Fortbewegungsarten an der täglichen Mobilität in deutschen Städten (heute und 2035) nach Deloitte, 2019

Fraedrich et al. gehen in ihrer Studie ebenso wie Deloitte nicht davon aus, dass ÖPNV-Unternehmen selbst zur Schaffung einer Anbindung auf der letzten Meile – z. B. zwischen S-, U- bzw. Straßenbahnhaltepunkt und Siedungsgebiet – autonome Fahrzeugflotten zum Einsatz bringen können. Die Autorinnen und Autoren argumentieren, dass Fahrgäste die erforderlichen Umstiegsvorgänge als wenig attraktiv wahrnehmen (2017, S. 24). Dabei ist einzuwenden, dass die Autoren als Beleg drei Studien ins Feld führen, von denen eine aus dem Jahr 2008 und eine weitere aus dem Jahr 1979 stammt. Die dritte Studie erschien im Jahr 2016. Inwiefern die Annahme umstiegsaversiver Fahrgäste damit für das in Rede stehende Szenario autonomer Taxis oder Shuttles in den 2030er-Jahren adäquat belegt ist, darf daher bezweifelt werden. Zumal andere Quellen explizit von einem erheblichen Potenzial für die Weiterentwicklung von ÖPNV-Angeboten durch die Abdeckung der letzten Meile mittels autonomer Fahrzeuge ausgehen (Canzler et al., 2019, S. 22–23).

Doch auch jenseits formaler Einwände gegenüber der Argumentation von Fraedrich et al. erscheint die implizite Annahme quasistatischer Präferenzen von Nutzenden des ÖPNV einerseits und einer quasistatischen Gestaltung von Serviceangeboten im Nahverkehr andererseits ebenfalls wenig überzeugend. So hängt die Akzeptanz des ÖPNV gerade auf dem Land wesentlich davon ab, ob einfache und auf die Bedürfnisse der Kundenschaft abgestimmte Informations- und Buchungsplattformen zur Verfügung stehen und diese auch eine durchgängige Mobilitätskette abbilden, die Umstiegszeiten und Tarife transparent, übersichtlich und komfortabel gestaltet (Gross-Fengels & Fromhold-Eisebith, 2018, S. 157–158).

Einiges spricht dafür, dass die von Deloitte und Fraedrich et al. getroffenen Befunde zu den Auswirkungen autonomer Fahrsysteme auf ÖPNV-Unternehmen weit weniger negativ ausfallen dürften. Die zugrunde liegenden Technologie-Roadmaps sind möglicherweise zu optimistisch. So geht etwa Deloitte von der Einführung autonomer Fahrsysteme (Stufe 5) noch zu Beginn der 2020er-Jahre aus (Deloitte, 2019, S. 33). Angesichts aktuellerer und wissenschaftlich transparenterer Veröffentlichungen erscheint diese Annahme als überholt. Wie in Kapitel 2.1.1.3 beschrieben, sind vollautomatisierte Fahrzeuge (Stufe 4) frühestens Anfang 2030, wenn nicht sogar erst in den 2040er-Jahren zu erwarten (Roos & Siegmann, 2020; VDA, 2020).

Jenseits der Abschätzung, wann autonome Fahrzeuge auch im Stadtverkehr zum Einsatz kommen, werden autonome Fahrdienste und ÖPNV in den referenzierten Szenarien primär in einem ausschließlichen Konkurrenzverhältnis diskutiert. Die Annahme, dass ÖPNV-Anbieter nicht auch selbst zum Betreiber autonomer Kleingefäße (kleine Fahrzeuge) werden könnten, ist, wie gezeigt wurde, jedoch vermutlich verkürzt. Dieser Zusammenhang wird im weiteren Verlauf der Studie zu untersuchen sein. Darüber hinaus versäumen es die zitierten

Szenarien, wesentliche Fragestellungen zu diskutieren, z. B. ob derartige Verkehre überhaupt genehmigungsfähig sind und wie sich deren Betrieb auf das Verkehrsaufkommen auswirken würden.

3.1.5 Zukünftige Gestaltung des ÖPNV

Die Literaturlauswertung zeigt, dass der ÖPNV im Zuge der Entwicklung hin zum autonomen Fahren vor erheblichen transformatorischen Herausforderungen steht. Dabei können die Herausforderungen nicht von den Unternehmen allein bewältigt werden. Vielmehr bedarf es eines integrierten, gemeinsamen Vorgehens von Betreibern, politischen Entscheidern sowie Raum- und Verkehrsplanern und der gemeinsamen Bereitschaft einer grundlegenden „Reorganisation“ des öffentlichen Raumes zur Entwicklung innovativer Mobilitätskonzepte (Fraedrich et al., 2017, S. 8–9).

Dabei kommt es darauf an, genau zu eruieren, welche Ziele kommunale Akteure bei der Modernisierung von Stadt- und Verkehrsplanung verfolgen. Dazu zählen neben der Stärkung von Rad- und Fußverkehr gerade die Stärkung und Erweiterung des ÖPNV als Teil eines inter- und multimodalen Verkehrssystems. Damit verbinden sich die Ziele einer Reduktion des Eintrags von Kohlenstoffdioxid und lokaler Schadstoffe, der Erhöhung der Verkehrssicherheit, der Reduktion von Lärmemissionen und einer effizienten Ausnutzung von Infrastrukturkapazitäten (Fraedrich et al., 2017, S. 54). Autonome Fahrsysteme können zur Erreichung dieser Ziele einen erheblichen Beitrag leisten (Fraedrich et al., 2017, S. 6).

Um dies zu ermöglichen, erscheint eine Verkehrsplanung angezeigt, die sich an den jeweils effizientesten und ökologischsten Verkehrsträgern orientiert und diesen den Vorzug gibt, wodurch sich eine optimierte Nutzung begrenzter, urbaner Flächen erreichen ließe (Canzler et al., 2019, S. 14, 21).

Um dabei das Potenzial autonomer Fahrsysteme in der Praxis wirksam werden zu lassen, erscheint die systematische Erprobung teilautomatisierter Kleinfahrzeuge im ÖPNV angezeigt. So können frühzeitig Erfahrungen aufgebaut und erste Qualitätsverbesserungen im Angebot der Unternehmen realisiert werden (Canzler et al., 2019, S. 22). Dabei sind teilautomatisierte Shuttles gegenüber dem Linienverkehr insbesondere wegen ihrer Flexibilität und Anpassungsfähigkeit gegenüber topografischen und infrastrukturellen Bedingungen von Vorteil für Nutzende des ÖPNV (Canzler et al., 2019, S. 23). Dies dürfte speziell dann relevant sein, wenn es darum geht, den ÖPNV als Verkehrsträger auch in ländlichen Räumen zu stärken.

3.2 Entwicklungs- bzw. Umsetzungsstand bei der LVB

Bei der LVB zeichnet sich bereits heute ab, dass sich das Unternehmen im Zusammenhang mit sich wandelnden Ansprüchen an Nachhaltigkeit und Komfort und unter dem Einfluss neuer digitaler Technologien grundlegend verändert. So wandelt sich die Rolle des Unternehmens bereits vom Betreiber von Mobilitätsangeboten zum Organisator von Mobilität. Mit der App „LeipzigMOVE“ bietet die LVB bereits heute eine Plattform, auf der sie Nutzenden ermöglicht, über eine App Beförderungsleistungen der LVB selbst, Car- und Bike-Sharing-Angebote zu nutzen und ein Taxi zu buchen. Damit wird das Unternehmen mit seiner Plattform zur zentralen Anlaufstelle für Mobilitätsbedürfnisse, unabhängig vom Verkehrsträger (siehe dazu auch Kapitel 1.2).²⁰

Dieser Wandel erfordert, dass das Unternehmen neue Kompetenzen aufbaut und entwickelt. Insbesondere mit Blick auf das Potenzial automatisierter Fahrsysteme geht es darum, Flexibilisierung für die Kundinnen und Kunden zu gestalten. Diese Flexibilität muss dabei jedoch auch vom Unternehmen beherrscht werden. Hier ist die LVB mit dem Projekt „Flexa“ (siehe Kapitel 1.2) bereits im Rahmen eines Pilotvorhabens dabei, flexible Mobilitätsangebote unter Abdeckung der letzten Meile zu erproben (Interview 01).

²⁰ <https://leipzig-move.de/>, zuletzt geprüft am 26.08.2020

Bei der Veränderung vom Anbieter zum Organisator von Mobilität ist das Unternehmen auf Partnerschaften angewiesen. Damit öffnet es sich in einer Weise – auch gegenüber anderen Mobilitätsanbietern –, die es in der bisherigen Unternehmensgeschichte nicht gab (Interview 01). In diesem Zusammenhang kooperiert die LVB besonders mit Industrieunternehmen und universitären wie außeruniversitären Forschungseinrichtungen. Gemeinsam treibt man z. B. die technische Weiterentwicklung der von der LVB betriebenen Infrastruktur voran. Auch das Projekt ABSOLUT sei in diesem Zusammenhang nochmals erwähnt, da es sich um ein innovatives Mobilitätsangebot der LVB handeln wird (siehe Kapitel 1.2 sowie 2.2.1).

Eine entscheidende Herausforderung bei der Entwicklung, der Erprobung und dem Einsatz neuer teil- bzw. vollautomatisierter Fahrsysteme stellt für die LVB die Finanzierung dar. Daher wird der Ausbau der Bundesförderung für die Infrastrukturen in Kommunen positiv zu bewerten sein. Bei der Entwicklung hin zum vollautomatisierten Fahren kommt es jedoch vor allem auf Investments in den Fuhrpark an. Hier nutzt die LVB eine komplementäre Förderung, bei der das Land 50 % der Kosten übernimmt. Bei einer Straßenbahn der längsten Einheit, mit 45 Metern Länge, entstehen Anschaffungskosten von rund 4,5 Mio. Euro. Während 2,25 Mio. Euro davon gefördert werden, entstehen der LVB ihrerseits 2,25 Mio. Euro an Investitionskosten. Mit diesem Eigenanteil könnte das Unternehmen den Fuhrpark nicht, wie es künftige Erfordernisse nötig machen, erneuern oder umrüsten. Daher wurde gegenüber der Landesregierung eine Förderung in Höhe von 75 % gefordert, die im Rahmen des Braunkohleausstiegs durch Bundesmittel auf 90 % aufgestockt werden soll. Damit wäre die Finanzierung kommender Innovationen möglich. Diese wären am schnellsten auf der Schiene realisierbar. Aus Perspektive der LVB erfordern die erheblichen Veränderungen im Bereich der Fahrzeuge und im Bereich der Infrastruktur nachhaltig angelegte Fördervorhaben. Bisher erfolgt die Förderung innovativer Vorhaben der LVB vor allem über kleinteilige, projektbezogene Förderungen. Im Falle des Projektes ABSOLUT erhält das Unternehmen u. a. eine Förderung vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Solche kleinteiligen Förderungen sind für die Realisierung von Test- und Pilotvorhaben sehr gut geeignet. Um größere Transformationsprozesse zu bewältigen, wie es perspektivisch durch den Einsatz teil- bzw. vollautomatisierter Fahrsysteme nötig wird, bedarf es jedoch einer nachhaltigeren und umfangreicheren Förderung, wenn Unternehmen wie die LVB in die Lage versetzt werden sollen, innovative Technologien unternehmensweit auszurollen. Zwar bewertet das Unternehmen die Rahmenförderung des ÖPNV im Freistaat positiv, weil diese eine verlässliche finanzielle Grundlage bietet. Für größere Innovationsvorhaben eignet sich die Rahmenförderung jedoch nicht (Interview 05). Der Freistaat Sachsen arbeitet an einer Evaluierung und Neuausrichtung seiner Förderinstrumente im ÖPNV bzw. hat sich im 2019 geschlossenen Koalitionsvertrag zwischen CDU, BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN und SPD dazu verpflichtet.

3.3 Ergebnisse der Onlinebefragung

Im Rahmen der Onlinebefragung wurden die Teilnehmenden um ihre Einschätzung gebeten, wie die Entwicklung zum autonomen Fahren sich auf Unternehmen im ÖPNV und ihre Geschäftsmodelle auswirken würde. Dabei bestätigt sich zunächst das bereits am Fallbeispiel der LVB identifizierte Bild, wonach ÖPNV-Unternehmen in den kommenden 10 bis 20 Jahren einem breiten Spektrum an Herausforderungen im Zusammenhang mit der Einführung dieser technologischen Weiterentwicklung der Fahrzeuge ausgesetzt sein dürften (Abbildung 11). Als größte Herausforderung identifizieren die Befragten dabei fehlende regulatorische und rechtliche Rahmenbedingungen. Insgesamt 93 % halten diese Herausforderung für relevant oder sehr relevant. Auch die Deckung des nötigen Fachkräftebedarfs dürfte erhebliche Auswirkungen auf die Zukunft von Verkehrsunternehmen haben. Eine große Mehrheit von 76 % der Befragten sieht diese Herausforderung als relevant oder sehr relevant an. Ähnlich fällt die Einschätzung zum Investitionsbedarf aus. Die im Zuge der schrittweisen Entwicklung zum autonomen Fahren entstehenden Investitionserfordernisse werten 75 % als relevante oder sehr relevante Herausforderung.

Wie schätzen Sie die genannten Herausforderungen für die Entwicklung hin zum autonomen Fahren im ÖPNV für die kommenden 10 bis 20 Jahre ein?

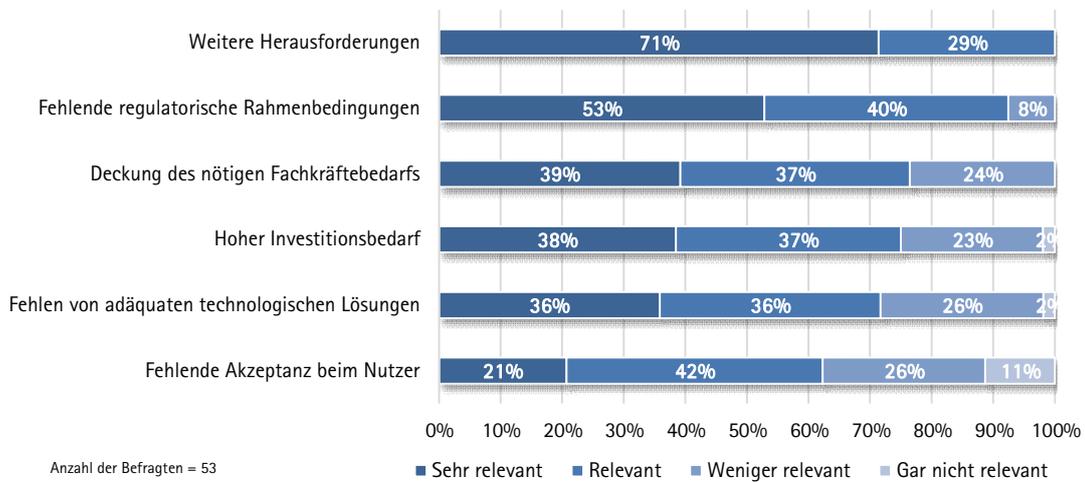


Abbildung 11: Ergebnis der Onlinebefragung - Herausforderungen für die Entwicklung zum autonomen Fahren im ÖPNV

Neben personellen, investiven und regulatorischen Herausforderungen wirft offenbar die technologische Entwicklung selbst aus Sicht der Teilnehmenden Fragen auf. So geben 72 % an, das Fehlen adäquater technologischer Lösungen sei eine relevante oder sehr relevante Herausforderung bei der Entwicklung hin zum autonomen Fahren. Unter den in der Onlinebefragung ausgewiesenen Herausforderungen für ÖPNV-Unternehmen stellt die u. U. fehlende Akzeptanz auf Seiten der Fahrgäste offenbar die geringste Herausforderung dar. Dennoch sieht immer noch eine knappe Hälfte der Befragten darin eine relevante oder sehr relevante Herausforderung.

Da es sich bei den in der Onlinebefragung formulierten Herausforderungen lediglich um eine Auswahl potenziell relevanter Faktoren handelt, mit denen ÖPNV-Unternehmen im Zuge der Entwicklung in Richtung autonomes Fahren umgehen müssen, wurde den Befragten die Möglichkeit gegeben, weitere Herausforderungen zu ergänzen, die sie darüber hinaus für bemerkenswert halten. Ein Teil der Antworten konzentrierte sich dabei vor allem auf infrastrukturelle Herausforderungen. So stellt nach Einschätzung der Experten vor allem der im ÖPNV alltägliche Mischverkehr unterschiedlichster Verkehrsträger im gemeinsam genutzten öffentlichen Raum eine erhebliche Herausforderung bei der Einführung teil- bzw. vollautomatisierter Fahrsysteme eine Rolle. Dabei geht es vor allem um die Verfügbarkeit von 5G zum Austausch von Echtzeitdaten und die Verfügbarkeit von Schlüsseltechnologien im Bereich der Sensorik und der Fahrintelligenz. Dazu bedarf es nach Einschätzung der Befragungsteilnehmenden vor allem einer engen Kooperation zwischen den diversen Stakeholdergruppen, deren Koordination durch einheitliche Standards bei der Entwicklung von Verkehrsinfrastruktur unterstützt werden muss. Ein anderer Teil der Antworten verweist auf entstehende Herausforderungen bei der Kosten- und Erlösstruktur von ÖPNV-Unternehmen. So erfordern teil- bzw. vollautomatisierte Fahrsysteme veränderte Abrechnungsmodelle, während Kosteneinsparungen realisiert werden könnten, indem Arbeitsplätze teilweise eingespart werden.

Während die Entwicklung zum autonomen Fahren Unternehmen des ÖPNV vor erhebliche Herausforderungen stellt, birgt die Einführung entsprechender Technologien auch eine Reihe substanzieller Chancen, wie die Ergebnisse der Onlinebefragung verdeutlichen (Abbildung 11). Allen voran erwarten die Befragten, dass sich die Effizienz des Fahrbetriebes erhöhen wird: 92 % rechnen mit einer (starken) Zunahme der Effizienz. Des Weiteren könnte sich der Verschleiß bei Fahrzeugen durch Abnutzung und Gebrauch sowie die damit verbundenen Kosten für Wartung und Instandhaltung reduzieren: 55 % der Expertinnen und Experten rechnen mit einer Abnahme oder einer starken Abnahme. Ein Teil der Befragten (37 %) geht darüber hinaus davon aus, dass auch

die Abnutzung der technischen Infrastruktur (z. B. Schienen) abnehmen dürfte. Mit Blick auf die Leistungsfähigkeit des ÖPNV erwarten die Befragten ebenfalls einen teilweise erheblichen Mehrwert durch die Einführung teil- bzw. vollautomatisierter Fahrsysteme. So rechnen 58 % der Expertinnen und Experten mit einer Zunahme oder starken Zunahme der Zuverlässigkeit im Personenverkehr.

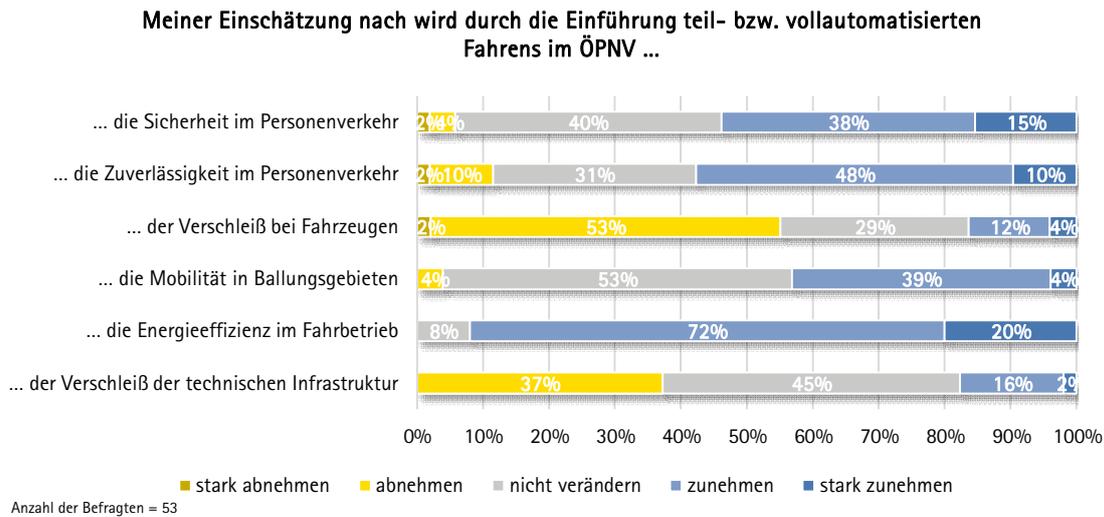


Abbildung 12: Ergebnis der Onlinebefragung – Folgen der Einführung teil- bzw. vollautomatisierter Fahrsysteme im ÖPNV

Weniger eindeutig fällt die Einschätzung zu den Auswirkungen teil- bzw. vollautomatisierter Fahrsysteme im ÖPNV auf die Sicherheit aus. Gut die Hälfte der Befragten (53 %) geht davon aus, dass die Sicherheit im Personenverkehr zunehmen oder stark zunehmen wird.

Mit Blick auf die Wirkung teil- bzw. vollautomatisierter Fahrsysteme für die Mobilität in unterschiedlich dicht besiedelten Räumen sind die Befragungsergebnisse ebenfalls aufschlussreich. Für Ballungsgebiete gehen nur 43 % der Befragten von einer allgemeinen Zunahme der Mobilität aus. 53 % erwarten keine Veränderung, 4 % rechnen mit einer abnehmenden Mobilität. Das Ergebnis dürfte darauf zurückzuführen sein, dass sich insbesondere urbane Räume bereits heute durch eine hohe Mobilitätsinfrastruktur auszeichnen. Die Teilnehmenden der Befragung hatten die Möglichkeit, weitere Veränderungen infolge der Einführung teil- bzw. vollautomatisierter Fahrsysteme im ÖPNV zu benennen. Dabei wurde explizit auf eine Verbesserung der Mobilität in ländlichen, sprich dünn besiedelten Räumen hingewiesen.

Aus den damit beschriebenen Herausforderungen und Chancen für den ÖPNV ergeben sich perspektivisch Veränderungen für die Geschäftsmodelle von ÖPNV-Unternehmen (Abbildung 13). 74 % der Befragten gehen von einem hohen oder sehr hohen Einfluss auf Geschäftsmodelle der Unternehmen aus.

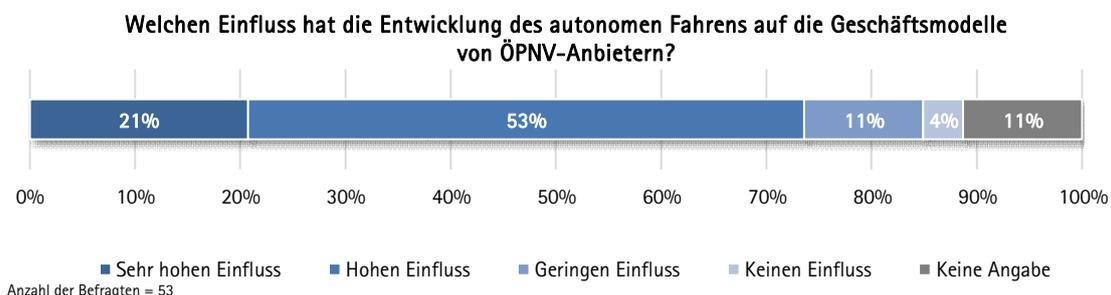


Abbildung 13: Ergebnis der Onlinebefragung – Einfluss auf Geschäftsmodelle von ÖPNV-Unternehmen

Mit Blick auf die Frage, wann sich Geschäftsmodelle verändern dürften, kommt die Onlinebefragung zu einem eindeutigen Ergebnis: So ist damit zu rechnen, dass die Transformation von Geschäftsmodellen im ÖPNV bis 2040 weitgehend vollzogen sein dürfte (Abbildung 14). 49 % der Befragten gehen davon aus, dass sich der Einfluss teil- bzw. vollautomatisierter Fahrsysteme bis 2030 zeigen wird, 46 % geben an, dies würde bis 2040 geschehen. Nur 5 % der Befragten sehen einen wirksamen Einfluss auf Geschäftsmodelle von ÖPNV-Unternehmen erst bis 2050.

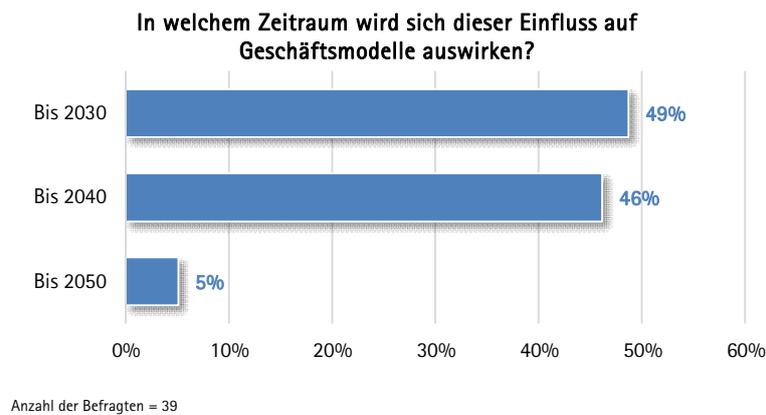


Abbildung 14: Ergebnis der Onlinebefragung – Zeitraum für die Veränderung von Geschäftsmodellen

Im Rahmen der Befragung wurden die Expertinnen und Experten darum gebeten, genauer zu beschreiben, welche Veränderungen sie bei Geschäftsmodellen von ÖPNV-Unternehmen erwarten. Ihre Meinungen lassen sich dabei im Wesentlichen zu zwei teilweise konkurrierenden, möglicherweise auch komplementären Szenarien zusammenfassen:

So legt ein Teil der Befragten offenbar ein „Erweiterungsszenario“ zugrunde. In diesem Erweiterungsszenario wird von einer Ergänzung bisheriger Geschäftsmodelle infolge der Einführung automatisierter Fahrzeuge ausgegangen. Derartige Kleingefäße könnten demzufolge insbesondere auf bestehenden, schwach frequentierten Strecken und zur Anbindung ländlicher Siedlungsgebiete, die bisher über keine oder nur eine sehr eingeschränkte Anbindung zu Mobilitätshubs verfügen, zusätzliche Mobilitätsangebote auf der letzten Meile schaffen. Durch solche individuelle, auf den spezifischen Bedarf einer Region ausgerichtete Angebote könnten so neue Nutzergruppen für den ÖPNV erschlossen werden. In diesem Szenario könnten ÖPNV-Unternehmen über die Schaffung neuer Vertriebs- und Abrechnungsmodelle selbst zu Plattformanbietern werden, die Angebote anderer, privatwirtschaftlicher Verkehrsdienstleister integrieren.

Ein anderer Teil der Befragten legt hingegen offenbar ein „Kannibalisierungsszenario“ zugrunde. Demzufolge dürfte durch das Auftreten von privaten Anbietern autonomer Taxi-Services ein zunehmender Wettbewerbsdruck entstehen, der durch geringe Kosten und hohen Komfort die ÖPNV-Unternehmen zunehmend herausfordern und zu einer neuen Konkurrenzsituation führen wird.

4 Auswirkungen autonomen Fahrens auf Arbeit und Beschäftigung

Arbeit und Beschäftigung im ÖPNV unterliegen ständigen Veränderungen: Sowohl technische Innovationen, das sich verändernde Nutzungsverhalten und die kontinuierlich wachsenden Fahrgastzahlen mit der daraus resultierenden Ausweitung des Angebots zeigen Auswirkungen auf den Bereich Arbeit und Beschäftigung. Um dem Personalbedarf zu begegnen, ist eine zeitgemäße Ausgestaltung des Arbeitsplatzes gefordert. Moderne Technologien unterstützen die Fahrerin bzw. den Fahrer, indem sie beispielsweise die Informationen über Dienstpläne, Detailinformationen und kurzfristige Änderungen bereitstellen. Zukünftig ist jedoch vor allem eine Änderung in der Fahraufgabe selbst zu erwarten. Es wird geschätzt, dass etwa die Hälfte der heutigen Arbeitstätigkeiten zumindest teilweise, jedoch nur ein kleiner Teil komplett automatisiert werden könnte (Nationale Plattform Zukunft der Mobilität [NPM], 2020). Es ist zu erwarten, dass sich dabei der räumliche Arbeitsplatz an sich, die Arbeitsbedingungen und die Qualifikationsanforderungen ändern werden. Die nachfolgenden Ausführungen fassen gesundheits-, ergonomie- und sicherheitsbezogene Auswirkungen für Beschäftigte im ÖPNV sowie die voraussichtliche Beschäftigungsentwicklung im Kontext der Einführung von automatisiertem Fahren zusammen.

4.1 Gesundheit, Ergonomie und Sicherheit am Arbeitsplatz von Beschäftigten im ÖPNV durch Techniken autonomen Fahrens

4.1.1 Aktueller Stand in Wissenschaft und Praxis

4.1.1.1 Gesundheit, Ergonomie und Sicherheit derzeitiger Arbeitsplätze im ÖPNV

Um die zukünftige Veränderung der Arbeitsplätze durch Techniken automatisierten bzw. autonomen Fahrens im ÖPNV bewerten zu können, sollen kurz die Bedingungen am Arbeitsplatz der Fahrerin bzw. des Fahrers sowie die damit verbundenen derzeitigen arbeitswissenschaftlichen Probleme skizziert werden.

Mitarbeitende im Fahrdienst des ÖPNV sind überdurchschnittlich von gesundheitlichen Problemen betroffen, was sowohl einen erhöhten Krankenstand als auch die vorzeitige Fahrdienstuntauglichkeit nach sich zieht (Aust, 2002). Die besonderen Belastungen an diesem Arbeitsplatz begründen sich darin, so auch die Expertenmeinungen aus den geführten Interviews (Interview A, B und F), dass es sich traditionell um eine sitzende Tätigkeit handelt, und zwar unabhängig vom Verkehrsmittel. Das dauerhafte Sitzen mit eingeschränkten Bewegungsmöglichkeiten ermöglicht es den Fahrerinnen und Fahrern kaum, eine Haltungsänderung durchzuführen. Gerade Busfahrer und -fahrerinnen müssen das Steuer permanent in der Hand halten.

Auch in der Literatur wird das physiologische Hauptproblem am Fahrerarbeitsplatz in der Unterforderung des Bewegungsapparates gesehen, die sich belastend auf das Muskel-Skelett-System auswirkt (VGB, 2012). Gesundheitliche Probleme treten folglich vorrangig aufgrund von Erkrankungen des Bewegungsapparates, insbesondere der Wirbelsäule, durch Erkrankungen des Herz-Kreislauf-Systems und aufgrund psychovegetativer Störungen auf.

Die Rückenmuskulatur hält die Wirbelsäule in ihrer natürlich gebogenen Form, die Stöße abfedern kann. Bei ständiger Bewegungsarmut wird diese Muskulatur abgebaut, sodass Fehlhaltungen, die wiederum die Wirbel-

säule beeinträchtigen, auftreten können. Auch die Bandscheiben leiden unter wenig Bewegung und Fehlstellungen, da sie bei Ausbleiben einer wechselnden Belastung nicht mehr ausreichend mit Nährstoffen versorgt werden. Bewegungsarmut hat daher langfristig ähnlich negative Folgen wie dauernde Überforderung. Tatsächlich weisen Fahrerinnen und Fahrer im ÖPNV signifikant häufiger Erkrankungen des Bewegungsapparates (Muskel-Skelett-Erkrankungen) als der Durchschnitt der Bevölkerung auf, sowohl in der Häufigkeit als auch in der Anzahl der krankheitsbedingten Fehltage (Ellegast, Heinrich, Schäfer, Schellewald & Wasserkampf, 2018). Auch sind Muskel-Skelett-Erkrankungen die Hauptursache für einen frühzeitigen Arbeitsaustritt.

Ebenso können die häufiger auftretenden Herz-Kreislauf-Beschwerden auf Bewegungsmangel zurückgeführt werden; allerdings wurden hier auch deutliche Zusammenhänge zu psychischen Belastungen nachgewiesen. Das höhere Risiko von koronaren Herzkrankheiten, Herzinfarkten, plötzlichem Herztod und akuten Brustschmerzen scheint nur bei Fahrdienstmitarbeitenden von Strecken mit hohem Verkehrsaufkommen aufzutreten (Aust, 2002). Als weiterer Risikofaktor wurde Bluthochdruck identifiziert, der Schlaganfälle oder Herzinfarkte begünstigt. Im Fahrdienst ist der Blutdruck im Vergleich zu anderen Berufen höher, mit zunehmender Anzahl an Jahren im Fahrdienst steigt der Wert (Aust, 2002). Erhöhte Anforderungen an die Konzentration im Innenstadtbereich, häufigere Interaktionen mit Fahrgästen und Zeitdruck werden beispielhaft als Belastungen aufgeführt.

In vergleichbarer Weise werden auch in der Expertenbefragung physisch und psychisch belastende Faktoren genannt (Interview B, F und W). Fahrerinnen und Fahrer sind oft Umgebungsbedingungen wie Zugluft und Kälte ausgesetzt und müssen sich bei einem erhöhten Geräuschpegel durch Motorengeräusche und Stimmengewirr der Mitfahrenden konzentrieren können. Das Einfahren in einen Bahnhof ist für die Fahrerinnen und Fahrer von U-Bahn, Tram und Zug eine hochanstrengende Überwachungstätigkeit. In Deutschland fehlen meist bauliche Trennungen, sodass Personen ganz nah an den Fahrweg herantreten können. Gerade für Busfahrer und Busfahrerinnen sind die zahlreichen Interaktionen mit anderen, schwächeren Verkehrsteilnehmenden eine extreme Herausforderung. Nicht nur sind Fußgänger und Fußgängerinnen dynamisch und somit schwer kalkulierbar, gleichzeitig muss auf die anderen größeren Fahrzeuge reagiert werden, mit denen man den Fahrweg teilt. Daneben berichtet ein befragter Experte (Interview A), dass Busfahrer und Busfahrerinnen neben der sicheren Ausführung der Fahraufgabe auch viele Serviceaufgaben übernehmen: einsteigenden Fahrgästen die Linie bestätigen, zur Ticketwahl beraten oder sogar beim Ein- und Aussteigen helfen. Dies ist auch das Ergebnis einer Umfrage der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) aus dem Jahre 2018, in der Arbeitsbedingungen und Arbeitsbelastungen über verschiedene Berufsgruppen erfragt wurden (Lück, Hünefeld, Brenscheid, Bödefeld & Hünefeld). Die parallele Bearbeitung mehrerer Aufgaben, wie das Verkaufen von Fahrscheinen oder Auskunft geben neben der Fahraufgabe, ist ein deutlicher Belastungsfaktor; auch kann die Interaktion mit Fahrgästen sowie die Verantwortung für diese unter Umständen belastend sein.

Auch im Abschlussbericht zum Arbeitsprogramm „Sicherheit und Gesundheitsschutz bei einseitig belastenden und bewegungsarmen Tätigkeiten bei der Personenbeförderung im ÖPNV“ (Reddehase, Beck, Schneider & Gaik, 2013) im Rahmen der Gemeinsamen Deutschen Arbeitsschutzstrategie (GDA) werden neben der dauerhaft sitzenden und bewegungsarmen Tätigkeit Faktoren wie Zeitdruck, erhöhte und dauerhafte Aufmerksamkeitsanforderungen und ständige Kundenkontakte als bedeutsame Belastungsfaktoren identifiziert.

Kontrollaspekte wurden in einer Studie der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) als gesundheitsschützende Ressourcen identifiziert. Dies beinhaltet vor allem die Vorhersehbarkeit und Planbarkeit der Mobilität (Ducki & Nguyen, 2016). Verkehrsbedingte Belastungsfaktoren bestehen in Staus, Verspätungen oder Enge in öffentlichen Nahverkehrsmitteln. Darüber hinaus sind die hohe Arbeitsintensität und Zeitdruck weitere Belastungsfaktoren.

Die Experteninterviews spiegeln diese Punkte (Interview A, B und F) wider. Insbesondere die Anforderung, die Fahrpläne einhalten zu müssen, während die Umgebungsfaktoren wie Stau oder die Kooperationsbereitschaft

der anderen Verkehrsteilnehmenden nicht kontrollierbar sind, wurde hier genannt. Der Termin- und Leistungsdruck ist hoch.

Die Hans-Böckler-Stiftung hat 2012 eine Studie zur „Arbeitsverdichtung im Fahrdienst als Folge der Restrukturierung im ÖPNV“ durchgeführt (Resch, 2015). Die Restrukturierung kommunaler ÖPNV-Unternehmen unter dem Rationalisierungsdruck hat sich auf die Arbeitsbedingungen der Fahrerinnen und Fahrer ausgewirkt. Untersuchungen zu gesundheitlichen Veränderungen wurden in Interviews erfragt. Die subjektiven Einschätzungen zeigten, dass die Belastung durch höhere Wochenarbeitszeiten und im Speziellen eine längere Lenkzeit pro Dienst gestiegen ist. Damit verkürzten sich Vor- und Abschlusszeiten sowie bezahlte Pausen und Wendezeiten. Die Ruhepausen für das Fahrpersonal werden damit verkürzt.

Die hoch beanspruchenden Arbeitsbedingungen von Fahrdienstmitarbeitenden sind zum einen dem Wettbewerb der Verkehrsunternehmen geschuldet. Um die Produktivität zu steigern, wurden Erholungszeiten an den Wendepunkten gekürzt oder fielen zum Teil ganz weg. Rechnergestützte Betriebsleitsysteme haben eine exaktere Fahrplanerstellung ermöglicht, die aber bei selbst kleinen Störungen den berufsbedingten Zeitdruck erhöhen. Zum anderen kommen Faktoren wie die Verdichtung des Verkehrs, der Umgang mit schwierigen Fahrgästen und die Zunahme von Serviceleistungen hinzu, die von der Fahrerin bzw. dem Fahrer erbracht werden sollen.

4.1.1.2 Prävention

Ergonomische Gestaltung des Fahrerarbeitsplatzes

Für die Beschäftigten in den Verkehrsunternehmen sind die Fahrzeuge das zentrale Arbeitsmittel. Prävention bedeutet in diesem Kontext also vor allem, Komponenten am Fahrzeug ergonomisch und sicherheitsgerecht zu gestalten, um Gesundheitsgefahren und Unfälle zu vermeiden.

Zentral für Beschäftigte im Fahrdienst ist der Fahrerarbeitsplatz im engeren Sinne, in dem der größte Teil der Arbeitszeit verbracht wird. Eine ergonomische Gestaltung beinhaltet zum einen ausreichende Verstellmöglichkeiten des Sitzes und der Instrumententräger für Fahrerinnen und Fahrer unterschiedlicher Körpergröße und Statur. Aus der Sitzposition müssen alle wichtigen Bedienelemente erreicht werden und alle Anzeigen sowie das Umfeld gesehen werden können. Damit wird die anthropometrische Kompatibilität mit dem menschlichen Körper (Greif- und Arbeitsbereich, Knieraum, Betätigungskräfte von Bedienelementen) sichergestellt.

Zur ergonomischen Gestaltung gehört also auch, dass die aufzuwendenden Kräfte bei der Fahrtätigkeit nicht dauerhaft belasten. Die schwergängigen Lenkungen und hohen Kupplungskräfte, die beispielsweise in den 60er-Jahren Busfahrerinnen und Busfahrer noch körperlich stark forderten, konnten durch Servolenkung, Luftbremse und Automatikgetriebe reduziert werden (VGB, 2012).

Als optimal gilt eine entspannte und leicht nach hinten geneigte Sitzposition mit abgestütztem Rücken und ein geneigtes Lenkrad. Ein ergonomischer, rückenfreundlicher Fahrerarbeitsplatz wurde Ende der 90er-Jahre konzipiert. Der Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (Verband Deutscher Verkehrsunternehmen [VDV], 2000) beschreibt Merkmale, die herstellerübergreifend als Standard gesetzt werden. Neben den Verstellmöglichkeiten sind dies eine vereinheitlichte Lage und Funktion bestimmter Schalter, die Gruppierung nach funktionellen Gesichtspunkten und die Einführung eines zentralen Displays.

Eine weitere technische Maßnahme sind Sitze mit sogenannter Memory-Funktion: Bei schnellem Fahrzeug- oder Fahrerwechsel kann die auf eine Person optimierte Fahrsitzeinstellung, die gespeichert hinterlegt ist, schnell wieder abgerufen werden. Das Ergebnis des Präventionsprojekts der Verwaltungs- und Berufsgenossenschaft (VBG) zur Erprobung eines Fahrsitzmemorys im Linienbus wurde im IFA-Report 3/2012 „Sitzmemory

am Busfahrer Arbeitsplatz" dokumentiert (Brütting, 2012). Die Memoryfunktion befördert eine schnelle und richtige Einstellung des Fahrsitzes und ermöglicht damit eine ergonomisch optimale Sitzhaltung. Die gesundheitliche Belastung wurde dadurch deutlich reduziert. 2012 wurde der Sitzmemory in einem Folgeprojekt auf Initiative der VBG-Branche ÖPNV/Bahnen²¹ in der betrieblichen Praxis implementiert.

Neben einer ungünstigen Sitzhaltung ist ein weiterer gesundheitsrelevanter Faktor die Schwingungsbelastung, die ebenfalls über den Sitz verringert werden kann. Hier sind Feder-Dämpfer-Systeme untersucht worden (Ellegast et al., 2018).

Ergonomische Erwägungen gelten ebenso für die vorhandene Infrastruktur zur Wartung der Fahrzeuge. Beispielsweise sollten zu wartende Teilkomponenten leicht zugänglich sein, Füllstände einfach überprüft werden können und der Zugang keine Gefährdung beinhalten. In Bezug auf Schienenfahrzeuge ist die Wartung durch die Beschäftigten oft nur von der Gleisebene aus möglich; auch für diese potenziell gefährliche Situation müssen pragmatische Lösungen gefunden werden.

Lastenhefte für die Beschaffung und Ertüchtigung von Fahrzeugen müssen Aspekte der Arbeitssicherheit und des Gesundheitsschutzes berücksichtigen. Für Eisenbahnfahrzeuge liegen ausführliche Checklisten vor, für andere Fahrzeugarten sind sie in der Vorbereitung. Für Schienenfahrzeuge gibt z. B. Orthner (Orthner, 2008) einen Überblick. Besonders wichtig ist hier die optimale Anordnung von Bedien- und Anzeigeelementen in den Fahrerständen, gleichzeitig ist die Sicht auf die Strecke, Signale und die Kupplung sicherzustellen. Es gibt nationale Normen mit Bezug zur ergonomischen Gestaltung von Fahrerständen in Schienenfahrzeugen, in Deutschland sind dies die Allgemeinen Anforderungen in der DIN 5566-1 bis -3. Mit anthropometrischen Auslegungskonzepten für den Arbeitsplatz von Fahrerinnen und Fahrern in Straßenfahrzeugen hat sich eine universitäre Arbeitsgruppe der TU München um Professor Bengler intensiv beschäftigt (Kremser, Pietsch, Wilden, Lienkamp & Bengler, 2011).

Betriebs- und mitarbeiterbezogene Maßnahmen

Im Handbuch der Gesundheitsförderung der Berufsgenossenschaft BAHNEN (BG BAHNEN) (Aust, 2002) werden betriebs- und mitarbeiterbezogene Maßnahmen im Fahrdienst beschrieben, die sich auf organisatorische Abläufe beziehen. Zum einen kann die Einführung von Gruppenarbeit im Fahrdienst eine persönlichere Betreuung ermöglichen und die Arbeitszufriedenheit erhöhen. Daneben sollen Konzepte zur Verkürzung der reinen Fahrtätigkeit die Belastung senken, wie bei Mischarbeit, bei der sich Fahrtätigkeit mit anderen Tätigkeiten wie Kundenservice abwechselt. Innovative Dienstplanmodelle, die beispielsweise unter Beteiligung der Mitarbeitenden erstellt werden, erhöhen das gesundheitliche Wohlbefinden und die Arbeitsmotivation.

Im GDA-Abschlussbericht²² (Reddehase et al., 2013) werden ähnliche Punkte angesprochen. Als Präventionsmaßnahmen werden die aktive Beteiligung der Beschäftigten an der Arbeitszeitgestaltung, einschließlich der Schichtplanung und Pausenregelung, sowie die Stärkung der Handlungskompetenz der Mitarbeitenden beim Umgang mit belastenden Verkehrssituationen oder Konfliktsituationen mit Fahrgästen gefordert.

4.1.2 Die Fahraufgabe im Umbruch

Mit zunehmender Automatisierung ändern sich die Bedingungen am Fahrer Arbeitsplatz bzw. haben sie sich im schienenengebundenen Verkehr bereits transformiert. Schon seit vier Jahrzehnten gibt es im U-Bahnverkehr unbegleiteten Betrieb, insbesondere in Asien, aber auch in London, Paris, Barcelona, Budapest und Kopenhagen

²¹ Die VBG unterstützt mit branchenspezifischen Informationsangeboten für den betrieblichen Arbeitsschutz in Verkehrsunternehmen. http://www.vbg.de/DE/3_Praevention_und_Arbeitshilfen/1_Branchen/09_OePNV_und_Bahnen/branche_oepnv_bahnen_node.html, zuletzt geprüft am 26.08.2020

²² Abschlussbericht zum GDA-Arbeitsprogramm Schutz und Stärkung der Gesundheit bei arbeitsbedingter psychischer Belastung (Psyche), https://www.gda-portal.de/DE/Downloads/pdf/Abschlussbericht-AP-Psyche.pdf?__blob=publicationFile&tv=2, zuletzt geprüft am 09.09.2020

(siehe Kapitel 2.1.2.2). In Deutschland fährt in Nürnberg die U-Bahn seit 2008 fahrerlos. Im Regionalverkehr wird bislang noch weitgehend manuell gefahren, wenn auch assistiert durch eine automatische Fahr- und Bremssteuerung. Automatisierte Systeme im Bahnbetrieb sollen stufenweise eingeführt werden, zunächst auf entsprechend ausgerüsteten Strecken (DVF, 2018). Im ÖPNV, z. B. bei Straßenbahnen, stellt sich jedoch die zusätzliche Herausforderung des Mischverkehrs.

Während automatisierte Steuerungs- und Sicherheitssysteme im Bahnverkehr bereits heutzutage etabliert sind, werden autonom fahrende Fahrzeuge noch als Zukunftsvision diskutiert. Mit den zukünftigen Auswirkungen automatisierten Fahrens im städtischen öffentlichen Transport beschäftigte sich beispielsweise das EU-Projekt CityMobil2 von 2012 bis 2016 (Alessandrini, Cattivera, Holguin & Stam, 2018; CityMobil2, 2018). Eine veränderte Fahraufgabe ergibt sich beim „Dual-Mode“-Fahren, bei dem ein Fahrzeug entweder im manuellen oder im automatisierten Modus fahren kann. Darüber hinaus ist ein diskutiertes Ziel im ÖPNV der Einsatz vollautomatisierter Fahrzeuge ohne Fahrerin bzw. Fahrer, die im Falle eines technischen Versagens keine Übergabe machen, sondern anhalten. Hier ist keine Interaktion mit der Fahrerin bzw. dem Fahrer mehr angedacht: Vielmehr gilt für diese Art Fahrzeuge, dass die Interaktion mit den Nutzenden – den zu transportierenden Fahrgästen – und den anderen Verkehrsteilnehmenden außerhalb des Fahrzeugs fehlerfrei funktionieren muss. In den Pilotprojekten hat dies zur Folge, dass nur sehr geringe Fahrgeschwindigkeiten realisiert werden konnten, üblicherweise 10 km/h. Im Projekt CityMobil2 konnten Ergebnisse dazu erarbeitet werden, wie man automatisierte Verkehrstransportssysteme in städtischen Gebieten integrieren kann. In diesem EU-Projekt wurden innovative automatisierte Transportmedien für zwölf europäische Städte analysiert.

Einige weitere Projekte fokussieren auf die Veränderungen durch die Einführung automatisierten Fahrens im ÖPNV, auf die in einem Experteninterview verwiesen wurde (Interview A). Im vom BMVI geförderten Projekt RAMONA (Realisierung Automatisierter Mobilitätskonzepte im Öffentlichen Nahverkehr²³) wurden Versuche in Braunschweig und Berlin mit simulierten selbstfahrenden Bussen durchgeführt, d. h., die Fahrerin bzw. der Fahrer waren nach außen und innen nicht sichtbar („Wizard of Oz“-Technik), und die Reaktionen von Fußgängern, Fußgängerinnen und Fahrgästen beobachtet. Ebenso wurde im vom BMBF geförderten Projekt UNICARAGIL²⁴ untersucht, wie die Fahrgäste beim Ein- und Aussteigen mit einem autonomen Fahrzeug umgehen. Zwei Bereiche wurden identifiziert, die sich durch die Wegnahme einer Fahrerin bzw. eines Fahrers erheblich ändern würden. Nicht nur für die Fahraufgabe, sondern auch für die zahlreichen Serviceaufgaben, die Busfahrerinnen und Busfahrer bislang übernehmen, müssten neue Lösungen gefunden werden. So beantwortet die Fahrerin bzw. der Fahrer unsicheren Fahrgästen bislang, ob der gewählte Bus der richtige ist oder welches Ticket benötigt wird. Im Projekt RAMONA zeigte sich darüber hinaus, dass Busfahrerinnen und Busfahrer extrem effizient fahren und an Haltestellen unter hoher Konzentration auf Fußgänger reagieren, die in die Sicherheitsbereiche eintreten. Der Abstand zwischen Bus und Wartenden ist dabei bisweilen unter der Schwelle, die das Sicherheitsprotokoll beim autonomen Fahren vorgeben würde. Folglich würde ein autonomer Bus sehr viel langsamer in die Haltestelle einfahren oder sicherheitshalber zum Stillstand kommen müssen. Die Anforderungen an die Sensorik im autonomen Fahrzeug sind damit sehr hoch.

Die genannten, sehr anwendungsnahe Projekte beschäftigen sich analytisch mit rechtlichen, technischen oder tätigkeitsbezogenen Anforderungen. Zu den tatsächlichen Effekten der Automatisierung auf die physischen Belastungen beim Fahren haben sich Arbeitsmediziner laut Aussage eines Experten im Rahmen der durchgeführten Interviews noch nicht intensiv Gedanken gemacht (Interview B). Speziell aus dem Bereich „automatisiertes Fahren im ÖPNV“ gibt es noch keine Erkenntnisse. Einige der bereits dargestellten gesundheitsschädigenden Prozesse, denen das Fahrpersonal im ÖPNV ausgesetzt ist, wie langanhaltende, hohe Aufmerksamkeitsanforderungen oder physische Inaktivität in sitzender Körperhaltung, könnten sich allerdings durch die Automatisierung der Fahraufgabe zum Positiven ändern. In Kapitel 4.1.3 wird der aktuelle Forschungsstand genauer beleuchtet.

²³ <https://www.mw.tum.de/life/forschung/projekte/ramona/>, zuletzt geprüft am 26.08.2020

²⁴ <https://www.unicaragil.de/de/>, zuletzt geprüft am 26.08.2020

Ein Nutzen der automatisierten Fahrt könnte darin bestehen, dass die Fahrerin bzw. der Fahrer entspannen kann, während das Fahrzeug selbst fährt. In der Rolle als Überwachende des automatisierten Fahrens sind Fahrerinnen und Fahrer zumindest von Aufgaben mit physischem Kraftaufwand entbunden. Dürfen sie sogar die Überwachung unterbrechen, könnten sie sich Nebenaufgaben zuwenden, wenn zusammenhängende Streckenabschnitte ohne Überwachungstätigkeit ausreichend lang sind. Als ein weiterer Vorteil des vollautomatisierten bzw. autonomen Fahrens kann gewertet werden, dass der Bewegungsarmut entgegengewirkt werden kann, wenn das Fahrzeug gerade die Fahraufgabe ausübt. Der überwiegenden physischen Inaktivität könnte durch alternierende Zeiträume mit leichter physiologischer Aktivierung begegnet werden. Die Variation der Körperstellung verhindert eine schlechte Durchblutung. Im IFA-Report 3/2018 (Ellegast et al., 2018) wurde auf die Wirksamkeit dynamischer Arbeitsplätze am Büroarbeitsplatz hingewiesen, die zur Verbesserung des Wohlbefindens führte. Es ist wahrscheinlich, dass auch im Fahrdienst positive Effekte körperlicher Aktivität während des selbstfahrenden Modus nachweisbar werden. Als präventive Maßnahme werden bereits Bewegungen zum Ausgleich der sitzenden Tätigkeit empfohlen.

Ein Experte bestätigte im Interview, dass Automation Freiraum zur Bewegung geben kann, allerdings sei der Bewegungsraum in der Fahrerkabine räumlich stark begrenzt (Interview F). Eine Haltungsveränderung sei jedoch möglich und häufigere Belastungswechsel, also z. B. vom Sitzen zum Stehen, seien in jedem Fall förderlich. Am Beispiel einer Straßenbahn, in welcher die Fahrerin bzw. der Fahrer sich zum Lenken auch hinstellen konnte, sei ein Belastungswechsel bereits erprobt worden.

Im Gegensatz zur Analyse der physiologischen Auswirkungen von Automatisierung kann hinsichtlich der psychologischen Effekte auf eine lange Forschungstradition zurückgegriffen werden. Aus der wissenschaftlichen Human-Factors-Forschung²⁵ ist die Warnung vor einer falschen, weil technikzentrierten Automatisierungsstrategie bekannt. Ihre negativen Effekte sollen im Folgenden dargestellt werden.

4.1.3 Forschung zu Automatisierungseffekten

4.1.3.1 Bekannte Risiken von Automation

Aus der Automationspsychologie ist seit den 50er-Jahren bekannt, dass sich bei der Einführung automatisierter Systeme für den Menschen die Aufgaben von den ausführenden zu den überwachenden Tätigkeiten (Monitoring) verlagern und diese Verlagerung Sicherheitsprobleme verursacht. Ursprünglich aus dem Anwendungsfeld des Pilotenarbeitsplatzes (Hancock & Parasuraman, 1992) und des Operators in der Prozessindustrie (Bainbridge, 1983), später auch im Kraftfahrzeug (Stanton & Young, 1998), wurden mehrere Problemfelder erkannt und in der Forschung adressiert. Zentral sind bei Automation also nicht Fragen des Komforts oder der Zufriedenheit der Beschäftigten, sondern die Sicherheitsrisiken, die durch Teilautomatisierung entstehen. Gerade bei einer Übernahmeaufforderung an den Menschen, wenn das technische System seine Grenzen erreicht, ist der Mensch aufgrund der Automation oft nicht handlungsfähig (Bainbridge, 1983).

Automatisierung beinhaltet eine Rollenveränderung des Fahrdienstleistenden, er wird vom Ausführenden zum Systemüberwacher. Wie von Bainbridge in einem klassischen Beitrag für den Bereich der Prozessindustrie treffend zusammengefasst, ist die Annahme, dass man Menschen durch Technik ersetzen sollte, weil sie unzuverlässiger und ineffizienter seien als ein technisches System, in mehrfacher Hinsicht paradox (Bainbridge, 1983). Beispielsweise muss der (unzuverlässige) Mensch, der mit der Automation arbeitet, im Störfall eingreifen können und dann doch schneller und korrekter arbeiten als die Technik. Dabei sind die Voraussetzungen, unter denen der Mensch ein potenziell fehlerhaftes System überwachen soll, denkbar schlecht, da zahlreiche Studien zeigen, dass es für Menschen nicht möglich ist, über lange Zeit aufmerksam einen Prozess zu überwachen, bei dem wenig passiert (Macworth, 1950).

²⁵ Die Forschungsrichtung „Human Factors“ beschäftigt sich mit dem Entwerfen, Analysieren und Bewerten der Interaktion zwischen Mensch und Technik auf Grundlage von Erkenntnissen aus der Psychologie und grundlegenden arbeits- und ingenieurwissenschaftlichen Inhalten.

Mit der Veränderung des Rollenverständnisses als Systemüberwacher gehen mehrere Sicherheitsrisiken einher, die in der Human-Factors-Forschung eine lange Tradition haben. Auch in den geführten Experteninterviews wird auf diese grundlegenden Erkenntnisse hingewiesen. Es wurde angemerkt, dass, obwohl das Wissen zu diesen Sicherheitsproblemen schon da sei, es derzeit in der Fahrzeugautomation wieder neu gelernt würde (Interview B). Einige dieser bekannten Probleme einer zunehmenden Automatisierung sind im Folgenden aufgeführt.

Situation Awareness und „out-of-the-loop“

Eine Entkopplung des Menschen von der direkten Steuerung und Kontrolle führt dazu, dass er Schwierigkeiten hat, ein angemessenes Situations- und Systembewusstsein aufrechtzuerhalten. Er ist nicht mehr „im Geschehen“, was als „out-of-the-loop“ bezeichnet wird (Endsley & Kiris, 1995; Miller & Parasuraman, 2007). Die Wahrnehmung und richtige Interpretation der Systemprozesse kann nicht mehr erfolgen, wenn der Mensch die Dauerüberwachung des Systems nicht aufrechterhalten kann, wenn er keine direkten Rückmeldungen mehr erhält und die Automation nicht transparent darstellt, welche Funktionen sie gerade ausführt (Endsley, Bolte & Jones, 2003). Ein schlechteres Situationsbewusstsein führt demzufolge zu einer schlechteren Leistung, wenn überraschend eine manuelle Übernahme in ein solches System notwendig wird („Automation surprises“, siehe Sarter, Woods & Billings, 1997; Woods, 2010).

Mentale Beanspruchung

Wiederholt wurde gezeigt, dass mit zunehmender Automatisierung die mentale Beanspruchung der Fahrerin bzw. des Fahrers sinkt (Winter, Happee, Martens & Stanton, 2014), jedoch führt eine Entlastung in der Aufgabe nicht zwangsläufig zu einer besseren Leistung. Automatisierung kann die mentale Beanspruchung sogar punktuell in sicherheitskritischer Weise erhöhen (z. B. Wiener, 1989). Nach einer längeren Zeit der wenig abwechslungsreichen Überwachung der Fahrt während des automatisierten Fahrens wird die Übernahme bei dem Aussetzen des technischen Systems so anspruchsvoll für den Menschen, dass sie kaum lösbar ist. Auf die Automation beim Fahren bezogen formuliert Hancock (2015) das Problem wie folgt: Wenn Fahrzeuge entwickelt werden, in denen Fahrerinnen und Fahrer selten reagieren müssen, dann werden sie auch selten reagieren, wenn es erforderlich ist. Die systematische Untersuchung der Übergabesituation nach automatisiertem Fahren in Fahrsimulatorstudien zeigt eine Zunahme der Reaktionszeiten und ein Ansteigen der Kollisionen (Merat & Jamson, 2009).

Hypovigilanz/Passive Müdigkeit

Neben dem Sinken der mentalen Beanspruchung wird als Auswirkung von automatisiertem Fahren auch die Müdigkeit als kritischer Faktor angesehen. Durch das Wegfallen aktiver Längs- und Querführung wird die Aufgabe des überwachenden Fahrzeugführers eintöniger. Menschen können in monotonen Aufgaben ihre Aufmerksamkeit maximal 30 Minuten aufrechterhalten (Macworth, 1957). Eine andauernde Unterforderung kann zu einer Vigilanzminderung (Hypovigilanz) führen, einem ermüdungsähnlichen Zustand, der auch passive Müdigkeit genannt wird. Diese führt zu einer verschlechterten Leistung, auf Umweltreize zu reagieren, zu längeren Reaktionszeiten, schlechterer psychomotorischer Koordination und Informationsverarbeitung (Schmidt, 2010).

Kompetenzverlust

Werden einzelne Aufgaben der Fahrerinnen und Fahrer durch das technische System ausgeführt, kann es zum Kompetenzverlust kommen, sowohl in Bezug auf manuelle als auch auf kognitive Fertigkeiten (Damos, John & Lyall, 1999; Parasuraman, 2000; Stanton & Marsden, 1996). Der Mensch wird abhängig vom System. Die Folgen des Kompetenzverlustes treten in dem Moment zutage, wenn der Mensch im Falle eines Automationsfehlers plötzlich wieder selbst die eigentlich automatisierte Funktion übernimmt. Im Bereich der Flugzeugführung ist es daher üblich, Pilotinnen und Piloten wiederholt den manuellen Flugmodus trainieren zu lassen. Für den Bereich der Fahrzeugautomatisierung wurden ähnliche Effekte nachgewiesen (Spulber, 2016).

Mangelndes Vertrauen vs. Complacency

Ein zu geringes Vertrauen in Automation stellt eine echte Hürde in der Einführung automatisierter Fahrfunktionen dar, denn ohne Vertrauen gibt es auch keine Nutzungsbereitschaft (Kazi, Stanton, Walker & Young, 2007). In der Automationsforschung wird von Disuse gesprochen, wenn ein zu niedriges Vertrauen zu einer Weigerung führt, das automatisierte System zu nutzen, während Misuse eine unangemessen hohe Abhängigkeit von den Funktionen der Automation bezeichnet (Parasuraman & Riley, 1997).

Übersteigertes Vertrauen in Automation führt dazu, dass die Funktionsweise des technischen Systems nicht oder nur unzureichend überwacht und kontrolliert wird. Im Englischen wird dieses Verhalten als „Overreliance“²⁶ oder auch als „Complacency“²⁷ bezeichnet. Auch Training oder Instruktionen können Personen nicht davor bewahren, sich „complacent“²⁸ zu verhalten (Parasuraman & Manzey, 2010). Die Fahrerinnen und Fahrer stellen die Leistung des automatisierten Fahrzeugs nicht mehr in Frage und prüfen zum Beispiel nicht mehr, ob das Fahrzeug die Aufgaben richtig ausführt. Bei einer Übernahmeaufforderung des technischen Systems an den Menschen ist eine zeitnahe Reaktion nicht mehr möglich (siehe auch „out-of-the-loop“-Phänomen).

4.1.3.2 Das Problem der Übergabe

Solange vollautomatisiertes bzw. autonomes Fahren noch nicht möglich ist, werden Fahrerinnen und Fahrer noch nicht vollkommen von der Fahraufgabe entbunden werden. Die aus heutiger Sicht kommende, nächste Entwicklungsstufe im ÖPNV (zumeist das hochautomatisierte Fahren) führt dazu, dass Situationen, in denen Fahrerinnen und Fahrer eingreifen und die Kontrolle übernehmen müssen, unvermeidbar sein werden. Zurzeit werden diese Übernahmesituationen stark beforscht, d. h. die Übergabe vom automatisierten Fahren zum manuellen Fahren, die in Stufe 3 der Automatisierung stattfindet. Morgan, Alford und Parkhurst (2016) haben den aktuellen Stand der Forschung zur Übergabe im teilautomatisierten Fahren bezüglich der Human-Factors-Problematik zusammengefasst.

Damit die Übergabe sicher ablaufen kann, muss der Fahrerin bzw. dem Fahrer ein ausreichender Zeitraum zur Übernahme der vollständigen motorischen und kognitiven Kontrolle zur Verfügung gestellt werden. Eine Meta-Analyse von Übernahmezeiten fasst zusammen, dass es zwischen 0,69 und 19,79 Sekunden dauert, abhängig von verschiedenen Einflussfaktoren wie der Komplexität der Situation oder Nebenaufgaben, bis die Fahrerin bzw. der Fahrer wieder die Kontrolle hat (Zhang, Winter, Varotto, Happee & Martens, 2019).

Es ist noch nicht klar, in welcher Weise die Übernahmeleistung durch die Beschäftigung mit nicht fahrbezogenen Aufgaben beeinflusst wird. Auf der einen Seite trägt die Beschäftigung mit fahrfremden Aufgaben zu einer Reduzierung der Situationswahrnehmung bei und zum out-of-the-loop-Zustand, was die Fahrleistung negativ beeinflussen könnte. Diesen Effekt konnten Radlmayr, Fischer und Bengler (2019) oder Bueno et al. (2016) zeigen. Auf der anderen Seite könnte die Beschäftigung mit fahrfremden Aufgaben verhindern, dass durch das automatisierte Fahren eine Unterforderung der Fahrerinnen und Fahrer eintritt und damit eine langsamere Aktivierung für die Übernahme. Neubauer, Matthews und Saxby (2012) stellten längere Reaktionszeiten bei einer Übernahmeaufforderung fest, wenn Fahrerinnen und Fahrer beim simulierten automatisierten Fahren untätig waren, im Vergleich zu Fahrerinnen und Fahrern, die telefoniert hatten.

Die beschriebenen Probleme der Übergabe sind auch aus rechtlicher Sicht interessant. Die Überwachungstätigkeit bei gleichzeitiger Verantwortung ist laut einem Experten (Interview B) keine sichere Lösung. In Level 3 muss die Fahrerin bzw. der Fahrer eine ausreichende Übernahmefähigkeit sicherstellen. Wie bereits dargestellt, ist ein Mensch nur für begrenzte Zeit, je nach Aufgabe etwa 30 Minuten, konzentriert zur Aufmerksamkeit fähig. Dies gilt insbesondere bei der Überwachung des Fahrgeschehens, wenn das Fahrpersonal in einer rein überwachenden Tätigkeit eingesetzt würde. Wird der Zeitraum von rund 30 Minuten überschritten, hat der

²⁶ Engl.: Overreliance (dt.: blindes Vertrauen)

²⁷ Engl.: Complacency (dt.: Selbstzufriedenheit, Wohlbehagen)

²⁸ Engl.: complacent (dt.: selbstzufrieden)

Fahrer bzw. die Fahrerin Schwierigkeiten, wieder rechtzeitig die Fahrzeugführung zu übernehmen, bleibt jedoch für die Folgen z. B. eines zu spät ausgelösten Steuerungsmanövers haftbar. Diese Automationsform wird auch als „moral crumple zone“²⁹ bezeichnet (Elish, 2019). Diese Problematik kenne man aus der Luftfahrt, so der interviewte Experte, und sie habe in der Automationsforschung eine große Tradition. Mit Haftungsfragen hat sich beispielsweise das BMBF-Projekt Vorreiter³⁰ in Zusammenarbeit mit der Berliner Hochschule für Wirtschaft & Recht intensiver auseinandergesetzt.

4.1.4 Relevante Aspekte für eine gelungene Umsetzung automatisierten Fahrens im ÖPNV

Eine überlegte, auf wissenschaftlichen Erkenntnissen beruhende Gestaltung der Interaktion zwischen Fahrerin bzw. Fahrer und Fahrzeug ist eine Voraussetzung der erfolgreichen Umsetzung automatisierten Fahrens. Gibt es keine Fahrerin bzw. keinen Fahrer und damit auch keine Übergabe mehr, gelten Gestaltungsempfehlungen auch für die Überwachungstätigkeit eines Operators. Ebenso müssen Interaktionen zwischen Fahrzeug und Fahrgästen oder anderen Verkehrsteilnehmenden neugestaltet werden. Schulungsbedarf und die Klärung rechtlicher Rahmenbedingungen zur neuen Interaktionsform schließen sich an.

4.1.4.1 Nutzergerechte Gestaltung der Benutzerschnittstelle

Die nutzergerechte Gestaltung der Benutzerschnittstelle von automatisierten Systemen ist seit Jahrzehnten Gegenstand der wissenschaftlichen Betrachtung (z. B. Bainbridge, 1983; Norman, 1990). Eine Haupteinseitigkeit aus der Forschung zu Sicherheitsaspekten automatisierter Systeme besteht darin, dass nicht etwa eine reine Optimierung technischer Komponenten und ein Ersatz des (unzuverlässigen) Menschen die Gesamtsicherheit erhöhen, sondern die Qualität der Interaktionsgestaltung zwischen Mensch und technischem System.

Der Forschungsbereich „Human Factors“ befasst sich mit der nutzergerechten Gestaltung der Benutzerschnittstelle. Der Ansatz entstand aus dem Umdenken nach der sehr technikzentrierten Gestaltung – „automatisieren, was technisch möglich ist“ – und den daraus erwachsenen negativen Folgen. Im nutzerzentrierten Ansatz steht der Mensch in der Gestaltung des autonomen Fahrzeugs im Mittelpunkt, er sollte „in-the-loop“ gehalten werden, indem ihm Kontrollierbarkeit, Transparenz und Vorhersagbarkeit ermöglicht werden. Wie dies im Fahrzeug auf dem Weg zur Vollautomatisierung psychologisch sinnvoll und nutzergerecht erfolgen kann, ist bislang noch ungeklärt (Wolf, 2015).

Beggiato et al. (2015) betonen, dass das mentale Modell des überwachenden Menschen über die Funktionsweise des Systems mit dem tatsächlichen System möglichst übereinstimmen muss. Damit Fahrerinnen und Fahrer ihr automatisiert fahrendes Fahrzeug verstehen, spielt die Benutzungsschnittstelle eine zentrale Rolle (Carsten & Martens, 2019). Diese muss der Fahrerin bzw. dem Fahrer beispielsweise immer eindeutig den Zustand der Automation kommunizieren, um „Mode Confusion“³¹ zu vermeiden (Seppelt & Lee, 2007). Im Fahrzeug bedeutet dies, dass für die Fahrerin bzw. den Fahrer zweifelsfrei angezeigt werden muss, in welchem Automatisierungsmodus bzw. in welcher Situation er sich befindet. Auch Informationen über die Fahrumgebung könnten über eine adaptive Schnittstelle angezeigt werden.

Im Fahrzeugbereich hat die Arbeitsgruppe um Prof. Flemisch untersucht, wie mit Hilfe eines kooperativen Automatisierungskonzepts den Sicherheitsrisiken entgegengewirkt werden kann (Flemisch et al., 2012). In ihren Designvorschlägen lehnen sich Flemisch et al. (2003) an eine Metapher an, die die Fahrautomatisierung mit der Beziehung zwischen Pferd und Reiter vergleicht (sog. H-Metapher). Auf das hochautomatisierte Fahren bezogen, findet sich die Anwendung dieser Metapher bei Damböck, Kienle, Bengler und Bubb (2011). Der

²⁹ Dt.: moralische Knautschzone

³⁰ <https://www.technik-zum-menschen-bringen.de/projekte/vorreiter>, zuletzt geprüft am 26.08.2020

³¹ Engl.: mode confusion (dt.: Verwechslungsgefahr)

Kerngedanke besteht darin, dass eine gut gestaltete Automation den Menschen nicht ersetzt, sondern mit dem Menschen arbeitet und ihn unterstützt.

Ein weiterer Ansatz ist das adaptive Automatisierungskonzept (z. B. Christoffersen & Woods, 2002; Flemisch, Bengler, Bubb, Winner & Bruder, 2014), das dabei helfen kann, den möglichen Problemen entgegenzuwirken. Hier werden Fahrerin bzw. Fahrer und Fahrzeug als Teampartner verstanden, die untereinander koordinieren, welche Aufgaben jeder übernimmt. Adaptive und kooperative Gestaltungskonzepte werden in hochautomatisierten Fahrzeugen bereits prototypisch umgesetzt. In einem Ansatz der gestuften Rückführung der Fahrerin bzw. des Fahrers wird aus einer hochautomatisierten Fahrt zunächst eine niedrigere Stufe der Automation gewählt, anstatt direkt zur manuellen Steuerung zu überführen (Gold, Damböck, Lorenz & Bengler, 2013).

Im Experteninterview wurde noch der Aspekt ergänzt, dass Fahrerinnen und Fahrern die Möglichkeit zur Individualisierung gegeben werden sollte (Interview F). So sollte man die Assistenz ein- und ausschalten bzw. den Unterstützungsgrad selbst bestimmen können.

4.1.4.2 Gestaltung der Übergabe

Wie man die Übergabe am besten gestaltet, ist derzeit Bestandteil der Forschung (z. B. Clark, Stanton & Revell, 2020). So kann ein Vibrieren des Sitzes etwa drei bis fünf Minuten vor der Übergabe die Fahrerin bzw. den Fahrer vorbereiten. Ergebnisse einer Studie von Bourrelly et al. (2019) legen nahe, dass den Leistungseinbußen der Fahrerin bzw. des Fahrers bei einer Rückübernahmeaufforderung nach längerer Zeit im autonomen Fahrmodus entgegengewirkt werden kann, wenn die autonome Fahrt in mehrere kürzere Phasen unterteilt wird. Auf diese Weise kann einer Ermüdung der Fahrerin bzw. des Fahrers entgegengewirkt werden. Ein anderer Ansatz sind gestufte Eskalationsstufen für Warnungen bei Ausbleiben einer Reaktion des Fahrers. Im teilautomatisierten Fahrzeug wird außerdem eine Sicherheitsfahrerschaltung diskutiert. Wird nicht im notwendigen Zeitraum ein Schalter bedient, wird eine automatische Zwangsbremung eingeleitet. Diese Aufmerksamkeitsüberwachung ist aus dem Schienenverkehr bekannt. Der „Totmannknopf“ ist in Deutschland bei Zugführenden gesetzlich vorgeschrieben. Er überprüft, ob der zuständige Mensch handlungsfähig ist, andernfalls wird ein Signal oder eine Schalthandlung ausgelöst.

Mit der Gestaltung der Bediensysteme im hochautomatisierten Schienenfahrzeug beschäftigt sich z. B. die Human-Factors-Abteilung des DLR (Milius & Naumann, 2018). Auch hier geht es zum einen um die Vermeidung von reinen Überwachungstätigkeiten für den Menschen, die zu passiver Müdigkeit führen. Zum anderen wird die Gestaltung von Assistenzsystemen beforscht, die dem oder der Triebfahrzeugführenden kontinuierlich anzeigen, welches Zugsicherungssystem gerade aktiv ist, um automatisierte Diagnose- und Entscheidungshilfen zu erhalten.

Eine Zusammenfassung der derzeitigen Übergabegestaltungen geben Mirnig et al. (2017). In der Gestaltung spielen Warnhinweise zur Situation und Übergabezeit eine Rolle (Naujoks, Forster, Wiedemann & Neukum, 2017), bimodale – visuell und akustisch – (Walch et al., 2017) oder multimodale Übernahmeaufforderungen sowie kontextbezogene Hinweise, um die Übergabe zu erleichtern.

4.1.4.3 Schulungsbedarf

Neben der Gestaltung der Benutzungsschnittstelle im Fahrzeug sind Training und die regelmäßige Ausführung manueller Fahrtätigkeiten Maßnahmen, um Kompetenzverluste zu verhindern. Mit neuen Arbeitsplätzen ist also auch eine aktive Schulungsstrategie gefordert. Die Fahrausbildung muss an die Nutzung von automatisierten Fahrzeugen angepasst werden. In Singapur, einem Vorreiter in Bezug auf autonome Mobilität, haben die Verkehrsbetriebe bereits geplant, dass eine Umschulung von zunächst 100 Busfahrerinnen und Busfahrern zu Sicherheitsbegleitern im Fahrzeug erfolgen soll. Autonom fahrende Busse sollen dort in einem Testfeld eingeführt werden, das sich über die halbe Stadt erstreckt. Als Zusatzqualifikation müssen die Busfahrerinnen und Busfahrer im Notfall die Kontrolle übernehmen können (NaNa Nahverkehrsnachrichten, 2019). Einen

Schritt weitergedacht, kann die Kontrolle der autonom fahrenden Busse auch außerhalb der Fahrzeuge (remote) per Fernsteuerung erfolgen. Dem Operator wäre es möglich, nicht nur ein Fahrzeug, sondern gleich mehrere zu überwachen (Abe, 2019).

In Deutschland testet die Deutsche Bahn einen autonomen Bus in Bad Birnbach bereits seit 2017, auch hier ist ein Operator noch im Fahrzeug anwesend. Es stellt sich die Frage, welche Anforderungen an den Operator gestellt werden können, der als notwendiger Zwischenschritt in den autonomen Bussen anwesend sein wird (Riener et al., 2020). Für die Zulassung autonomer Busse haben die Niederlande die Bedingung formuliert, dass es sich bei dem noch benötigten Operator um eine versierte Fahrerin bzw. einen versierten Fahrer handeln soll (Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität [IKEM], 2017). Konkrete Guidelines oder standardisierte Sicherheitsanforderungen fehlen aber noch.

Für die Zulassungsbehörden in Deutschland wird ein Sachverständigengutachten gefordert, in dem explizit auch die Anforderungen an Fahrerinnen und Fahrer definiert werden sollen, beispielsweise, welche besonderen Schulungsmaßnahmen oder Fortbildungen sie wahrnehmen müssten, um für das Führen eines automatisierten Fahrzeugs befähigt zu werden (IKEM, 2017). Die betroffenen Beschäftigten müssen eventuell nicht nur für die Handhabung der neuen Technologien weiterqualifiziert werden. Nutzende der autonom fahrenden Fahrzeuge könnten es bevorzugen, einen Mitarbeiter des ÖPNV im Fahrzeug zu haben, um ihnen Sicherheit zu geben oder für Informationen zur Verfügung zu stehen (Dong, DiScenna & Guerra, 2019).

Aus der Befragung von Expertinnen und Experten für diese Studie kam die Einschätzung, dass sich die Qualifikation der Fahrerinnen und Fahrer mit der Einführung intelligenter Assistenzsysteme in Stufe 1 und Stufe 2 nicht ändern würde. Es gäbe keine höheren Anforderungen, wenn nur abschnittsweise automatisiert würde (Interview A). Eine deutliche Änderung der Qualifikation wäre hingegen für die Beschäftigten der Betriebshöfe zu erwarten. Sowohl bei Assistenzsystemen in Stufe 1 oder höherer Automation in Stufe 4 würde in den Betriebshöfen wesentlich mehr Sensorik und Elektronik als bisher zu betreuen sein. Wie der Experte von Betreibern erfahren konnte, ist die Wartung teil- bzw. vollautomatisierter bzw. autonomer Fahrzeuge eine Herausforderung.

Ein anderer Experte sagte im Interview, es sei ein Trugschluss, dass durch Automation ein geringeres Qualifikationsniveau erforderlich wäre, da der Mensch nur noch Resttätigkeiten ausführe (Interview F). In hochkomplexen Situationen würden fehlerhafte Systeme im Rückfall immense Anforderungen an den Menschen stellen. Solange Systeme nicht vollkommen fehlerfrei funktionierten, müsse der Operator bzw. Überwacher das System auch verstehen, um im Notfall eingreifen zu können. In der Ausbildung solle die Einweisung in die assistierenden Funktionen also eine Rolle spielen. Ein Verständnis für die Funktionsweise und das Verhalten des Systems sei wichtig, insbesondere auch für seine Grenzen. Der Fahrdienstleistende sollte wissen, wie er im Notfall reagieren muss. Für die Schulung zog der Experte einen Vergleich zur Luftfahrtbranche (Interview F).

Zur Einführung eines zu Piloten vergleichbaren Trainings für die Weiterentwicklung des automatisierten Fahrens im ÖPNV auf höheren Automationsleveln riet auch ein weiterer Experte (Interview B). In einem eigenen Projekt mit österreichischen Behörden zur Weiterqualifikation von Autofahrern wurde der Vorschlag entwickelt, dass für automatisiertes Fahren ein zusätzliches Training auch den normalen Autofahrenden verpflichtend auf den Weg gegeben werden soll. Dies ließe sich auf den ÖPNV übertragen. Automation mache die Fahraufgabe deutlich komplexer, auch Notfall-Prozeduren müssten immer wieder aufgefrischt werden. Bislang sei in jeder Domäne (Zug, Flugzeug) das Qualifikationsprofil durch Automation deutlich technischer, die Qualifikation auch höher als vorher geworden.

4.1.4.4 Gestaltung der Schnittstelle für Überwachungstätigkeiten

Für die Gestaltung der Benutzerschnittstelle für Fahrerinnen und Fahrer, die vornehmlich Überwachungstätigkeiten ausüben, können Vergleiche zur Bildschirmarbeit in Leitwarten gezogen werden. Im gleichnamigen

BAuA-Bericht (Bockelmann, Nachreiner & Nickel, 2012) wird die aufgabenangemessene Gestaltung der Anzeigen für die Leitwartenoperateure beschrieben. Ausgangspunkt ist eine detaillierte Aufgabenanalyse für den Arbeitsplatz, die alle Betriebszustände einschließt. Es wird auf die Gestaltungsprinzipien aus der DIN EN ISO 9241-110 verwiesen (DIN EN ISO 9241-110:2008-09), die als internationaler Standard als Grundlage für die Gestaltung der Mensch-System-Interaktion berücksichtigt werden muss. Die EU-Rechtsprechung und die deutsche Arbeitsstättenverordnung fordern die Berücksichtigung dieser ergonomischen Grundsätze der Dialoggestaltung für jeden Arbeitsplatz, in dem ein Mensch über eine Benutzungsoberfläche seine Arbeitsaufgaben durchführt. Die Grundsätze bestehen neben der bereits genannten Aufgabenangemessenheit in der Selbstbeschreibungsfähigkeit, Erwartungskonformität, der Steuerbarkeit, Fehlertoleranz und Individualisierbarkeit der Dialogwege. Zur Gestaltung der Benutzerschnittstelle beim teilautomatisierten Fahren werden ebenfalls diese Kriterien herangezogen.

Es ist absehbar, dass Automation zusammen mit einer Fernsteuerung implementiert werden wird. Die „fahrerlosen“ Fahrzeuge involvieren dennoch Menschen in einer Zentrale, die bei Bedarf übernehmen und fernsteuern sollen. Bei diesem Personal in der Leitstelle handelt es sich auch um „Fahrer“ bzw. „Fahrerinnen“ mit Überwachungstätigkeiten, eben nur in Leitzentralen. Dieser Arbeitsplatz wird laut Aussage aus den Experteninterviews gerade beforscht (Interview B). Es geht um die Gestaltung des Gesamtsystems, in welchem eine Datenverbindung ohne Unterbrechung und ohne Zeitverzug notwendig ist, damit der Mensch rechtzeitig reagieren kann.

4.1.4.5 Interaktion mit Fahrgästen und anderen Verkehrsteilnehmenden

Pilotprojekte zur Gestaltung von Mensch-Technik-Interaktion erproben derzeit weltweit den Einsatz fahrerloser Mikromobile für die „letzte Meile“ als Zubringer zum öffentlichen Verkehr und analysieren dabei die Interaktion mit den Fahrgästen. Mit der Situation des Ein- und Ausstiegs bei der Nutzung autonomer Shuttles und Pods im Straßenraum beschäftigte sich in Deutschland das Projekt Hop-on_Hop-off (Crössmann et al., 2018). Am Beispiel des fahrerlosen Shuttles „Emily“ von EasyMile wurden auf dem Berliner EUREF-Campus die Anforderungen von Nutzerinnen und Nutzern untersucht. Fahrgäste wollen einen Mehrwert zu anderen Mobilitätsalternativen und stellen hohe Anforderungen an Sicherheit und Servicequalität. Die Nutzungsbereitschaft ist besonders hoch, wenn der Shuttle die Person zu seiner Wunschzeit von zu Hause abholt und die Fahrt in einem ÖPNV-Abonnement enthalten ist. Das größte Potenzial sehen die befragten Expertinnen und Experten für zentrale Nachbarschaften mit einer schwachen Anbindung an den ÖPNV, die größten Hemmnisse in mangelnder Zuverlässigkeit und zu niedrigen Geschwindigkeiten. Auch Empfehlungen zur Gestaltung der Interaktion mit Fahrgästen wurden aus Expertenbefragungen abgeleitet: So sollte der Einstieg in den Shuttle personalisierter werden, indem z. B. angezeigt wird, dass es sich um die gebuchte Fahrt handelt. Außerdem wurde die Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmenden thematisiert, der Shuttle sollte klar als fahrerloses Fahrzeug zu erkennen sein.

Mit der Interaktion nach außen beschäftigte sich in Deutschland z. B. das Projekt KOLA (Powelleit, Winkler & Vollrath, 2019). Über lichtbasierte Signale wie LEDs oder Laserscheinwerfer soll das Fahrzeug nach außen kommunizieren, um kooperativ im Straßenverkehr handeln zu können. Dies wird besonders relevant, wenn im fahrerlosen Fahrzeug der Blickkontakt wegfällt. Ersatzweise kann das Fahrzeug beispielsweise durch eine Projektion eines Zebrastreifens den Passanten signalisieren, dass sie die Straße überqueren können.

Autonome Shuttles sind u. a. in Bad Birnbach (von der Deutschen Bahn) oder auf dem Charité-Gelände in Berlin (in Kooperation mit der Berliner Verkehrsbetrieben) bereits im Einsatz. Weitere Pilotprojekte sind das Projekt HEAT der Hamburger Verkehrsbetriebe oder das Projekt Hub Chain der Stadtwerke Osnabrück.

4.1.4.6 Menschenzentrierte Gestaltung von Fahrsystemen und interdisziplinäre Entwicklung im Fokus

Die bereits erwähnte nutzerzentrierte an Stelle einer technikzentrierten Herangehensweise wurde auch in den Experteninterviews hervorgehoben. Ein Experte betonte, das reine Ersetzen der Fahrerin bzw. des Fahrers durch Automation sei der falsche Ansatz (Interview A).

Aus seiner Sicht sei eine Level-3-Automation in der Stadt nicht sinnvoll umsetzbar (also hochautomatisiertes Fahren, bei dem die Fahrerin bzw. der Fahrer sich zeitweilig einer anderen Aufgabe zuwenden darf). Die Fahrerin bzw. der Fahrer könne sich nicht „rausnehmen“, er würde also quasi auf ein Level 2 zurückfallen, um alles im Blick zu behalten. Unzutreffend sei die Annahme, dass Fahrerinnen und Fahrer nebenher mehr Servicetätigkeiten erledigen können, beispielsweise Tickets verkaufen, weil der Bus ja hochautomatisiert fahre. Die Busfahrerinnen bzw. der Busfahrer muss wieder übernehmen können und benötigt einen erheblichen Zeitvorlauf, um sich wieder der Fahraufgabe zurückzuwenden. In Forschungsprojekten bestätigten Busfahrerinnen und Busfahrer in Interviews, dass sie es nicht für erstrebenswert halten, hochautomatisiertes Fahren dauerhaft einzuführen.

Hingegen sieht der Experte viel Potenzial in Assistenzsystemen für Fahrerinnen und Fahrer (Interview A). Für Abschnitte mit Spitzenlast für die Fahrerinnen und Fahrer könnten Level-1-Systeme und Level-2-Systeme sehr gut unterstützen: Totwinkelüberwachung, Notbremsassistent oder Abstandsregelsysteme wie Stop-and-Go-Assistenten. Diese Systeme seien sehr zuverlässig und könnten Busfahrerinnen und Busfahrer stark entlasten, ihr Einsatz sei aber noch nicht so verbreitet. Auf diesen Punkt ging auch ein weiterer Experte im Interview ein (Interview B). Ein Notbremsassistent sei für schwere Lkw inzwischen verpflichtend, es gäbe Spurwechselassistenten oder Seitenschutzassistenten gegen Unfälle mit Radfahrerinnen und Radfahrern. Der stärkere Einsatz von Fahrerassistenzsystemen oder Teilautomatisierung könne den Fahrdienst deutlich erleichtern.

Ein Experte empfiehlt darüber hinaus, Busfahrerinnen und Busfahrer von den Mehrfach Tätigkeiten zu entlasten (Interview A). Aktuell sind die Fahrerinnen und Fahrer gleichzeitig mit vielen Anforderungen beschäftigt: der Fahraufgabe, der Einhaltung des Fahrplans und den Servicetätigkeiten. Hier könnten neue Ticketsysteme oder Informationssysteme helfen, sodass Fahrgäste selbstständiger werden.

Jeder Einführung neuer Automation sollte aber unbedingt eine differenzierte Analyse der Tätigkeiten des Fahrdienstes vorangehen und erst im Anschluss spezifiziert werden, an welchen Stellen mit Technologie unterstützt werden kann. Diese Haltung wird auch von einem weiteren Experten geteilt: Zunächst sollten die Belastungsfaktoren identifiziert werden, erst danach, wie eine Verbesserung durch Technologien möglich sei (Interview F). Beispielsweise könne man überlegen, wie man die Fahrerinnen und Fahrer u. a. beim sicheren Ein- und Ausfahren aus einer Haltebucht unterstützen könne oder beim sehr belastenden Stop-and-Go-Fahren. Grundlegend befürworten die Expertinnen und Experten eine abschnittsweise Automation, in der geprüft wird, wie einzelne Aufgaben der Fahrerin bzw. des Fahrers technologisch unterstützt werden können. Wie einer der Experten im Interview zu dem Projekt CityMobil berichtet, wurden in Spanien nur die Teile der Strecke von Bussen automatisiert, z. B. das Heranfahren an die Haltebucht, die vorher komplett vermessen wurden (Interview B).

Ein weiterer Experte fordert, dass bei der Einführung neuer Technologien die Partizipation der Mitarbeitenden von zentraler Bedeutung sei (Interview F). Die Personen, die die Probleme in ihrer Arbeitstätigkeit haben und kennen, müssen in den Prozess mit eingebunden werden. Dies ist wichtig für die Akzeptanz der neuen Systeme.

Die Experten sind sich darin einig, dass Automation immer schrittweise eingeführt werden sollte, unter der Begleitung von gut qualifizierten Partnern wie Forschungsinstituten, die sich schon länger mit dem Thema beschäftigen (Interviews A, B und F). Bewährt habe sich ein enge interdisziplinäre Partnerschaft aus städtischen Betrieben, Herstellern und Forschungsbetrieben in einem Pilotprojekt.

4.1.5 Entwicklungs- bzw. Umsetzungsstand bei der LVB

Die Auswertung der Gespräche mit Vertreterinnen und Vertretern der LVB macht deutlich, dass sich die eingangs beschriebene gesundheitsbezogene Bewertung der Arbeitsplätze von Fahrpersonal im ÖPNV auch bei der LVB auswirkt. Laut (Interview 07) ist der Krankenstand bei den Fahrerinnen und Fahrern mit ca. 10 % als hoch zu bewerten. Eine Analyse der Daten der LVB-Gruppe untermauert diese Aussage (vgl. Abbildung 15).

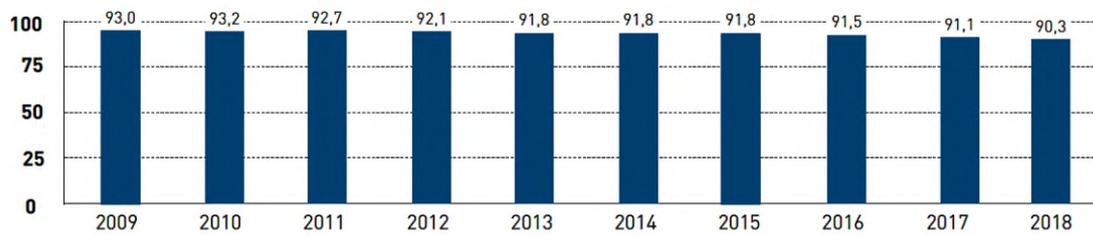


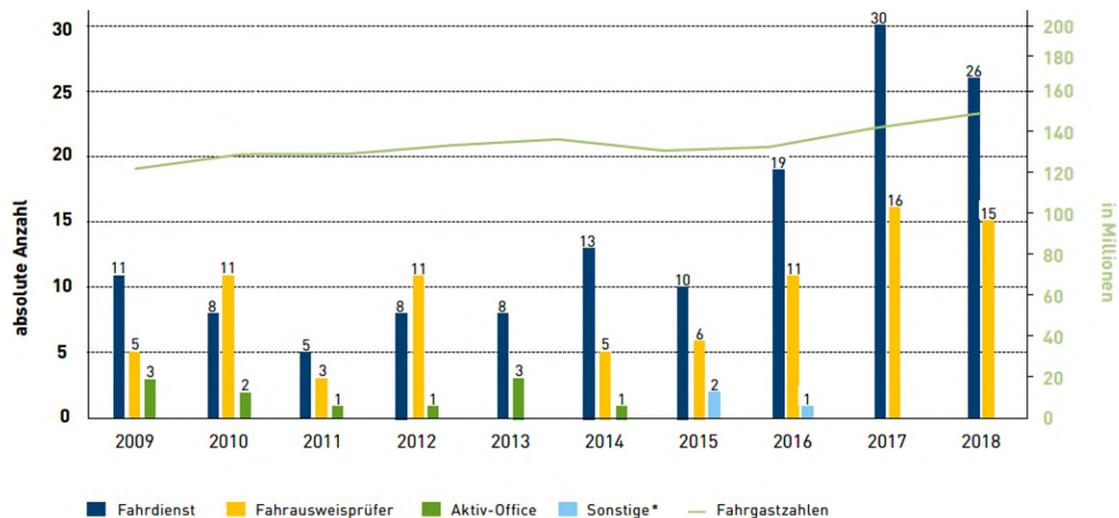
Abbildung 15: Gesundheitsstand der Beschäftigten in der LVB-Gruppe (Andreas Böttcher et al., 2019)

Eine Analyse der Krankenstände der LVB des Jahres 2019 zeigt, dass der Durchschnitt über alle Berufsgruppen hinweg bei 9,58 % liegt. Im Fahrservice liegt mit 11,82 % im Vergleich zu anderen Berufsgruppen innerhalb der LVB ein deutlich höherer Krankenstand vor. Grund dafür ist mit hoher Wahrscheinlichkeit die überwiegend sitzende Tätigkeit, die vor allem zu gesundheitlichen Problemen im Bereich des Bewegungsapparates und des Herz-Kreislauf-Systems führt.

Doch auch die psychische Belastung nimmt langsam zu. Als mögliche Ursachen dafür kristallisierten sich in den Gesprächen verschiedene Sachverhalte heraus, die von allgemeiner Arbeitsverdichtung bis zu steigender Verkehrsdichte in Leipzig sowie einem teilweise aggressiver werdenden Verhalten der Verkehrsteilnehmenden insgesamt reichen. Fakt ist, dass der Fahrberuf ein „24/7-Beruf“ ist, sprich eine „rund um die Uhr“-Diensttätigkeit mit sich bringt. Das Fahrpersonal verfügt i. d. R. über maximal ein freies Wochenende pro Monat – eine Situation, die besonders Familien vor eine Herausforderung stellt (Interview 03). Weiterhin haben Fahrerinnen und Fahrer trotz gleicher Schicht täglich wechselnde Dienste, sprich auch andere Dienstlängen. Fahr- und dienstplantechnisch ist dies nicht anders organisierbar, bringt aber Belastungssituationen für das Fahrpersonal mit sich, da einige Dienste eine geringere Anzahl an Arbeitsstunden mit sich bringen, die dann an anderen Tagen durch längere Arbeitszeiten ausgeglichen werden müssen (Interview 03).

Auch ist in den zurückliegenden Jahren eine verstärkte mediale Aufbereitung etwa von Übergriffen auf Fahrpersonal in Ballungszentren Deutschlands ein Grund dafür, dass – selbst wenn keine eigenen Erfahrungen in diesem Kontext vorliegen – allein schon die periphere Wahrnehmung von Berichten aus der Presse zu einem unterschwelligem Empfinden von Stress, fehlender Sicherheit im Dienstalltag oder sogar Angstzuständen führen kann und vereinzelt auch führt.

Ein Blick in die Statistik zur Anzahl körperlicher Übergriffe auf Dienstpersonal der LVB untermauert die Aussage, dass gewalttätige Übergriffe auf das Fahrpersonal zugenommen haben (vgl. Abbildung 16).



* sonstige Mitarbeiter mit oder ohne Kundenkontakt, z. B. Haltestellendienste, Mobiler Dienst, Gleisbauer etc.

Abbildung 16: Anzahl körperlicher Übergriffe auf Dienstpersonal der LVB (Andreas Böttcher et al., 2019)

Die Daten weisen eine deutliche Zunahme in den vergangenen drei Jahren auf und betreffen insbesondere das Fahrdienstpersonal. Das Unternehmen reagierte auf diese Entwicklungen mit der Initiierung des Projektes „Sicherheit im Dienst“ und führte nach diversen Austauschforen eine Mitarbeiterbefragung zum individuellen Sicherheitsempfinden durch, die bspw. in der Intensivierung der Zusammenarbeit mit der Polizei (-> Sicherheitspartnerschaft im Bereich Training und Wissenstransfer) mündete. Auch die Fahrerinnen und Fahrer erhalten mittlerweile ein gezieltes Deeskalationstraining (Andreas Böttcher et al., 2019).

Eine dem Berufsbild immanente Belastungssituation besteht darin, dass der Fahrer bzw. die Fahrerin im Fall einer Auseinandersetzung mit Fahrgästen i. d. R. allein in der unmittelbaren Situation sind. Es gibt meist keine Zeugen, die zu Gunsten des Fahrpersonals herangezogen werden können, wenn sich Fahrgäste anschließend mit Beschwerden an die LVB wenden. Dies kann für das Fahrpersonal zu erheblichem psychischen Druck führen [Interview 03]. Weiterhin ist auch das Einhalten familiärer Verpflichtungen, z. B. wenn das Kind erkrankt ist, nicht derart konfliktfrei mit dem Dienst vereinbar wie in der Verwaltung. Diese gefühlte Ungleichbehandlung mit Kolleginnen und Kollegen des gleichen Unternehmens ist vor Berufsantritt bekannt und planbar, erzeugt aber dennoch laut Auskunft von (Interview 03) Unzufriedenheit bzw. Druck bei einzelnen Fahrerinnen und Fahrern.

Außerdem könnte auch die allgemeine Beschleunigung des modernen Lebens eine Rolle spielen. Nach Einschätzung von (Interview 07) könnte die Zunahme psychischer Erkrankungen in den Statistiken aber auch durch eine Verschiebung der Diagnosebilder im Erkrankungsfall eine Rolle spielen. Die stärkere Beachtung des Zusammenwirkens psychischer und physischer Erkrankungsbilder und eine differenziertere Diagnostik könnten dazu führen, dass körperliche Beschwerden heute auch auf psychische Erkrankungen hinweisen und als solche erkannt und therapiert werden.

Seit dem Jahr 2018 verfügt die LVB über ein systematisches betriebliches Gesundheitsmanagement. Die Koordination der Maßnahmen obliegt dem Gesundheitsmanager der LVB, der in enger Abstimmung mit der Bereichsleitung Personal und dem Arbeitsdirektor agiert (Andreas Böttcher et al., 2019). Es erfolgt eine fortlaufende Arbeit an Präventivmaßnahmen in Kooperation mit dem arbeitsmedizinischen Dienst, dem Bereich Personal und allen Führungskräften des Unternehmens. Neben Befragungen Mitarbeitender zu gesundheitsbezogenen Themen und einem umfangreichen betrieblichen Eingliederungsmanagement bzw. Hilfestellungen bei Fahrdienstuntauglichkeit verfügt die LVB insbesondere über die folgenden Gesundheitsmaßnahmen (Andreas Böttcher et al., 2019; R. Petzold, persönl. Mitteilung, 25.08.2020):

- „Gesunder Start in den Fahrdienst“
Ziel des Programms ist die nachhaltige Verankerung eines Gesundheitsbewusstseins bei den Beschäftigten im Fahrdienst. Dazu setzt das Programm bereits bei Fahrschülerinnen und Fahrschülern an. Sie werden in der Ausbildung für gesundheitsförderliches Verhalten sensibilisiert. Sie sollen darüber hinaus für gesunde Bewegung und eine ausgewogene Ernährung begeistert werden.
- Gesundheits-App „Mindance“
Ziel der App ist, die Fähigkeit zur Bewältigung psychischer Arbeitsbelastungen bei Beschäftigten zu erhöhen. Mit Hilfe eines audiogeführten Mentaltrainings wird die Leistungsfähigkeit gesteigert, ebenfalls soll psychischen Erkrankungen vorgebeugt werden.
- „Gesundheitstage“
Die jährliche Veranstaltung dient dazu, ähnlich wie die Maßnahme „Gesunder Start in den Fahrdienst“, Beschäftigte gezielt für gesundheitsförderliches Verhalten zu sensibilisieren und Begeisterung für gesunde Ernährung und Bewegung zu wecken. Die Veranstaltung beinhaltet unter anderem umfassende gesundheitliche Check-ups, Impulsvorträge und Workshops.
- Programm „Elder-care“
Das Programm wird durchgeführt unter Beteiligung der vivacus care GmbH und bietet Unterstützung bei der Pflege von Angehörigen. Es beinhaltet insbesondere eine telefonische Erstberatung, häusliche Pflegeberatung, betriebliche Pflegekurse und Rechtsberatung.

Weiterhin werden Workshops (Finanzierung über die Krankenkassen) angeboten und Themen, wie bspw. Ergonomie am Arbeitsplatz, mit den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bearbeitet. Seit 2014 wird als begleitendes Programm für den Fahrdienst das Weiterbildungsformat „WEITBLICK Stark im Leben – fit im Job“ angeboten, das die Mitarbeitenden auch gut annehmen. Das Programm bietet den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern im Fahrdienst die Möglichkeit, Neues kennenzulernen, eigene Stärken und Interessen zu erkennen, Hintergründe im Unternehmen besser zu verstehen, die persönliche Gesundheit zu unterstützen und sich mit anderen Mitarbeitenden auszutauschen. In jedem Seminar ist überdies eine aktive Fitness- und Entspannungseinheit integriert. Ein Seminar pro Mitarbeiter im Jahr wird als Arbeitszeit vergütet (LVB GmbH, 2014).

Auch aus den Arbeitsschutzausschüssen heraus werden Maßnahmen entwickelt. Es wurde eine betriebliche Zusatzkrankenversicherung eingeführt. Daneben existieren Sportangebote oder Rabattvereinbarungen bei Fitnessstudios (Interview 07).

Die abschließende Diskussion der Frage nach den Chancen und Risiken, die sich durch die Einführung von Stufen des automatisierten Fahrens – aber auch durch die Zunahme der Digitalisierung und Automatisierung allgemein – für die Beschäftigten im Hinblick auf die Erhaltung der physischen und psychischen Gesundheit bieten, führte zu der Erkenntnis: Es ist zwingend notwendig, die persönliche Kommunikation zwischen allen Beteiligten zu stärken. Dies betrifft sowohl den Austausch zwischen der Leitungsebene der LVB und dem Fahrpersonal, aber gleichermaßen die persönliche Interaktion mit dem Fahrgast. Eine in puncto „Umstellung des Fahrbetriebes auf autonomes Fahren“ essenzielle Fragestellung ist die der Haftung, sollte es zu Verkehrsunfällen mit automatisierten Fahrzeugen kommen und die Fahrerin bzw. der Fahrer hätte Eingriffsmöglichkeiten gehabt. Für das Fahrpersonal ist es essenziell, diese Grundsatzfragen zu kennen, speziell mit Blick auf die rechtlichen Rahmenbedingungen, um den Wandel mitgestalten zu können – vorbehaltlos und positiv der neuen Technologie gegenüber eingestellt.

4.1.6 Ergebnisse der Onlinebefragung

Im Rahmen der Onlinebefragung wurde erörtert, inwieweit sich Änderungen in puncto physischer und psychischer Arbeitsbelastung durch die Einführung automatisierten Fahrens im ÖPNV bei den Fahrerinnen und Fahrern erwarten lassen.

Jeweils ca. 60 % der Befragten gehen davon aus, dass die physische Arbeitsbelastung in beiden Berufsgruppen (Busfahrer/-in; Straßenbahnfahrer/-in) abnehmen wird. Weniger als ein Zehntel der Befragten meint, dass diese sogar stark abnehmen wird, circa ein Drittel der Befragten erwartet keine Veränderung. Niemand unter den 50 Befragten rechnet mit einer Zunahme der physischen Arbeitsbelastung (vgl. Abbildung 17).

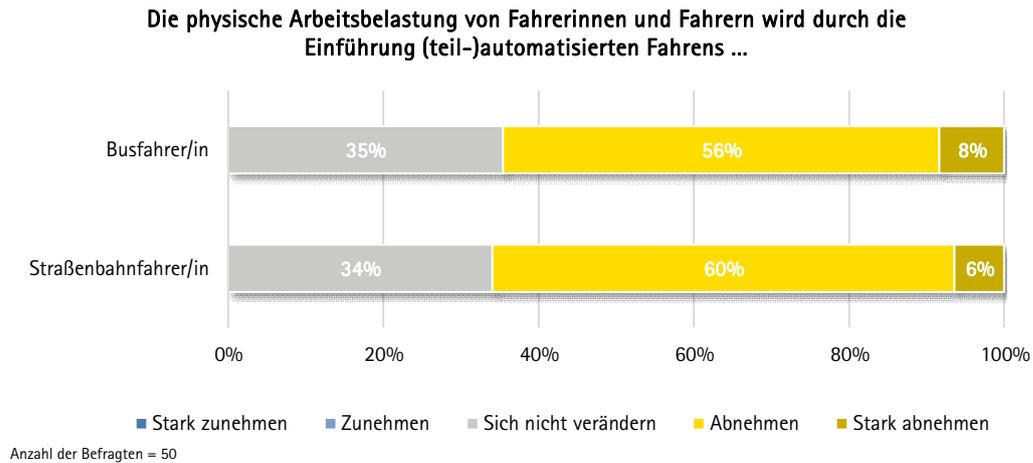


Abbildung 17: Ergebnis der Onlinebefragung – Änderungen der physischen Arbeitsbelastung von Fahrerinnen und Fahrern durch die Einführung teil- bzw. vollautomatisierten Fahrens

Ein anderes Meinungsbild zeigt sich bei der Frage nach der psychischen Belastung der Fahrerinnen und Fahrer. Etwa 40 % der Befragten gehen für beide Berufsgruppen (Busfahrer/-in; Straßenbahnfahrer/-in) davon aus, dass die Einführung des automatisierten Fahrens im ÖPNV eine Zunahme der psychischen Belastung am Arbeitsplatz mit sich bringt. Jeweils ca. 5 % erwarten sogar eine starke Zunahme, knapp ein Fünftel der Befragten erwartet für beide Berufsgruppen keine Veränderungen. Ungefähr ein Drittel der Befragten geht davon aus, die psychische Arbeitsbelastung werde zunehmen, 7 % rechnen sogar mit einer deutlichen Zunahme (vgl. Abbildung 18).

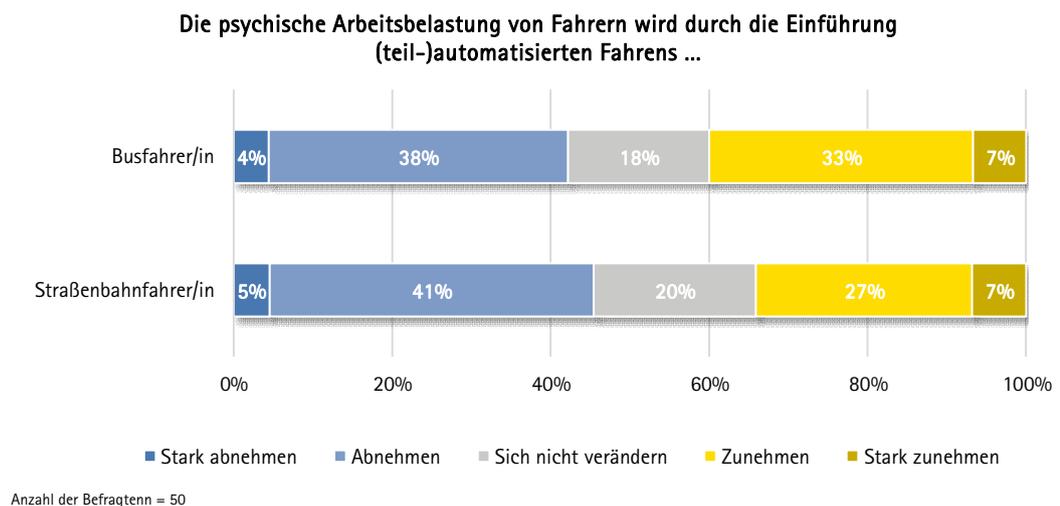


Abbildung 18: Ergebnis der Onlinebefragung – Änderungen der psychischen Arbeitsbelastung von Fahrerinnen und Fahrern durch die Einführung teil- bzw. vollautomatisierten Fahrens

4.2 Beschäftigungsentwicklung und Weiterbildung

4.2.1 Aktueller Stand in Wissenschaft und Praxis

Die Entwicklung und Einführung teil- bzw. vollautomatisierter Fahrsysteme im ÖPNV ändert das Arbeitsumfeld, die Anforderungen und den Bedarf an Beschäftigten innerhalb der Branche. Dabei besteht gegenwärtig große Unsicherheit darüber, wie diese Veränderungen aussehen und wann sie eintreten werden. Diese Unsicherheit resultiert vor allem daraus, dass hoch- und vollautomatisierte Fahrsysteme für wesentliche Teile des ÖPNV technisch noch nicht zur Verfügung stehen, wodurch eine Abschätzung von Veränderungen für Beschäftigte massiv erschwert wird.

Insgesamt waren 2019 im ÖPNV nach Angaben der Bundesagentur für Arbeit 220.844 sozialversicherungspflichtige Beschäftigte tätig (Abbildung 19). Das waren 9,62 % mehr als noch 2013. Damit liegt die Zuwachsrate der sozialversicherungspflichtigen Beschäftigungsverhältnisse zwischen 2013 und 2019 gut 3 Prozentpunkte unter der gesamtwirtschaftlichen Steigerung der Beschäftigtenzahlen. Dabei fallen die relativen Zuwächse gerade in der sonstigen Personenbeförderung im Landverkehr mit 17,47 % besonders stark aus. Nach der Wirtschaftszweigklassifikation des Statistischen Bundesamtes fällt darunter auch der Omnibusfernverkehr.³² Die Zuwächse von mehr als 8.000 Beschäftigten in absoluten Zahlen dürften dabei vor allem auf die Folgen der Liberalisierung des Fernbuslinienverkehrs zurückzuführen sein, die 2013 in Kraft trat.³³

| WZ 2008 | 2013 | | | | |
|--|---------------|----------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------|
| | SvB insgesamt | Ohne Berufsabschluss | Anerkannter Berufsabschluss | Akademischer Berufsabschluss | Keine Angabe |
| Insgesamt | 29.615.680 | 3.274.442 | 18.412.854 | 3.904.461 | 4.023.923 |
| Δ 2013 – 2019 | | | | | |
| Anteil | | 11,1% | 62,2% | 13,2% | 13,6% |
| Öffentlicher Personennahverkehr (4931+4939) | 201.470 | 20.024 | 153.821 | 8.117 | 19.508 |
| Δ 2013 – 2019 | | | | | |
| Anteil | | 9,9% | 76,3% | 4,0% | 9,7% |
| 4931 Personenbeförderung im Nahverkehr zu Lande (ohne Taxis) | 151.375 | 16.000 | 118.101 | 6.729 | 10.545 |
| Δ 2013 – 2019 | | | | | |
| Anteil | | 10,6% | 78,0% | 4,4% | 7,0% |
| 4939 Sonstige Personenbeförderung im Landverkehr a. n. g. | 50.095 | 4.024 | 35.720 | 1.388 | 8.963 |
| Δ 2013 – 2019 | | | | | |
| Anteil | | 8,0% | 71,3% | 2,8% | 17,9% |

| WZ 2008 | 2019 | | | | |
|--|---------------|----------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------|
| | SvB insgesamt | Ohne Berufsabschluss | Anerkannter Berufsabschluss | Akademischer Berufsabschluss | Keine Angabe |
| Insgesamt | 33.407.262 | 4.093.629 | 20.512.559 | 5.614.208 | 3.186.866 |
| Δ 2013 – 2019 | 12,80% | 25,02% | 11,40% | 48,79% | -20,80% |
| Anteil | | 12,3% | 61,4% | 16,8% | 9,5% |
| Öffentlicher Personennahverkehr (4931+4939) | 220.844 | 22.252 | 168.135 | 12.376 | 18.081 |
| Δ 2013 – 2019 | 9,62% | 11,13% | 9,31% | 52,47% | -7,31% |
| Anteil | | 10,1% | 76,1% | 5,6% | 8,2% |
| 4931 Personenbeförderung im Nahverkehr zu Lande (ohne Taxis) | 161.995 | 16.706 | 125.280 | 9.871 | 10.138 |
| Δ 2013 – 2019 | 7,02% | 4,41% | 6,08% | 46,69% | -3,86% |
| Anteil | | 10,3% | 77,3% | 6,1% | 6,3% |
| 4939 Sonstige Personenbeförderung im Landverkehr a. n. g. | 58.849 | 5.546 | 42.855 | 2.505 | 7.943 |
| Δ 2013 – 2019 | 17,47% | 37,82% | 19,97% | 80,48% | -11,38% |
| Anteil | | 9,4% | 72,8% | 4,3% | 13,5% |

³² Klassifikation der Wirtschaftszweige 2008, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, S. 405, http://www.stifterverband.de/fue/klassifikation_wirtschaftszweige.pdf, zuletzt geprüft am 26.08.2020

³³ <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/StV/Strassenverkehr/fernbusse-liberalisierung.html>, zuletzt geprüft am 26.08.2020

Abbildung 19: Beschäftigungsentwicklung nach Qualifikationsgrad in der Personenbeförderung (Eigene Auswertung, Quelle: Bundesagentur für Arbeit)

Mithin dürfte für öffentliche wie private ÖPNV-Unternehmen vor allem die Zuwachsrate von 7,02 % bei Beschäftigten in der Personenbeförderung im Nahverkehr zu Lande (ohne Taxi) aussagekräftig für die Entwicklung der Beschäftigtenzahlen und der Qualifikationsanforderungen sein. Die Qualifikationsstruktur unterscheidet sich hier strukturell erkennbar von der des gesamtwirtschaftlichen Durchschnitts. Von den 161.995 Beschäftigten des Wirtschaftszweigs verfügen 10,3 % nicht über einen Berufsabschluss. Das sind 2 Prozentpunkte weniger als in der Gesamtwirtschaft. 77,3 % der Beschäftigten verfügen über einen anerkannten Berufsabschluss. Während der Anteil von Beschäftigten mit anerkanntem Berufsabschluss damit höher liegt als in der Gesamtwirtschaft (61,4 %), ist der Anteil von Beschäftigten mit akademischem Berufsabschluss mit 6,1 % deutlich geringer als in der Gesamtheit aller sozialversicherungspflichtigen Beschäftigungsverhältnisse (16,8 %). Die Zuwachsraten nach Qualifikationsniveau zeigen jedoch, dass es auch im ÖPNV offenbar einen deutlich steigenden Anteil von Akademikerinnen und Akademikern gibt. Deren Zahl stieg zwischen 2013 und 2019 um 46,69 % – und damit fast 3 Prozentpunkte über der gesamtwirtschaftlichen Zuwachsrate. Verfügt 2013 noch 4,4 % der Beschäftigten in der Personenbeförderung im Nahverkehr zu Lande über einen akademischen Berufsabschluss, waren es 2019 bereits 6,1 %. Der Anteil von Beschäftigten ohne Berufsabschluss sank zwischen 2013 und 2019 sogar leicht von 10,6 % auf 10,3 %, während der Anteil gesamtwirtschaftlich sogar stieg, von 11,1 % auf 12,3 %.

Eine Auswertung der Entwicklung ausgewählter Berufe im öffentlichen Personenverkehr zeigt, in welchen Berufsgruppen eine besonders starke Dynamik zu verzeichnen ist (Abbildung 20). So stieg die Zahl von Berufskraftfahrerinnen und -fahrern im Personentransport zwischen 2013 und 2019 um 246 %. Zu dieser Gruppe zählen auch Fahrerinnen und Fahrer im Fernbusverkehr³⁴, weshalb für diesen Anstieg, wie zuvor angeführt, vermutlich die Liberalisierung des Fernbusverkehrs verantwortlich sein dürfte. Ebenfalls hohe Zuwachsraten verzeichnen Berufe im Kundenmanagement. In Kernberufen des ÖPNV, bei Bus- und Straßenbahnfahrer/-innen, steigt die Beschäftigtenzahl im Betrachtungszeitraum um 16 %. Den größten Rückgang der Beschäftigtenzahlen erfuhren Aufsichts- und Führungskräfte in der Überwachung und Steuerung des Verkehrsbetriebs. Von 2013 bis 2019 ging diese Zahl bundesweit um 37 % zurück. Auch Berufe in der kaufmännischen und technischen Betriebswirtschaft erfuhren einen Rückgang um 36 %. Die Zahlen deuten an, dass es zu einer Verschiebung der Arbeitskräftenachfrage im ÖPNV kam. Während es im Fahrbetrieb offenbar eine stabile, respektive positive Entwicklung der Arbeitskräftenachfrage gibt, kommt es in den Bereichen Verkehrsüberwachung und Unternehmensverwaltung in den vergangenen Jahren mutmaßlich aufgrund der Digitalisierung von Verwaltungs- und Steuerungsprozessen zu einem Rückgang der Arbeitskräftenachfrage. Einen massiven Anstieg der Beschäftigtenzahlen verzeichnet der Sektor im gleichen Zeitraum jedoch bei Berufen im Kundenmanagement. Die Verschiebung der Arbeitskräftenachfrage zeigt, dass Arbeitsplätze mit starkem Kundenbezug im ÖPNV an Bedeutung gewinnen.

³⁴ https://berufenet.arbeitsagentur.de/berufenet/faces/index;BERUFENETJSESSIONID=Fc0IZy1BlcWYQDyY1Q-DC8h_1hbom77r-XpNfki1AoYLHKYpHYVc!1960291816?path=null/suchergebnisse/kurzbeschreibung&dkz=13794&such=Berufskraftfahrer, zuletzt geprüft am 26.08.2020

| KldB2010 | 2013 | | | | | Wachstum insgesamt 2013 - 2019 |
|---|-----------|----------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------|--------------------------------|
| | Insgesamt | Ohne Berufsabschluss | Anerkannter Berufsabschluss | Akademischer Berufsabschluss | Keine Angabe | |
| Insgesamt | 201.470 | 20.024 | 153.821 | 8.117 | 19.508 | |
| 2521 Berufe in der Kraftfahrzeugtechnik | 6.969 | 780 | 5.760 | 142 | 287 | |
| 2633 Berufe Luftver.,Schiff,Fahrzeugelektron. | 2.379 | 126 | 2.228 | 4 | 21 | |
| 5141 Servicefachkräfte Straßen-,Schienerverk. | 4.415 | 586 | 3.357 | 80 | 392 | |
| 5159 Aufsicht,Führung-Überwach. Verkehrsbetr. | 4.164 | 286 | 3.658 | 115 | 105 | |
| 5211 Berufskraftfahrer(Personentransport/PKW) | 2.278 | 245 | 1.111 | 34 | 888 | |
| 5212 Berufskraftfahrer (Güterverkehr/LKW) | 3.598 | 356 | 2.628 | 24 | 590 | |
| 5213 Bus-, Straßenbahnfahrer/innen | 97.986 | 9.770 | 75.402 | 957 | 11.857 | |
| 5220 Triebfahrzeugführer Eisenbahnverkehr(oS) | 14.118 | | 12.577 | | | |
| 7130 Berufe kaufm.,techn.Betriebswirtsch.(oS) | 7.376 | 672 | 5.785 | 712 | 207 | |
| 7139 Aufsicht,Führung-Untermehmensorg,strateg | 2.251 | | 1.233 | 822 | | |
| 7140 Büro- und Sekretariatskräfte (oS.) | 7.392 | 722 | 5.371 | 513 | 786 | |
| 9213 Berufe im Kundenmanagement | 2.184 | 162 | 1.878 | 63 | 81 | |

| KldB2010 | 2019 | | | | | Wachstum insgesamt 2013 - 2019 |
|---|-----------|----------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------|--------------------------------|
| | Insgesamt | Ohne Berufsabschluss | Anerkannter Berufsabschluss | Akademischer Berufsabschluss | Keine Angabe | |
| Insgesamt | 220.844 | 22.252 | 168.135 | 12.376 | 18.081 | 10% |
| 2521 Berufe in der Kraftfahrzeugtechnik | 6.620 | 777 | 5.459 | 160 | 224 | -5% |
| 2633 Berufe Luftver.,Schiff,Fahrzeugelektron. | 2.048 | | | 12 | | -14% |
| 5141 Servicefachkräfte Straßen-,Schienerverk. | 4.501 | 536 | 3.534 | 148 | 283 | 2% |
| 5159 Aufsicht,Führung-Überwach. Verkehrsbetr. | 2.606 | 170 | 2.225 | 137 | 74 | -37% |
| 5211 Berufskraftfahrer(Personentransport/PKW) | 7.891 | 1.163 | 5.037 | 301 | 1.390 | 246% |
| 5212 Berufskraftfahrer (Güterverkehr/LKW) | 3.109 | 350 | 2.257 | 43 | 459 | -14% |
| 5213 Bus-, Straßenbahnfahrer/innen | 113.815 | 12.243 | 87.524 | 2.428 | 11.620 | 16% |
| 5220 Triebfahrzeugführer Eisenbahnverkehr(oS) | 15.391 | 706 | 13.807 | 346 | 532 | 9% |
| 7130 Berufe kaufm.,techn.Betriebswirtsch.(oS) | 4.737 | 349 | 3.221 | 1.035 | 132 | -36% |
| 7139 Aufsicht,Führung-Untermehmensorg,strateg | 2.440 | 69 | 1.300 | 973 | 98 | 8% |
| 7140 Büro- und Sekretariatskräfte (oS.) | 7.905 | 676 | 5.722 | 925 | 582 | 7% |
| 9213 Berufe im Kundenmanagement | 5.520 | | 4.866 | 140 | | 153% |

Abbildung 20: Beschäftigungsstand und Entwicklung nach Berufen

Mit Blick auf die künftige Entwicklung der Quantität der Arbeitskräftenachfrage bestehen große Unsicherheiten, auch hinsichtlich möglicherweise zu erwartender Substitutionseffekte infolge technischer Veränderungen, wie bspw. die Entwicklung zu teil- bzw. vollautomatisierten Fahrsystemen. Bisherige Untersuchungen zeigen jedoch, dass Berufs- und Tätigkeitsprofile ganz unterschiedlich stark von Substitutionseffekten betroffen sein könnten. Von einem verhältnismäßig hohen Substitutionspotenzial wird bislang bei Tätigkeiten in der technischen Wartung und Instandhaltung von Fahrzeugen und Streckeninfrastruktur sowie beim Fahrpersonal im Bereich von Kleingefäßen (z. B. Taxis) ausgegangen. Für Fahrpersonal von Großgefäßen wie Bussen wird hingegen lediglich ein mittleres Substitutionspotenzial erwartet (Deloitte, 2017, S. 188; Frey & Osborne, 2017).

Es ist nicht davon auszugehen, dass die Einführung teil- bzw. vollautomatisierter Fahrsysteme zu einer weitreichenden Substitution von Beschäftigung im ÖPNV führen wird. Ein sich verändernder Mobilitätssektor dürfte vielmehr zu einem Wandel von Tätigkeitsprofilen von Beschäftigten in ÖPNV-Unternehmen führen. So könnten sich im Zuge eines steigenden Komfortanspruchs Verkehrsunternehmen verstärkt darauf konzentrieren, Services zur Gestaltung des Aufenthalts von Fahrgästen in vollautomatisierten bzw. autonomen Fahrzeugen zu entwickeln und anzubieten. Dadurch könnten mehr Beschäftigte – in ÖPNV-Unternehmen oder in von ÖPNV-Unternehmen beauftragten Dienstleistern – gezielt digitale Informations-, Unterhaltungs- und andere Serviceangebote für Fahrgäste entwickeln, um die Aufenthaltsqualität zu erhöhen und Wegezeiten, z. B. von Pendlerinnen und Pendlern, zu Produktiv- oder Entspannungszeiten werden zu lassen. Rund um eine sich wandelnde Verkehrsinfrastruktur im Zuge der Einführung teil- bzw. vollautomatisierter Fahrsysteme könnten darüber hinaus neue Berufsbilder im Zusammenhang mit der Bereitstellung und Aufrechterhaltung entsprechender digitaler und physischer Infrastruktur entstehen, etwa Ladeinfrastruktur für autonome Elektrofahrzeuge oder digitale Abrechnungssysteme (Deloitte, 2017, S. 186).

Bislang bleiben derartige Untersuchungen zur Zukunft von Berufsbildern noch vage, wohl auch angesichts einer erst längerfristig zu erwartenden Etablierung teil- bzw. vollautomatisierter Fahrsysteme aufgrund des Standes der technischen Entwicklung. Um in einem Umfeld voller Ungewissheiten über die Entwicklung von Schlüsseltechnologien und anderer Fragen, die sich angesichts des Aufkommens neuer Akteure und den Herausforderungen bei der Schaffung intermodaler Mobilitätsplattformen für Unternehmen des ÖPNV stellen, Unternehmen und Beschäftigte zu stärken, wurde unter Beteiligung der Sozialpartner das Projekt ÖPNV 4.0 in Nordrhein-Westfalen in Form eines breiten Partizipationsprozesses durchgeführt. In diesem Projekt wurde unter anderem ein Leitfaden und eine Checkliste für die gemeinsame Gestaltung der Digitalisierung des ÖPNV erarbeitet (ver.di NRW, 2020a, 2020b).

4.2.2 Entwicklungs- bzw. Umsetzungsstand bei der LVB

Die LVB beschäftigt rund 2.500 Menschen in unterschiedlichen Unternehmensbereichen. Die Personalzusammensetzung hat sich in den letzten Jahren kaum geändert. Die Anteile von Fahrdienst, gewerblich-technischen und kaufmännischen Beschäftigten sind überwiegend konstant geblieben (Interview 07). Die Personalplanung bis 2024 sieht in den meisten Unternehmensbereichen keine wesentlichen Veränderungen der Beschäftigtenzahlen vor (Abbildung 22). Lediglich beim Marketing (-14,6 %) und im Bereich Governance und Stäbe (-7,3 %) wird mit einer rückläufigen Zahl von Beschäftigten geplant. In absoluten Zahlen entspricht dies einer Reduktion von Vollzeitäquivalenten um 18,3 % im Bereich Marketing und 3,0 % im Bereich Governance und Stäbe. Im Bereich des Verkehrsmanagements wird ein Zuwachs von 2,9 % (2,2 Vollzeitäquivalente) und in der IT-Serviceeinheit um 8,7 % (3,4 Vollzeitäquivalente) eingeplant.

| Bereiche | Plan 2020 | Plan 2021 | Plan 2022 | Plan 2023 | Plan 2024 |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | Ø VbE normiert |
| Marketing | 125,8 | 109,0 | 109,5 | 107,5 | 107,5 |
| Verkehrsmanagement | 76,4 | 77,4 | 77,6 | 78,6 | 78,6 |
| Fahrzeuge | 287,0 | 283,1 | 281,0 | 279,5 | 279,5 |
| Infrastruktur | 164,9 | 164,9 | 164,9 | 164,9 | 164,9 |
| Fahrservice | 1.245,8 | 1.263,5 | 1.264,2 | 1.273,2 | 1.258,6 |
| EPD * | 124,4 | 124,5 | 124,5 | 124,5 | 124,5 |
| Controlling (Managementeinheit) | 41,9 | 41,9 | 41,9 | 41,9 | 41,9 |
| Einkauf und Logistik (Serviceeinheit) | 37,9 | 39,1 | 37,5 | 37,1 | 37,1 |
| Finanzen und Steuern (Serviceeinheit) | 22,5 | 22,5 | 22,5 | 22,5 | 22,5 |
| Personal und Organisation (Serviceeinheit) | 46,5 | 46,8 | 46,8 | 46,8 | 46,8 |
| Recht (Serviceeinheit) | 22,0 | 22,0 | 22,0 | 22,0 | 22,0 |
| Dienstleistungsmanagement und Service (Serviceeinheit) | 259,3 | 259,2 | 259,2 | 259,2 | 259,2 |
| Governance und Stäbe | 41,4 | 40,6 | 38,4 | 38,4 | 38,4 |
| IT (Serviceeinheit) | 39,5 | 40,9 | 42,9 | 42,9 | 42,9 |
| Gesamt (ohne Auszubildende) | 2.535,1 | 2.535,1 | 2.532,8 | 2.538,8 | 2.524,1 |
| Auszubildende | 118,0 | 134,6 | 134,7 | 131,6 | 131,4 |

Abbildung 21: Personalplanung der LVB bis 2024 nach Angaben der LVB

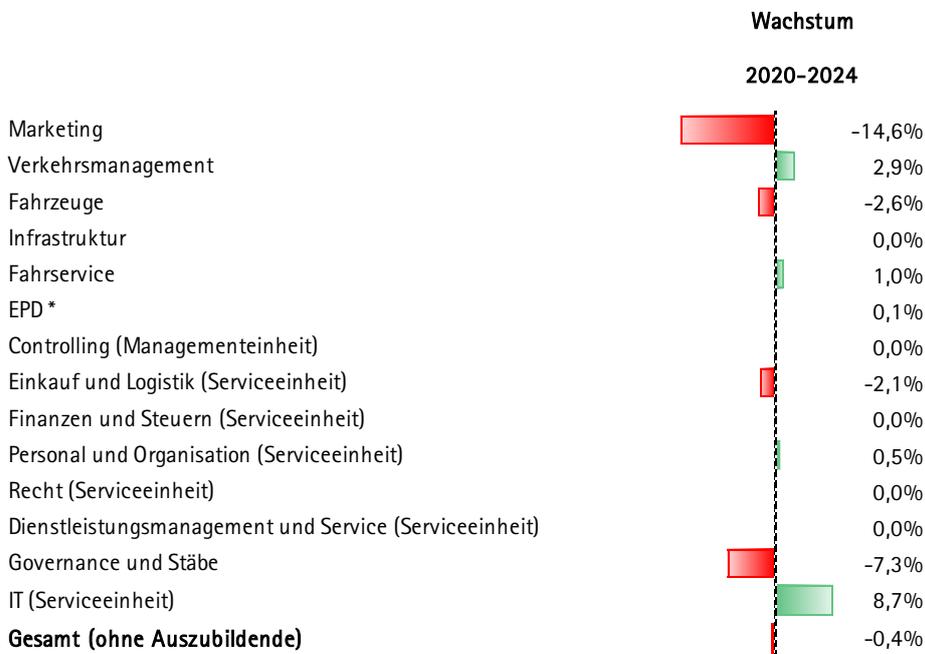


Abbildung 22: Beschäftigungsplanung nach Unternehmensbereichen nach Angaben der LVB

Die LVB geht davon aus, dass sich die Belegschaft insbesondere aufgrund altersbedingten Ausscheidens bis 2030 fast vollständig erneuert haben wird, ausgehend vom Referenzjahr 2018. Das Durchschnittsalter der Beschäftigten liegt aktuell bei 46,8 Jahren (Interview 07).

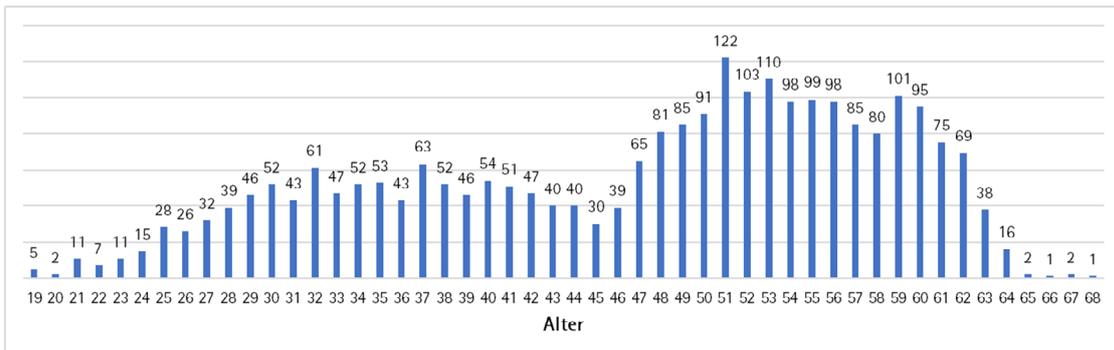


Abbildung 23: Anzahl der Beschäftigten der LVB nach Alter, Stand: Februar 2020

Die Verjüngung des Unternehmens in den kommenden zehn Jahren stellt somit eine große Herausforderung dar. Die Ausbildung im Unternehmen wird von der LVB als priorisiertes Recruitinginstrument verstanden, da insbesondere ausgebildete Fahrerinnen und Fahrer auf dem Markt fast nicht verfügbar sind. Die große Bedeutung, die Beschäftigte mit abgeschlossener Berufsausbildung für das Unternehmen haben, wird deutlich, wenn man sich die Beschäftigtenstatistik nach Qualifikationen anschaut (Abbildung 24).

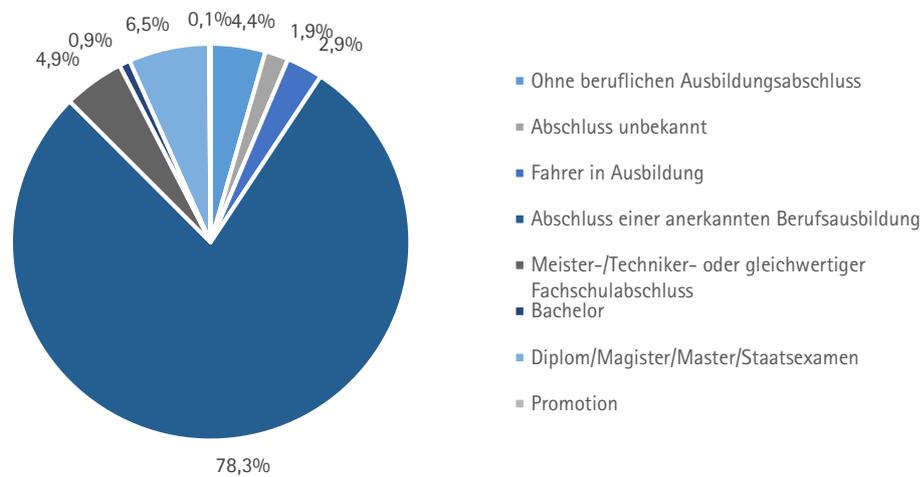


Abbildung 24: Beschäftigte der LVB nach Qualifikation, Stand Februar 2020

Die Abbildung verdeutlicht, dass der überwiegende Anteil der Beschäftigten (78,3 %) über einen Abschluss einer anerkannten Berufsausbildung verfügt. 6,5 % besitzen einen Hochschulabschluss, 4,9 % einen Meister-, Techniker- oder gleichwertigen Fachschulabschluss.

Bei den Bewerberinnen und Bewerbern auf Ausbildungsplätze ist das Einzugsgebiet vorrangig regional, für die Ausbildung zur Fachkraft im Fahrbetrieb gibt es vereinzelt auch überregionale Interessenten. Der Altersdurchschnitt der Bewerberinnen und Bewerber liegt bei 22,75 Jahren. Der Schulabschluss ist als Einstellungskriterium nicht entscheidend. Mehr Bedeutung misst man bei der LVB dem fachlichen Einstellungstest bei. Insgesamt ist ein starker Zuwachs an Bewerberinnen und Bewerbern zu verzeichnen: 2018 waren es 420 Bewerberinnen und Bewerber auf 42 Ausbildungsplätze pro Jahr, 2019 waren es 650 Bewerberinnen und Bewerber. Ein möglicher Grund für den Anstieg könnte einerseits in der aktuellen Nachhaltigkeitsdebatte und dem damit verbundenen Zuspruch zum ÖPNV liegen. Die LVB geht jedoch auch davon aus, dass der Ruf des Unternehmens als Arbeitgeber mit entsprechend hoher Wertschätzung der Auszubildenden einen wesentlichen Einfluss auf die Entwicklung der Zahlen der Bewerberinnen und Bewerber hat (Interview 12).

Kompetenz- und Fachkräftebedarf

Bereits heute spielen digitale Kompetenzen in vielen Bereichen der LVB eine wichtige Rolle (Interview 07), werden jedoch in den kommenden Jahren noch weiter an Bedeutung gewinnen. Künftig wird es neben der Entwicklung und dem Programmieren von Software-Systemen vor allem darum gehen, Beschäftigte zu befähigen, Software in ihrer Funktionalität zu überwachen und Systementscheidungen nachvollziehen zu können (Interview 11). Um Beschäftigte gezielt bei der Weiterentwicklung digitaler Kompetenzen zu unterstützen, stellt sich dem Unternehmen gegenwärtig die Aufgabe, zu erfassen und zu beschreiben, über welche Kompetenzen die Beschäftigten bereits heute verfügen und welche spezifisch nötig werden (Interview 07).

Ein besonderer Bedarf wird für die kommenden Jahre im Bereich von IT-Spezialisten gesehen. Darin besteht eine besondere Herausforderung für die LVB, da das Unternehmen bisher keine Zugänge zu dieser Community besaß. Mittlerweile entstehen entsprechende Zugänge aus den Entwicklungskooperationen mit Fraunhofer und Max-Planck-Instituten. Perspektivisch rechnet die LVB damit, dass sie auch für Hochqualifizierte attraktiver wird, weil sie als Verkehrsunternehmen mit ihrer Rolle für die Gestaltung einer nachhaltigen Mobilitätswende die Chance auf sinnstiftende Aufgaben mit hoher gesellschaftlicher Relevanz bietet (Interview 07).

Neben dem Bedarf an IT-Fachkräften wird auch in den kommenden Jahren ein hoher Bedarf an Fahrpersonal bestehen. Beim Recruiting von Fahrpersonal geht die LVB deshalb neue Wege. So wurde mit externer Unterstützung eine neue Recruiting-Strategie entwickelt, die insbesondere neue kommunikative oder öffentlichkeitswirksame Maßnahmen wie Veranstaltungen (Karrieretag) beinhaltet und schlanke und schnelle Bewerbungs- und Onboarding-Prozesse ermöglicht. Die signifikante Erhöhung der Bewerbungszahlen für den Fahrdienst führt man auch darauf zurück (Interview 07).

4.2.3 Ergebnisse der Onlinebefragung

Wie in Kapitel 4.2.1 deutlich wurde, liegen bislang kaum Erfahrungen über die Auswirkungen der Einführung teil- bzw. vollautomatisierter Fahrsysteme im ÖPNV auf die Beschäftigten vor, da entsprechende Technologien noch nicht den notwendigen Reifegrad erreicht haben, um flächendeckend im ÖPNV eingesetzt zu werden. Um sich einer Abschätzung der künftigen Entwicklung im Bereich Beschäftigung anzunähern, wurden die Expertinnen und Experten im Rahmen der Online-Befragung um ihre Einschätzung zu künftigen Veränderungen im Tätigkeitsprofil von Beschäftigten im ÖPNV und zu den an sie gestellten Anforderungen gebeten.

Grundsätzlich halten 76 % der Befragten die Deckung des nötigen Fachkräftebedarfs infolge der Entwicklung zum autonomen Fahren für eine relevante oder sehr relevante Herausforderung für die kommenden 10 bis 20 Jahre (Abbildung 11). Diese Einschätzung deutet bereits darauf hin, dass die Befragten keineswegs den Wegfall von Arbeitsplätzen als dominierende Konsequenz teil- bzw. vollautomatisierter Fahrsysteme ansehen (Abbildung 25).

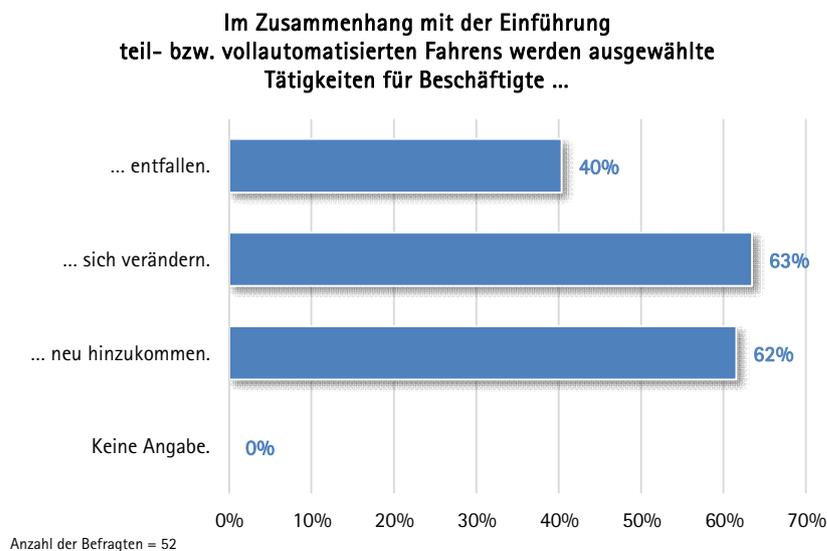


Abbildung 25: Ergebnis der Onlinebefragung – Auswirkungen des teil- bzw. vollautomatisierten Fahrens auf Tätigkeiten

So rechnen nur 40 % der Expertinnen und Experten mit einem Wegfall ausgewählter Tätigkeiten für Beschäftigte. Vielmehr gehen 63 % davon aus, dass sich bestehende Tätigkeiten für Beschäftigte verändern dürften. 62 % rechnen sogar damit, dass auf Beschäftigte im ÖPNV neue Tätigkeiten hinzukommen werden.

Um näher zu erfahren, welche Veränderungen im Tätigkeitspektrum von Beschäftigten die Expertinnen und Experten konkret erwarten, wurden sie gebeten, näher auszuführen, welche ausgewählten Tätigkeiten ihrer Einschätzung nach künftig entfallen, welche sich verändern und welche hinzukommen werden.



Abbildung 26: Wordcloud der zwölf häufigsten Begriffe aus den Freitext-Antworten der Expertinnen und Experten, wegfallende Tätigkeiten (Eigene Erhebung, Visualisierung: Wordl.net)

Abbildung 26 zeigt die zwölf häufigsten Antworten mit der entsprechenden Wichtung in Form der Schriftgröße, die die Befragten auf die Frage „Welche Tätigkeiten werden Ihrer Meinung entfallen?“ gaben. Wie die Visualisierung andeutet, gehen die Expertinnen und Experten davon aus, dass im Zuge der Einführung teil- bzw. vollautomatisierter Fahrsysteme vor allem Tätigkeiten im Bereich des Fahrpersonals entfallen werden. Neben Fahrzeugführerinnen und Fahrzeugführern von Bussen und Straßenbahnen, die zunächst für einzelne Strecken durch technische Systeme ersetzt werden oder nur noch zur Fahrtüberwachung eingesetzt würden, könnten im Fahrdienst auch Kontrolltätigkeiten entfallen. Nach Experteneinschätzung können darüber hinaus auch Tätigkeiten im Bereich des Tankens, Waschens und Abstellens von Fahrzeugen entfallen.

Abbildung 27 zeigt die zwölf häufigsten Wörter aus den Antworten auf die Frage „Welche Tätigkeiten werden sich Ihrer Meinung nach verändern?“. Auf den ersten Blick erkennbar wird, dass auch mit Blick auf sich wandelnde Tätigkeiten Fahrerinnen und Fahrer im Fokus der Betrachtung stehen.



Abbildung 27: Wordcloud der zwölf häufigsten Begriffe aus den Freitext-Antworten der Expertinnen und Experten, sich verändernde Tätigkeiten (Eigene Erhebung, Visualisierung: Wordl.net)

Die Expertinnen und Experten sehen eine Verschiebung der Tätigkeiten des Fahrpersonals weg von der Fahrzeugführung hin zu Kontroll- und Überwachungstätigkeiten, die Beschäftigte sowohl im Fahrzeug als auch aus der Leitstelle heraus übernehmen. So gehen die Expertinnen und Experten davon aus, dass sich Anforderungen an Tätigkeiten im Bereich der Verkehrsleitung erhöhen. Hier könnten demnach auch Personen zum Einsatz kommen, die zuvor Aufgaben im Fahrdienst übernommen haben. Die steigende Komplexität technischer Systeme dürfte darüber hinaus auch zu erheblichen Veränderungen von Tätigkeiten der Beschäftigten in der technischen Instandhaltung auf den Betriebshöfen führen. Ein größerer Software-Anteil an der technischen Infrastruktur lässt Tätigkeiten im Bereich der Informationstechnik erwarten.

Abbildung 28 zeigt die zwölf häufigsten Wörter aus den Antworten der Expertinnen und Experten auf die Frage „Welche Tätigkeiten kommen Ihrer Meinung nach neu hinzu?“. Aus der Abbildung werden bereits wesentliche Schwerpunkte der Einschätzung deutlich. So gehen die Befragten davon aus, dass im Bereich der Wartung und der Überwachung von Systemen neue Tätigkeiten hinzukommen.



Abbildung 28: Wordcloud der zwölf häufigsten Begriffe aus den Freitext-Antworten der Expertinnen und Experten, neu hinzukommende Tätigkeiten (Eigene Erhebung, Visualisierung: Wordl.net)

Dabei geht es um Tätigkeiten in der Einrichtung, im Betrieb und der Wartung der Systeminfrastruktur. Neben diesen stark technologiebezogenen Tätigkeiten rechnen die Expertinnen und Experten damit, dass interaktionsbezogene Tätigkeiten hinzukommen. Konkret geht es dabei um die Bereitstellung von On-Board-Services, z. B. Informations-, Unterhaltungsleistungen, gastronomischer Service, und um Unterstützungsleistungen für Fahrgäste mit körperlicher Beeinträchtigung.

Die Expertinnen und Experten wurden auch zur zeitlichen Perspektive der Veränderung von Berufsbildern im ÖPNV befragt. Dabei bestätigte sich angesichts des gegenwärtig noch geringen Reifegrades zentraler Schlüsseltechnologien im Bereich teil- bzw. vollautomatisierter Fahrsysteme, dass ein Relevanzverlust oder der Wegfall bestehender Berufsbilder von den Befragten frühestens bis 2030 oder später erwartet wird (Abbildung 29). Nur 18 % gehen von einer entsprechenden Entwicklung bis spätestens 2025 aus.

Im Zusammenhang mit der Einführung teil-bzw. vollautomatisierten Fahrens verlieren bestehende Berufsbilder an Relevanz oder entfallen gänzlich.

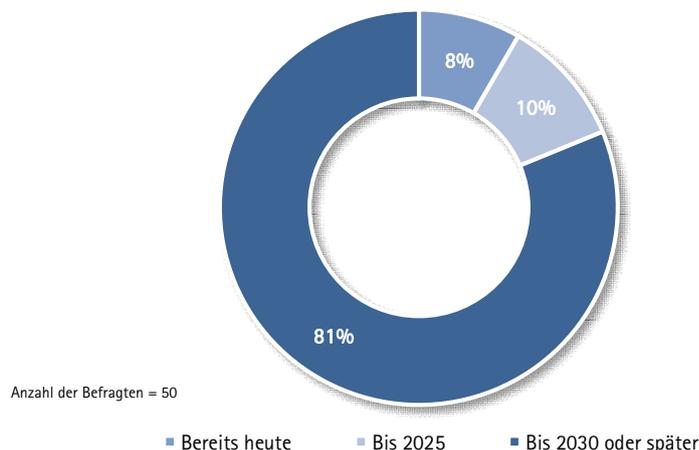


Abbildung 29: Ergebnis der Onlinebefragung – Relevanzverlust und Wegfall von Berufsbildern

Die Befragungsergebnisse deuten an, dass neue Berufsbilder möglicherweise deutlich früher entstehen könnten als bisherige Berufsbilder an Relevanz verlieren oder wegfallen. Damit würde sich ein Zeitfenster von

einigen Jahren ergeben, in dem der Übergang von solchen Berufsbildern mit abnehmender Relevanz zu solchen, die neu entstehen, auch für Bestandsbeschäftigte möglich würde. 44 % der Befragten geben an, dass im Zusammenhang mit der Einführung teil- bzw. vollautomatisierter Fahrsysteme bereits bis 2025 neue Berufsbilder entstanden sein werden (Abbildung 30). Eine Mehrheit von 56 % der Befragten rechnet damit bis 2030 oder später.

Im Zusammenhang mit der Einführung teil- bzw. vollautomatisierten Fahrens werden neue Berufsbilder entstehen.

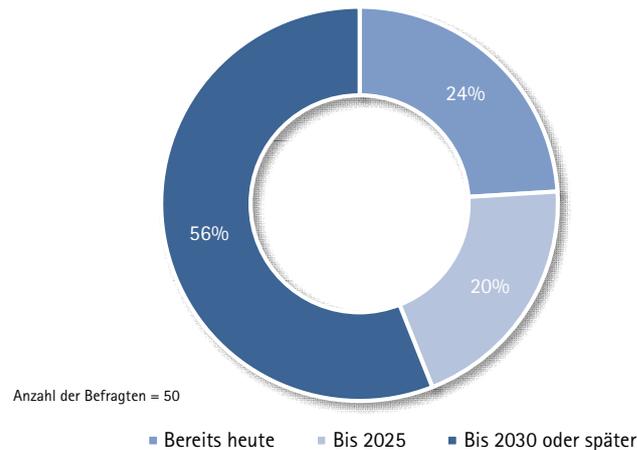


Abbildung 30: Ergebnis der Onlinebefragung – Neu entstehende Berufsbilder

Mit Blick auf die Qualifikationsanforderungen im ÖPNV erwarten die befragten Expertinnen und Experten, dass sich der bereits in den vergangenen Jahren abzeichnende Trend eines steigenden Qualifikationsniveaus in der Branche (Kapitel 4.2.1) weiter fortsetzen wird. 81 % rechnen mit einer Zunahme oder einer starken Zunahme des Anteils von Beschäftigten mit Hochschulabschluss (Abbildung 31), nur 19 % erwarten hier keine Veränderung. Bei Beschäftigten mit beruflicher Ausbildung gehen die Expertinnen und Experten eher von einem gleichbleibenden Anteil aus. Nur 37 % erwarten eine Zunahme oder starke Zunahme, 50 % einen gleichbleibenden Anteil. Demgegenüber rechnen die Expertinnen und Experten mit einem sinkenden Anteil an Beschäftigten ohne berufliche Ausbildung: 70 % erwarten eine Abnahme oder starke Abnahme.

In Unternehmen des öffentlichen Nahverkehrs wird der Anteil an ...

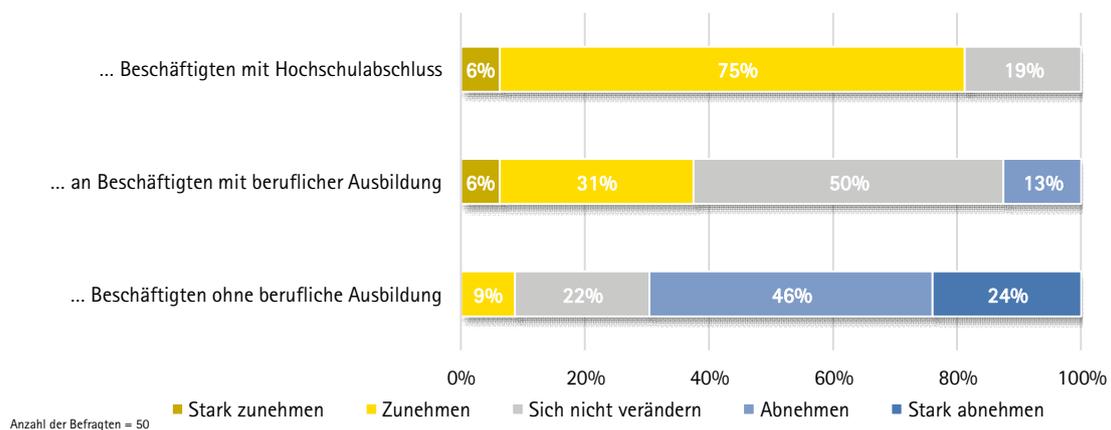


Abbildung 31: Ergebnis der Onlinebefragung – Entwicklung des Qualifikationsniveaus

Mit Blick auf eine Auswahl der in der Branche vertretenen Ausbildungsberufe wurden die Expertinnen und Experten um eine Einschätzung gebeten, wie sich der Bedarf an Beschäftigten der jeweiligen Berufe durch die Einführung teil- bzw. vollautomatisierter Fahrsysteme verändern wird. Dabei zeigt sich deutlich, welche Berufe künftig stärker und welche künftig weniger nachgefragt sein dürften (Abbildung 32).

Bedarf besteht demnach im Bereich elektrotechnischer und mechatronischer Berufe. 90 % der Befragten gehen davon aus, dass sich der Bedarf an IT-System-Elektronikern/-innen erhöhen wird. 79 % geben an, Kommunikationselektroniker/-innen würden künftig stärker benötigt. Bei Elektromechaniker/-innen gehen 73 %, bei Mechatroniker/-innen und Kraftfahrzeugmechatronikern/-innen 63 % und bei Fahrzeugelektrikern/-innen noch 52 % der Expertinnen und Experten von einem zunehmenden Bedarf aus, sprich, Beschäftigte mit diesem Ausbildungshintergrund werden künftig stärker gefragt sein.

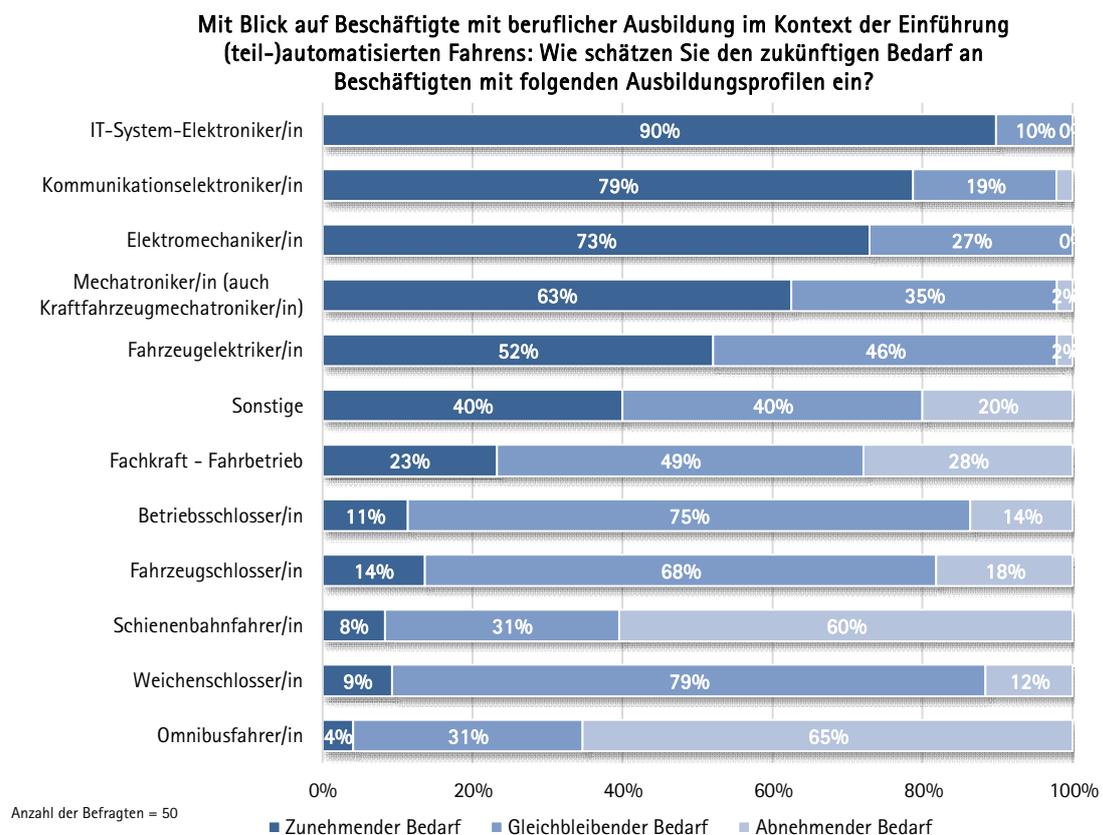


Abbildung 32: Ergebnis der Onlinebefragung – Künftiger Bedarf ausgewählter Ausbildungsberufe

In Schlossereiberufen sehen die Teilnehmenden der Befragung eher einen gleichbleibenden Bedarf. Abnehmenden Bedarf sehen die Expertinnen und Experten vor allem bei Berufen im Fahrbetrieb (Schienenbahnfahrzeugführern/-innen, Omnibusfahrern/-innen). Einzig für die Fachkraft im Fahrbetrieb zeigt sich ein abweichendes Bild. Hier erwarten 59 % einen gleichbleibenden Bedarf. Damit deuten die Ergebnisse in Bezug auf Berufe im Fahrbetrieb bereits einen möglichen Trend und eine damit für die Beschäftigten verbundene Perspektive an. Im Gegensatz zum Beruf Schienenbahnfahrer/-in und Omnibusfahrer/-in handelt es sich bei der Fachkraft im Fahrbetrieb um eine dreijährige duale Ausbildung. Das Qualifikationsniveau und das Tätigkeitsspektrum der Fachkraft im Fahrbetrieb ist deutlich größer. Sie wird zwar auch als FahrerIn bzw. FahrerIn auf Bussen und Schienenfahrzeugen eingesetzt. Im Gegensatz zum sonstigen Fahrpersonal übernimmt sie jedoch auch darüber hinausgehende Aufgaben: „Im Innendienst organisieren sie den Fahrzeugpark und planen den Personaleinsatz. Außerdem wirken sie bei Kalkulationen, Marketingmaßnahmen, z. B. zur Verkaufsförderung und Kundenbindung, sowie der Fahrplangestaltung mit und sind in der Öffentlichkeitsarbeit tätig. Im

technischen Service sorgen sie für die Betriebs- und Einsatzbereitschaft der Fahrzeuge." (Bundesagentur für Arbeit, 2020).

Insbesondere die Kombination aus einer Ausbildung im Fahrdienst, technischen Inhalten und kaufmännisch-dispositiven Aufgaben dürften Beschäftigte dieses Berufes perspektivisch befähigen, um den sich verändernden Anforderungen infolge der Einführung teil- bzw. vollautomatisierter Fahrsysteme anzupassen.

5 Zusammenführung der Ergebnisse und Ableitungen

5.1 Das Wichtigste im Überblick

Die Ergebnisse aus Literaturobwertung, Interviews und Befragung machen in ihrer integrierten Betrachtung deutlich, dass der Weg zum autonomen Fahren sowohl im schienengebundenen als auch im straßengebundenen ÖPNV noch sehr weit ist. Doch konnte gezeigt werden, dass in der Entwicklung hin zum autonomen Fahren bereits in den Zwischenstufen des assistierten und teilautomatisierten Fahrens der ÖPNV-Unternehmen im Hinblick auf Arbeitsorganisation, Qualifikationsanforderungen und Berufsbilder eine grundlegende Transformation erwartet werden kann. Zahlreiche Herausforderungen in verschiedenen Bereichen sind in der Entwicklung zu einer flächendeckenden Einführung des teil- bzw. vollautomatisierten bzw. autonomen Fahrens im ÖPNV zu bewältigen. Nachfolgend werden die wichtigsten Ergebnisse der vorliegenden Studie in Form zentraler Thesen zur weiteren Entwicklung des ÖPNV zusammengeführt.

Technologische Weiterentwicklungen und regulatorischer Rahmen:

- Die technischen Grundlagen für die Realisation teil- bzw. vollautomatisierter Fahrsysteme müssen entwickelt und zur Marktreife gebracht werden. Dies gilt zuvorderst für die Fahrzeugsensorik zur Bestimmung von Position, Geschwindigkeit und Bewegungsrichtung. Insbesondere für den straßengebundenen ÖPNV liegen hier noch große Herausforderungen vor den Entwicklerinnen und Entwicklern.
- Speziell im Segment schienengebundener Fahrzeuge hinkt die Entwicklungsgeschwindigkeit der Hersteller den Erfordernissen an neue Fahrzeuggenerationen hinterher. Sie stellen nicht bzw. nicht in der notwendigen Geschwindigkeit Fahrzeuge zur Verfügung, die mittels entsprechender Schnittstellen eine nachträgliche Aufrüstung mit Sensorik und moderner Steuerungstechnologie ermöglichen. Im Bussegment ist der Entwicklungsdruck seitens der Hersteller aufgrund der Ähnlichkeiten zur Fahrzeugtechnik für den Individualverkehr deutlich größer. Doch auch bei Bussen ist bislang ein unzureichendes Interesse der etablierten Hersteller an der Entwicklung serienreifer Fahrzeuggenerationen mit entsprechenden Assistenzsystemen zu beobachten. Insbesondere für Fahrzeuge mit mehr als 10 Metern Länge hinkt die Dynamik der Entwicklung den Erfordernissen von ÖPNV-Unternehmen hinterher. Ein Grund dafür ist der hohe Wettbewerbsdruck im Bereich der alternativen Antriebstechnologien, weshalb sich die Entwicklungsarbeit der Hersteller derzeit stark auf diesen Bereich fokussiert.
- Eine langfristige Entwicklungs- und Investitionsstrategie von Herstellern und ÖPNV-Unternehmen erfordert Planungssicherheit bei der Gestaltung rechtlicher Rahmenbedingungen. Nur wenn feststeht, welche Rahmenbedingungen neu zu entwickelnde Fahrzeugtechnologien einhalten müssen, kann sich die notwendige Entwicklungsdynamik entfalten. Die mit der Konzertierte Aktion Mobilität angekündigte Anpassung des Rechtsrahmens ist ein wichtiger Schritt, der deutlich macht, dass der ÖPNV einer der ersten Anwendungsbereiche für den Einsatz hochautomatisierter Fahrzeuge sein wird.
- Trotz bestehender staatlicher Förderung verbleibt ein hoher finanzieller Druck bei den ÖPNV-Unternehmen. Belastungen bestehen besonders durch Kosten für Fuhrparkerneuerungen, die Auf- bzw. Umrüstung von Fahrzeugen und den Aufbau entsprechender Infrastruktur.

Veränderungen von ÖPNV-Unternehmen und Geschäftsmodellen:

- Veränderungsprozesse im Zuge der Entwicklung zum teil- bzw. vollautomatisierten bis zum autonomen Fahren im ÖPNV bedürfen einer zweifachen Akzeptanz: Beschäftigte müssen Transformationsprozesse mittragen, damit diese erfolgreich sind. Nutzende müssen bereit sein, neue Angebote und Mobilitätsformen anzunehmen.
- Die Integration gänzlich neuer Mobilitätsangebote, z. B. autonomer Fahrzeugflotten, in bestehende Geschäftsmodelle von ÖPNV-Unternehmen stellt eine erhebliche Herausforderung an das Management und die Beschäftigten dar.
- Das Wettbewerbsumfeld für ÖPNV-Unternehmen verschärft sich durch neue Dienstleister am Markt. Bereits heute nur bedingt kostendeckende Preisstrukturen geraten dabei zusätzlich unter Druck.
- Lange Lebenszyklen im Fahrzeugbestand führen zu langen Beschaffungszyklen für Neufahrzeuge, insbesondere im schienengebundenen Verkehr.
- Bereits heute müssen ÖPNV-Unternehmen einen doppelten Transformationsprozess bewältigen: Der Mobilitätssektor erlebt aktuell sowohl durch steigende Anforderungen an die Nachhaltigkeit von Antriebskonzepten als auch durch die Vernetzung von Verkehrsträgern grundlegende Veränderungen.

Auswirkungen auf Arbeit und Beschäftigung

- Im ÖPNV dürfte es zu einer Verschiebung der Arbeitskräftenachfrage innerhalb der verschiedenen Unternehmensbereiche hin zu Arbeitsplätzen mit einem starken Bezug zu Kundinnen und Kunden im ÖPNV kommen.
- Hinweise auf einen weitreichenden Arbeitsplatzabbau infolge der Einführung autonomer Fahrsysteme gibt es auch langfristig nicht. Unsicherheiten über die perspektivische Entwicklung der Quantität der Arbeitsnachfrage durch das Ausmaß etwaiger Substitutionseffekte lassen sich jedoch zum jetzigen Zeitpunkt nicht ausräumen.
- Steigende Komfortanforderungen von Fahrgästen und die Einführung hochautomatisierter Fahrzeuge führen zu einer Verschiebung des Tätigkeitsprofils von Beschäftigten.
- Neue Berufsbilder entstehen beispielsweise im Zusammenhang mit der Bereitstellung und Aufrechterhaltung digitaler und physischer Infrastruktur für (teil-)automatisierte und autonome Fahrsysteme, die an Relevanz gewinnt.
- Sich wandelnde Berufsbilder, u. a. infolge technologischer Entwicklung neuer Fahrsysteme, erfordern künftig eine grundlegende Anpassung der Ausbildung von Fahrerinnen und Fahrern.
- Steigende mentale Beanspruchung des Fahrpersonals droht überall dort, wo ihm Entscheidungsbefugnisse entzogen und hochautomatisierten Systemen übertragen werden. Beschäftigte drohen in eine Passivitätsfalle zu geraten.
- Im Falle menschlichen Eingreifens bei automatisierten Fahrsystemen droht eine reduzierte Übernahmeleistung bei begrenzter Übernahmezeit durch mentale Überlastung.
- Die dauerhafte Entlastung des Fahrpersonals von wesentlichen Aufgaben der Fahrzeugsteuerung führt potenziell zu Kompetenzverlust.
- Nicht nur für Unternehmen, sondern auch für Beschäftigte ist die Schaffung eines klaren rechtlichen Ordnungsrahmens erforderlich. Für Beschäftigte im Fahrdienst geht es dabei vor allem um Haftungsfragen beim Einsatz als Operator in teil- bzw. vollautomatisierten Fahrzeugen.

5.2 Ansatzpunkte zur weiteren Diskussion

Die Einführung (teil-)automatisierter und autonomer Fahrsysteme wird in den kommenden 20 Jahren zu einer grundlegenden Transformation im ÖPNV führen. Zugleich sieht sich der ÖPNV steigenden Anforderungen ausgesetzt: So kommt ihm bei der Verkehrswende und bei der Erreichung der Klimaziele eine besondere Bedeutung zu. Darüber hinaus beeinflussen Demografie und steigende Komfortbedürfnisse der Nutzenden das Umfeld, in dem sich der ÖPNV zu bewähren hat. Dies betrifft nicht nur ÖPNV-Unternehmen und Nutzende. Im Fokus des Transformationsprozesses stehen vor allem Beschäftigte. Sie sind es, die in den Unternehmen Veränderungsprozesse gestalten und tragen. Sie sind es auch, die sich in einem sich verändernden Arbeitsumfeld bewähren, neue Kompetenzen aufbauen und flexibel sein müssen, sich auf neue Aufgaben und Herausforderungen einstellen müssen. Jenseits von Unternehmen und Beschäftigten ist der ÖPNV wie kaum eine andere Branche hochgradig eingebettet in ein politisch-administratives Umfeld, in dem politische Willensbildung und Entscheidungsfindung wesentlich über Mission und Handlungsspielräume der Unternehmen bestimmen. So ist die Entwicklung der Branche, wie die Gestaltung von Arbeitsbedingungen, eine gesamtgesellschaftliche Herausforderung. Deshalb adressieren die folgenden Ansatzpunkte ein breites Spektrum relevanter Akteure, die künftige Herausforderungen nur gemeinsam erfolgreich bewältigen können.

Die 2020er-Jahre: Das Gestaltungsjahrzent

Zwar dürfte mit der Einführung vollautonomer Fahrsysteme bei straßengebundenem Verkehr frühestens in den 2030er-Jahren zu rechnen sein. Dennoch ist dringender Handlungsbedarf geboten, wenn die Wettbewerbsfähigkeit von ÖPNV-Unternehmen langfristig gesichert, die Leistungsfähigkeit des ÖPNV gewährleistet und Beschäftigte in die Lage versetzt werden sollen, die anstehenden Veränderungen nachzuvollziehen und mitzugestalten. In den kommenden zehn Jahren werden die Weichen gestellt, die darüber entscheiden, wie die Zukunft des ÖPNV und seiner Beschäftigten bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts aussehen wird. Nachfolgend werden aus den in dieser Studie gewonnenen Erkenntnissen Ansatzpunkte für Unternehmen, Gewerkschaften, Kommunen, die Bundes- und Landesebene beschrieben.

Zukunftskonsens schaffen

Im Zuge der Digitalisierung von Wirtschaft und Gesellschaft wird intensiv über die Fragen diskutiert, welche Ordnungsprinzipien aus der analogen Welt auf digitale Räume zu übertragen sind und welche neuen Regeln geschaffen werden müssen. Die Digitalisierung, der demografische Wandel und steigende Anforderungen an die Nachhaltigkeit von Mobilität stellen auch an analoge öffentliche Räume neue Anforderungen: Wie werden Städte der Zukunft gestaltet? Wie sieht das Stadt-Land-Verhältnis in Zukunft aus? Wie werden die Quartiere der Zukunft aussehen? Diese Fragen sind gesellschaftlich hoch umstritten. So entzündeten sich etwa an der Frage autofreier Innenstädte ideologisch geführte Grundsatzdebatten. Dabei ist eine Einigung über diese Aspekte dringend geboten. Schließlich beeinflussen die Antworten auf diese Fragen wesentlich die Bedingungen, unter denen ÖPNV-Unternehmen als Schlüsselakteure der Verkehrswende ihre Strategie ausrichten und technologische Veränderungen, wie die Einführung teil- bzw. vollautomatisierter Fahrsysteme, gestalten. Daher ist es notwendig, einen gesellschaftlichen Diskurs darüber zu befördern, wie öffentliche Räume künftig gestaltet werden sollen. Der **Bund** ist hier in der Pflicht, Länder und Kommunen bei der Schaffung von Dialogplattformen zu unterstützen und seinerseits in Bezug auf überregionale Verkehrswege, wie Bundesfernstraßen und Schieneninfrastruktur, diesen Dialogprozess mit voranzutreiben. Auf regionaler Ebene erscheint es zielführend, wenn die **Länder** einen Beteiligungsprozess etablieren, der – unter Einbezug aller relevanten Stakeholder – einen Dialogprozess mit dem Ziel initiiert, bis spätestens zur Mitte des Jahrzehnts einen landesweiten „Konsens für die Gestaltung öffentlicher Räume“ zu schaffen. Ein zum Konsens über die Gestaltung öffentlicher Räume führender Beteiligungsprozess muss landesweit und mit allen **Kreisen** und **kreisfreien Städten** erfolgen. Ziel ist die Schaffung gemeinsamer Leitbilder, etwa in Form von Szenarien für die Zukunft öffentlicher Räume, zur Entwicklung einer langfristigen, integrierten Stadt- und Verkehrsplanung unter Einbezug aller relevanten Anspruchsgruppen.

Rahmenbedingungen für einen zukunftsfähigen ÖPNV

Um frühzeitig die notwendigen Rahmenbedingungen für die Gestaltung eines zukunftsfähigen ÖPNV zu setzen, müssen wesentliche regulative Fragen in Bezug auf den Einsatz derartiger Fahrsysteme beantwortet werden. Hierzu zählt insbesondere die Klärung rechtlicher Rahmenbedingungen, auch für den Einsatz solcher Systeme bei Fahrten mit höheren Geschwindigkeiten. Genehmigungsprozesse sind teils sehr aufwendig, je nach Verwaltungspraxis der zuständigen Stellen. Daher ist der **Bund** in der Pflicht, eine Debatte über notwendige regulatorische Maßnahmen einzuleiten. In einem gemeinsamen Dialogprozess von Expertinnen und Experten aus Wissenschaft und Praxis sowie mit Vertreterinnen und Vertretern von Beschäftigten und Fahrgästen können Lösungsansätze entwickelt werden, wie die regulatorischen Voraussetzungen, ausgehend von der derzeitigen Rechtslage, weiterzuentwickeln sind. Die **Wissenschaft** kann diesen Dialogprozess aktiv begleiten, indem sie, ausgehend von der technischen Entwicklung, unterschiedliche Szenarien für die technische Eindämmung von Unfällen entwirft.

Innovationsfähigkeit von ÖPNV-Unternehmen stärken

Um den Transformationsprozess des Mobilitätssektors hin zum teil- bzw. vollautomatisierten und autonomen Fahren zu bewältigen, müssen die **ÖPNV-Unternehmen** ihre Innovations- und Adaptionfähigkeit erhöhen. Ein Weg dahin ist, bereits vollzogene und gegenwärtige Technologieeinführungsprozesse zu dokumentieren, auszuwerten und bereits heute bei technischen Veränderungsprozessen Strategien zu erproben, wie im Unternehmen Innovation partizipativ und unter frühzeitiger Einbindung der Beschäftigten gestaltet werden kann. Gerade vor dem Hintergrund langer Beschaffungszyklen und begrenzter finanzieller Ressourcen müssen ÖPNV-Unternehmen durch aktive Beobachtung des Marktes und der technischen Entwicklung Entwicklungspfade erkennen und eine langfristige Strategie entwickeln – auch in Bezug auf die Anpassung des eigenen Geschäftsmodells unter potenziell veränderten Markt- und Wettbewerbsbedingungen. Nur so können ÖPNV-Unternehmen frühzeitig auf etwaige Marktveränderungen reagieren, z. B. durch die Einführung eigener autonomer Fahrzeugflotten. Ein Schlüssel zur Erhöhung der Innovations- und Adaptionfähigkeit von ÖPNV-Unternehmen ist die Entwicklung einer Trial-and-Error-Kultur, die das proaktive Beschreiten neuer Wege goutiert und das Scheitern innovativer Ansätze unterhalb der Schwelle einer Gefährdung der wirtschaftlichen Existenz des Unternehmens als willkommene Voraussetzung für das Gelingen von Transformation etabliert. Dies kann etwa durch den Aufbau von Kooperationsbeziehungen mit IT-Dienstleistenden, Start-ups und Anbietenden wissensintensiver Dienstleistungen gelingen. Auch die Nutzung von Corporate-Start-ups kann zur Steigerung der Innovations- und Adaptionfähigkeit beitragen – also der Aufbau unternehmensinterner, organisatorisch selbstständiger Einheiten, die gezielt die Arbeitsprinzipien des eigenen Unternehmens überwinden, um so neue Prozesse und Services zu entwickeln und neue Arbeitsformen zu erproben. ÖPNV-Unternehmen werden ihre Innovations- und Adaptionfähigkeit nur dann in dem notwendigen Maße erhöhen können, wenn sie auch die bereits im Unternehmen liegenden Potenziale heben. Dabei können ÖPNV-Unternehmen vor allem das Potenzial akademischer Quereinsteigerinnen und -einsteiger im Fahrdienst stärker nutzen. Dort, wo bereits heute Entwicklungsprojekte stattfinden, z. B. zur Entwicklung und Erprobung neuer Technologien oder zur organisatorischen Weiterentwicklung des Unternehmens, müssen bestehende Aktivitäten – wann immer möglich – konsequent miteinander verschränkt und so Synergien genutzt werden. Dabei gilt, dass auch Beschäftigte, die in diese Entwicklungsprojekte nicht unmittelbar eingebunden sind, kontinuierlich informiert und, wo immer sinnvoll und soweit möglich, punktuell einbezogen werden. So könnten etwa thematische Abteilungs- oder Betriebsversammlungen oder interne Fokus-Gruppen dazu beitragen, an neuralgischen Punkten großer Entwicklungsprozesse Beschäftigte zu Beteiligten zu machen.

Wissenschaft und Forschung können ÖPNV-Unternehmen durch die Untersuchung von im Kontext teil- bzw. vollautomatisierter Fahrsysteme relevanten, praktischen Fragestellungen bei der Verbesserung ihrer Innovations- und Adaptionfähigkeit unterstützen. So stellt sich für die Human-Factor-Forschung weiterhin die Frage, wie Mensch-Maschine-Schnittstellen bei Überwachungstätigkeiten gestaltet werden können. Notwendig erscheinen am konkreten Anwendungsfeld ÖPNV-orientierte Forschungsprojekte, die, ausgehend von einer dif-

ferenzierten Analyse der Tätigkeiten im Fahrdienst und einer anschließenden Potenzialanalyse für die Entwicklung technischer Assistenz für bestimmte Aufgaben, wichtige Erkenntnisse und Orientierung für Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträger in ÖPNV-Unternehmen liefern. Auch bei der schrittweisen Einführung teil- bzw. vollautomatisierter Fahrsysteme bedarf es einer engen wissenschaftlichen Begleitung, um in Pilotprojekten frühzeitig relevante Erkenntnisse aus der Praxis zu nutzen.

Förderung und Ausgestaltung von Entwicklungsprojekten vorantreiben

Bei der Gestaltung der eigenen Entwicklungsarbeit müssen **ÖPNV-Unternehmen** bestehende Gestaltungsspielräume nutzen, bevor entscheidende Veränderungen im Marktumfeld eingetreten sind. So muss es heute darum gehen, digitale Kundenschnittstellen zu professionalisieren und zu optimieren. Nur wenn ÖPNV-Unternehmen bei intuitiver und barrierefreier Bedienung, ganzheitlicher Abbildung von Mobilitätsketten und hoher Zuverlässigkeit auf nahezu allen Endgeräten mit konkurrierenden Mobilitätsanbietern mithalten, können sie langfristig die Akzeptanz bei bestehenden Gruppen von Nutzenden sichern. Vor allem ist die Gestaltung der digitalen Kundenschnittstelle jedoch entscheidend für die langfristige Akzeptanz von ÖPNV-Angeboten dort, wo sie bislang nicht oder nur in geringem Maße genutzt werden.

Die **Länder** sollten bei der Unterstützung des Transformationsprozesses im ÖPNV stärker als bislang kleinteilige, projektbezogene Förderung agiler ausrichten, um größere Innovationsvorhaben zu erleichtern. Dabei kommt es vor allem darauf an, administrativ flexiblere Förderrichtlinien zu entwickeln, die z. B. das Prinzip der fixen Jahresscheiben bei den zu fördernden Ausgaben flexibilisieren. Inhaltlich ist für die Weiterentwicklung des ÖPNV in Richtung teil- bzw. vollautomatisierter Fahrsysteme die Verfügbarkeit von Systemen mit einer professionellen Fahr- bzw. Steuerungszentrale zentral – unabhängig davon, ob diese bei dem jeweiligen Verkehrsträger fahrzeug- und netzseitig konzentriert ist. Um im Wettbewerb mit anderen Mobilitätsanbietern langfristig Schritt zu halten, müssen ÖPNV-Anbieter dabei unterstützt werden, sich aktiv an der Entwicklung entsprechender KI-Systeme zu beteiligen. Dazu können auf Kooperationsnetzwerke zielende Förderlinien dienen, die Verbundvorhaben von ÖPNV-Unternehmen, KI-Entwicklerinnen und -Entwicklern sowie Bus- und Bahnherstellern zusammenbringen.

Entsprechend große Verbundprojekte können dabei auch durch den **Bund** getragen werden. Dieser ist jedoch vor allem in der Verantwortung, in seiner Förderaktivität gegenüber den Herstellern von Fahrzeugen für Schiene und Straße Anreize zu setzen, um stärker die Bedürfnisse von ÖPNV-Anbietern in ihrer Produktentwicklung zu berücksichtigen, damit am Markt entsprechende Systeme verfügbar werden. Für die Erprobung neuer Arbeitsformen durch und mit sich verändernden Technologien schaffen Förderaktivitäten des Bundes, wie die Experimentierbereiche des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales (BMAS), bereits eine sehr gute Grundlage. Diese und ähnliche Formen der Förderung müssen gerade für das Anwendungsfeld teil- bzw. vollautomatisierter Fahrsysteme im ÖPNV ausgeweitet und hinsichtlich ihrer rechtlichen Voraussetzungen flexibilisiert werden.

Grundsätzlich ist vor allem der **Bund** in der Verantwortung, für langfristige Transformationsprozesse im Bereich der Daseinsvorsorge die entsprechenden finanziellen Ressourcen zur Verfügung zu stellen, um die erheblichen Veränderungen aktiv gestalten zu können. Sowohl auf Bundes- als auch auf Landesebene gibt es bereits gut ausgestattete Förderprogramme, die ÖPNV-Unternehmen bei der Finanzierung technologischer Veränderungen unterstützen. Für die Bewältigung einer so grundlegenden Transformation, wie sie mit der Einführung von teil- bzw. vollautomatisierten Fahrsystemen und perspektivisch auch autonomen Fahrsystemen einhergeht, reichen nach bisherigem Erkenntnisstand die Investitionsmittel von Unternehmen und die zur Verfügung gestellte Förderung nicht aus. Daher müssen Bund und Länder zeitnah gemeinsam mit den Verkehrsunternehmen erörtern, welche Investitionsbedarfe insgesamt in den kommenden 10 bis 15 Jahren bestehen. Nur so können bereits in den 2020er-Jahren die notwendigen Weichen gestellt werden, um ÖPNV-Unternehmen als Schlüsselakteure der Verkehrswende auch in einer Zukunft mit autonomen Fahrzeugen als Leitanbieter von Mobilität zu sichern.

Öffentlicher Personennahverkehr erfordert öffentliche Plattformen

Plattformen spielen für die Mobilität der Zukunft eine zentrale Rolle. Für ÖPNV-Unternehmen stellt sich die Herausforderung, dass sie – um langfristig eine starke Marktposition zu erhalten – nicht in Abhängigkeit von Plattformanbietern geraten dürfen. Viele ÖPNV-Unternehmen setzen, angesichts des erheblichen Aufwands und der Komplexität der Herausforderung, eigene Plattformen zu entwickeln, auf technische Lösungen von Drittanbietern. Damit erlangen diese Plattformanbieter wertvolle Daten rund um die Mobilität in den jeweiligen Versorgungsgebieten der ÖPNV-Unternehmen und können unter Umständen künftig selbst oder in Kooperation mit privatwirtschaftlichen Mobilitätsdienstleistern in Konkurrenz zu öffentlichen ÖPNV-Unternehmen treten. Daher sollten **ÖPNV-Unternehmen** verstärkt auf Eigenentwicklung und Eigenbetrieb von Mobilitätsplattformen setzen. Wenn darüber die gesamte Verkehrskette abgebildet und multimodale Angebote integriert werden, steigt die Chance, dass ÖPNV-Unternehmen ihr Geschäftsmodell durch die Ausnutzung entsprechender Netzwerkeffekte und die Hoheit über marktrelevante Mobilitätsdaten langfristig sichern, indem sie sich vom Mobilitätsanbieter zum Plattformunternehmen weiterentwickeln. So sichern sie ihre Wertschöpfungsperspektive langfristig ab. **Städte** und **Kreise** haben dabei die Verantwortung, im Rahmen ihrer Verkehrsplanung, entsprechender Genehmigungspraxis und durch den politischen Einfluss auf öffentliche Verkehrsunternehmen sicherzustellen, dass im öffentlichen Personennahverkehr „Vorfahrt für öffentliche Plattformen“ gilt. **Die Länder** können Unternehmen und Kommunen dabei unterstützen, frühzeitig – auch durch Erfahrungsaustausch innerhalb der Branche – Anreize für Eigenentwicklungen bei Mobilitätsplattformen zu legen. Im Dialog mit den Unternehmen im Land können dabei Möglichkeiten erörtert werden, inwiefern solche z. B. von der LVB entwickelte Plattformen auch für andere Verkehrsunternehmen zugänglich gemacht werden können. Unter Umständen lassen sich derartige Mobilitätsplattformen auch mit Hilfe der genossenschaftlichen Rechtsform in den Dienst des ÖPNV im gesamten Land stellen.

Arbeit der Zukunft gestalten

Für **ÖPNV-Unternehmen** stellt die Transformation als Folge der Entwicklung zu teil- bzw. vollautomatisierten Fahrsystemen auch mit Blick auf die Gestaltung von Arbeitsorganisation und Qualifikationsanforderungen eine erhebliche Herausforderung dar. Grund dafür ist vor allem, dass heute nur sehr begrenzt absehbar ist, wie sich Qualität und Quantität von Arbeitsnachfrage innerhalb der verschiedenen Unternehmensbereiche entwickeln werden. Dies ist zu einem solch frühen Zeitpunkt, da so gut wie keine Praxiserfahrungen mit der Einführung teil- bzw. vollautomatisierter oder gar autonomer Fahrsysteme im ÖPNV bestehen, eine Herausforderung für die Unternehmen. Aufbauend auf wissenschaftlichen Studien zur Frage der künftigen Anforderungen an Beschäftigte im ÖPNV, sind Unternehmen daher gefordert, selbst aktiv zu werden und die Veränderung künftiger Berufsbilder am konkreten Fall gemeinsam mit den Beschäftigten abzuschätzen. Dazu können Corporate-Foresight-Prozesse initialisiert und mit entsprechender Begleitung durch Expertinnen und Experten für Markt-, Sozial- und Zukunftsforschung durchgeführt werden. Im Rahmen solcher Prozesse können die Unternehmen Szenarien für die Arbeitsgestaltung der Zukunft und darauf aufbauend gemeinsame Zielvorstellungen entwickeln, auf die Unternehmen und Beschäftigte gemeinsam hinarbeiten können. So kann das gemeinsame Handeln derart ausgerichtet werden, dass nach Möglichkeit Chancen genutzt und Risiken vermieden werden können.

Solche Corporate-Foresight-Prozesse können auch die langfristige Abschätzung von Kompetenzanforderungen unterstützen. Dazu ist jedoch erforderlich, dass Unternehmen systematisch die Kompetenzprofile ihrer Beschäftigten erfassen und sowohl unternehmensübergreifend als auch individuell Pläne zur Personalentwicklung mit den Beschäftigten entwickeln.

Eine Entwicklung, auf die sich Unternehmen dabei bereits heute einstellen können, ist die Schaffung von Mischarbeitsplätzen. Bereits heute gilt es, solche Arbeitsformen für die Zukunft zu gestalten. Mischformen von Arbeit können sowohl konkret beschrieben – z. B. ein mit der Überwachung der Fahrt befasster Operator in einem autonomen Fahrzeug verrichtet zusätzliche Servicetätigkeiten für die Fahrgäste – als auch im Sinne eines unternehmensweit flexiblen Einsatzes von Beschäftigten angelegt sein. Neben dem Fahrdienst dürften

vor allem im Bereich der technischen Berufe zunehmend hybride Qualifikationsprofile entstehen. Dort, wo z. B. mit der Fachkraft im Fahrbetrieb bereits heute in ÖPNV-Unternehmen Berufe mit einer ausgeprägten Qualifikationsbreite vorhanden sind, gilt es, diese zu stärken und entsprechende Querschnittsberufe in den kommenden Jahren verstärkt zu nutzen; dadurch könnten bereits heute künftige horizontale Übergänge von Beschäftigten zwischen verschiedenen Unternehmensbereichen erleichtert werden.

Um solche Übergangsprozesse für Beschäftigte leichter zu gestalten und sie beim Übergang bestmöglich zu unterstützen, müssen Unternehmen künftig verstärkt auf die Integration von Weiterbildung in den Prozess der Arbeit und auf arbeitsplatznahe Lernangebote setzen. Neue Technologien können dabei, z. B. durch augmentiertes Lernen, auch die Beschäftigten unterstützen, die mit formalen Weiterbildungsangeboten nur schwer zu erreichen sind.

So wie ÖPNV-Anbieter auf Ebene der Unternehmen in der Verantwortung sind, Beschäftigte zu Beteiligten im Wandel zu machen, so sind **Gewerkschaften** auf Ebene der Sozialpartnerschaft in der Verantwortung, einen Beitrag zu stärkerer Flexibilität im Sinne einer zukunftsfähigen Branche zu leisten. Die Tarifstrukturen von ÖPNV-Unternehmen ermöglichen es, für dringend benötigte IT-Fachkräfte marktübliche Gehälter mit einer entsprechenden Entwicklungsperspektive zu zahlen (§ 4 Abs. 3 Tarifvertragsgesetz (TVG)). Unternehmen und Betriebsräte sollten das darin liegende Potenzial für die Anwerbung von IT-Fachkräften stärker ausschöpfen und gemeinsam attraktive Einstiegsmodelle entwickeln.

Förderpolitisch können **Bund** und **Länder** ebenfalls wichtige Anreize dafür setzen, dass künftig, wenn teil- bzw. vollautomatisierte oder autonome Fahrsysteme zur Verfügung stehen, auch die Kompetenzen der Beschäftigten gestärkt sind für Adaption und Gestaltung einer sich wandelnden Branche. Dies gelingt, indem Innovationsförderung grundsätzlich nach dem Prinzip eines Magischen Dreiecks aus Hardware, Software und Köpfen erfolgt. Jede Fördermaßnahme, die die Entwicklung oder Erprobung von teil- bzw. vollautomatisierten Fahrsystemen zum Ziel hat, könnte obligatorisch mit einem qualifizierungsbezogenen Baustein versehen werden. So könnten ÖPNV-Unternehmen dazu verpflichtet werden, jedes Entwicklungsprojekt z. B. mit einer Bedarfsanalyse für sich daraus ableitende Qualifikationsanforderungen oder mit der Entwicklung von für diese Lösung geeigneten Weiterbildungsformaten zu verbinden.

Darüber hinaus kann der **Bund** ÖPNV-Unternehmen dabei unterstützen, Beschäftigte mit einem breiten Kompetenzspektrum auszurüsten, indem er gemeinsam mit den Sozialpartnern unter Einbeziehung des Bundesinstitutes für Berufsbildung (BBiB) eruiert, in welcher Form bereits heute, durch proaktive Neuordnungsverfahren, hybride Berufsbilder nach dem Vorbild der Fachkraft im Fahrbetrieb auch an anderen Schnittstellen zwischen Fahrbetrieb, Technik, betriebswirtschaftlichen Bereichen und IT geschaffen werden können. Nur durch frühzeitige Umstellung auch der formalen Berufsausbildung können künftige Bedarfe nach breit aufgestellten Kompetenzprofilen der Beschäftigten zur Erleichterung horizontaler Übergänge und zur Sicherung der Beschäftigungsfähigkeit gedeckt werden.

Übertragbarkeit von Ergebnissen und Handlungsstrategien auf andere Branchen

Viele der in dieser Studie zur Entwicklung des autonomen Fahrens untersuchten Fragen stellen sich auch in anderen Branchen als dem ÖPNV und im Zuge anderer gegenwärtiger und künftiger technologieinduzierter Transformationsprozesse. Eine unmittelbare Übertragbarkeit der für die künftige Entwicklung getroffenen Aussagen ist dabei nicht grundsätzlich möglich. Jede Branche, jeder Technologietrend stellt ihre bzw. seine ganz eigenen Anforderungen. So ist der ÖPNV aufgrund seiner Schlüsselfunktion für die Verkehrswende einerseits und seiner Rolle als Teil der öffentlichen Daseinsvorsorge andererseits nur schwer mit anderen Branchen des Dienstleistungssektors zu vergleichen. Auf Ebene der aus dieser Untersuchung abgeleiteten Ansatzpunkte zur weiteren Diskussion lassen sich hingegen auch für andere Branchen relevante Implikationen ableiten. Aufgrund der vor allem langfristig wirksam werdenden Transformationsdynamik im ÖPNV und einer ausge-

prägten Möglichkeit zur Einflussnahme der öffentlichen Hand lässt sich der ÖPNV daher potenziell als Pilotbranche nutzen, um neue Formen von sozialer Technikgestaltung, der Arbeitsorganisation und der Qualifikationsentwicklung zu erproben und wissenschaftlich zu begleiten. So können auch für andere Sektoren konkrete Strategien abgeleitet und validiert werden, die zur Gestaltung guter Arbeit beitragen.

ANHANG

Gesprächsleitfaden

Kommunale Rahmenbedingungen

- Wie stellt sich die LVB auf die Wachstumsdynamik der Stadt Leipzig einschließlich Umland ein? Welche Rolle kommt dabei der Verkehrsplanung/der Mobilitätsstrategie der Stadt Leipzig zu?
- Wie stellen sich die finanziellen Investitionsmöglichkeiten der LVB vor dem Hintergrund dieser Entwicklung dar?
- Wie werden die finanzielle Unterstützung durch die Stadt und das Land bzw. den Bund und vorhandene Förderinstrumente bewertet?
- Wie sieht vor diesem Hintergrund die LVB-Flotte und Schieneninfrastruktur bzw. der Fahrzeugmix der Zukunft aus (Straßenbahn, Bus, Kleinbusse, autonome [Klein-]Fahrzeuge)?

Stand und Zukunft der Technik autonomen Fahrens im ÖPNV

- Wie ist der aktuelle und der geplante künftige Stand der Technik und der Fahrzeuge bei der LVB? In welchen Zeithorizonten sind Veränderungen absehbar bzw. geplant?
- Welches technologische Szenario wird bei der LVB zugrunde gelegt?
- Vor welche technischen oder finanziellen Hürden ist das autonome Fahren im ÖPNV gestellt?
- Wie ist der Kenntnisstand und gibt es praktische Erfahrungen mit dem autonomen Fahren bzw. Fahrerassistenztechnologien bei der LVB?
- In welchen Bereichen (schienengebunden oder nicht) soll das autonome Fahren und in welcher Ausprägung eingeführt werden?
- Welche Erkenntnisse gibt es aus aktuellen technischen bzw. Forschungsprojekten, z. B. ABSOLUT?
- Gibt es weitere laufende oder beantragte Forschungs- und Entwicklungsprojekte im Themenfeld?

Auswirkungen auf Unternehmen und Geschäftsmodelle im ÖPNV

- Welche kurz-, mittel- und langfristigen geschäftspolitischen Szenarien legt die LVB angesichts der technischen Entwicklungen im ÖPNV und insbesondere im Bereich des autonomen Fahrens zugrunde?
- Welche Maßnahmen hat die LVB bereits für den Übergang zum autonomen Fahren ergriffen?
- Werden diese Veränderungsprozesse bereits im Unternehmen kommuniziert und wenn ja, wie?
- In welcher Form und in welchem Umfang werden die Beschäftigten (unmittelbar bzw. über den Betriebsrat) in die strategische und operative Weiterentwicklung des Unternehmens eingebunden?
- Wie werden sich die Struktur des Unternehmens, die Führungs- und Unternehmenskultur und die Kompetenzbereiche der Mitarbeitenden verändern?
- Welche Unterstützung im Transformationsprozess wünschen sich Unternehmen und die Beschäftigten von Seiten ...
 - o der Politik,
 - o der Schulen und Hochschulen,
 - o der Träger der beruflichen Bildung sowie
 - o der beruflichen Kammern, Verbände und Gewerkschaften?

Auswirkungen auf Personal und Qualifikationen

- Wie wird sich die Personalzusammensetzung der LVB durch demografische Faktoren in den nächsten Jahren ändern?
- Welche Rolle spielt das Zusammenwirken von demografischem Wandel, veränderter Altersstruktur der Belegschaft, Wertewandel der jüngeren Generation, Fachkräftemangel und der Auswirkungen der Digitalisierung für das Personalmanagement und das Recruiting der LVB?
- Welche Tätigkeiten und welche Berufsbilder in der LVB sind vermutlich von der Einführung autonomen Fahrens unmittelbar oder mittelbar betroffen?
 - o Welche Tätigkeiten fallen weg, welche ändern sich?
 - o Welche neuen Aufgaben, z. B. aus Anforderungen der neuen Technologie, veränderten Märkten oder neuen Kundenwünschen, ergeben sich?
 - o Welche Berufsbilder werden zukünftig nicht mehr benötigt?
 - o Welche neuen Berufsbilder könnten sich entwickeln?
- Wie viele Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter mit welchen Qualifikationen und mit welchen Kompetenzen werden in Zukunft benötigt?
- Welche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter müssen für die neuen oder veränderten Aufgaben qualifiziert werden? Welche Qualifikationen müssen durch Neueinstellungen abgedeckt werden?
- Wie stellt sich das Weiterbildungs- und Qualifizierungssystem der LVB derzeit dar?
- Wie können die durch das autonome Fahren erforderlichen Qualifizierungsmaßnahmen gestaltet werden?
- Welche Konsequenzen ergeben sich für die schulische und berufliche Aus- und Weiterbildung?

Gesundheitliche und sicherheitstechnische Auswirkungen durch teil- bzw. vollautomatisiertes Fahren im ÖPNV

- Wie stellen sich physische und psychische Belastungen der Fahrerinnen und Fahrer aktuell dar?
- Wie begegnet das Unternehmen diesen Belastungen (durch Prävention, Arbeitsorganisation oder technische Hilfsmittel)?
- Wird sich erwartungsgemäß durch die Einführung des teil- bzw. vollautomatisierten Fahrens daran etwas ändern? Werden ggf. Verbesserungen erwartet?
- Inwiefern müssen die gesundheitlichen Anforderungen an das für autonome Fahrzeuge verantwortliche Personal unter Berücksichtigung der veränderten Belastungen modifiziert bzw. neu definiert werden?
- Gibt es bereits Erkenntnisse zu den Auswirkungen des autonomen Fahrens, bspw. hinsichtlich sicherheitstechnischer Aspekte?

Literaturverzeichnis

- Abe, R. (2019). Introducing autonomous buses and taxis: Quantifying the potential benefits in Japanese transportation systems. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 126, 94–113. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.06.003>
- ABSOLUT (Leipziger Verkehrsbetriebe (LVB) GmbH, Hrsg.). (2020). *Projektwebsite*. Zugriff am 25.11.2020. Verfügbar unter: <https://absolut-projekt.de/>
- Alessandrini, A., Cattivera, A., Holguin, C. & Stam, D. (2018). CityMobil2: Challenges and Opportunities of Fully Automated Mobility. In A. Alessandrini (Hrsg.), *Implementing Automated Road Transport Systems in Urban Settings* (Bd. 28, S. 169–184). Elsevier. https://doi.org/10.1007/978-3-319-05990-7_15
- Allianz pro Schiene. (2020). *Glossar Fahrerlose U-Bahn*. Zugriff am 03.04.2020. Verfügbar unter: <https://www.allianz-pro-schiene.de/glossar/fahrerlose-bahn/>
- Andreas Böttcher, Annette Körner, Claudia Neubert, Madeleine Plaul, Annkathrin Ziersch & Michael Schoppe (Leipziger Verkehrsbetriebe (LVB) GmbH, Hrsg.). (2019). *Nachhaltigkeit bei den Leipziger Verkehrsbetrieben. Ausgewählte Daten und Fakten 2018*.
- Aust, B. (2002). *Gesundheitsförderung in Verkehrsunternehmen. Betriebs- und mitarbeiterbezogene Maßnahmen im Fahrdienst* (Berufsgenossenschaft der Straßen-, U-Bahnen und Eisenbahnen (BG Bahnen), Hrsg.). Hamburg. Zugriff am 10.06.2020. Verfügbar unter: http://www.vbg.de/SharedDocs/Medien-Center/DE/Broschuere/Branchen/OePNV_und_Bahnen/Handbuch%20Gesundheitsfoerderung%20in%20Verkehrsunternehmen.pdf?__blob=publicationFile&tv=5
- Bainbridge, L. (1983). Ironies of automation. *Automatica*, 19(6), 775–779. [https://doi.org/10.1016/0005-1098\(83\)90046-8](https://doi.org/10.1016/0005-1098(83)90046-8)
- Beggiato, M., Hartwich, F., Schleinitz, K., Krems, J., Othersen, I. & Petermann-Stock, I. 2015. *What would drivers like to know during automated driving? Information needs at different levels of automation*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2462.6007>
- BMVI. (2017). *Ethik-Kommission Automatisiertes und Vernetztes Fahren - Bericht*. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur.
- Bockelmann, M., Nachreiner, F. & Nickel, P. (2012). *Bildschirmarbeit in Leitwarten. Handlungshilfen zur ergonomischen Gestaltung von Arbeitsplätzen nach der Bildschirmarbeitsverordnung ; Forschung Projekt F 2249*. Dortmund, Berlin, Dresden: Bundesanst. für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
- Bourrelly, A., Jacobé de Naurois, C., Zran, A., Rampillon, F., Vercher, J.-L. & Bourdin, C. (2019). Long automated driving phase affects take-over performance. *IET Intelligent Transport Systems*, 13(8), 1249–1255. <https://doi.org/10.1049/iet-its.2019.0018>
- Brütting, M. (2012). *Sitzmemory am Busfahrer Arbeitsplatz* (IFA-Report, 2012,3). Hannover, Berlin: Technische Informationsbibliothek u. Universitätsbibliothek; DGUV. Verfügbar unter: <http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/rep0312.pdf>
- Bueno, M., Dogan, E., Hadj Selem, F., Monacelli, E., Boverie, S. & Guillaume, A. (2016). How different mental workload levels affect the take-over control after automated driving. In *2016 IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)* (S. 2040–2045). IEEE.
- Bundesagentur für Arbeit (Hrsg.). (2020). *Fachkraft im Fahrbetrieb* (BERUFENET Steckbrief).
- Bundesregierung. (2020). *"Gestärkt aus der Krise, gemeinsam die Mobilität der Zukunft gestalten" - 3. Spitzengespräch der Konzierten Aktion Mobilität. Pressemitteilung 316*. Die Bundesregierung. Zugriff am 25.11.2020. Verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/-gestaerkt-aus-der-krise-gemeinsam-die-mobilitaet-der-zukunft-gestalten-3-spitzengespraech-der-konzierten-aktion-mobilitaet-1783382>
- Canzler, W., Knie, A. & Ruhrort, L. (2019). *Autonomes Fahren im öffentlichen Verkehr. Chancen, Risiken und politischer Handlungsbedarf. Gutachten im Auftrag der Grünen Bürgerschaftsfraktion Hamburg unter Beteiligung der Grünen Fraktionen der Bundesländer Baden-Württemberg, Bayern, Hessen, Rheinland-Pfalz, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein*. Zugriff am 26.08.2019. Verfügbar unter:

- https://www.gruene-hamburg.de/wp-content/uploads/2019/04/Autonomes_Fahren_Gutachten_030419.pdf
- Carsten, O. & Martens, M. H. (2019). How can humans understand their automated cars? HMI principles, problems and solutions. *Cognition, Technology & Work*, 21(1), 3–20. <https://doi.org/10.1007/s10111-018-0484-0>
- CAVForth. (2019). *CAVForth Project: Open Design Jam – 12th October 2019*.
- Christoffersen, K. & Woods, D. D. (2002). 1. How to make automated systems team players. In *Advances in Human Performance and Cognitive Engineering Research Volume 2* (Advances in Human Performance and Cognitive Engineering Research, Bd. 2, S. 1–12). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S1479-3601\(02\)02003-9](https://doi.org/10.1016/S1479-3601(02)02003-9)
- CityMobil2 (2018). CityMobil2 Impacts Seen from Outside. In A. Alessandrini (Hrsg.), *Implementing Automated Road Transport Systems in Urban Settings* (S. 295–310). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812993-7.00006-1>
- Clark, J. R., Stanton, N. A. & Revell, K. M. A. (2020). Automated Vehicle Handover Interface Design: Focus Groups with Learner, Intermediate and Advanced Drivers. *Automotive Innovation*, 3(1), 14–29. <https://doi.org/10.1007/s42154-019-00085-x>
- Connected Automated Driving Roadmap. Version 8.* (2019). Brüssel.
- Crössmann, L., Jonschat, H., Filby, A., Power, M., Deibel, I. & Steiner, J. (2018). *Hop-on Hop-off - Sichere Ein- und Ausstiegssituationen für autonome öffentliche Mikromobile : Schlussbericht des InnoZ : im Programm "Individuelle und adaptive Technologien für eine vernetzte Mobilität*. <https://doi.org/10.2314/KXP:166687485X>
- Damböck, D., Kienle, M., Bengler, K. & Bubb, H. (2011). The H-Metaphor as an Example for Cooperative Vehicle Driving. In J. A. Jacko (Hrsg.), *Human-Computer Interaction. Towards Mobile and Intelligent Interaction Environments* (Lecture Notes in Computer Science, Bd. 6763, S. 376–385). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-21616-9_42
- Damos, D. L., John, R. S. & Lyall, E. A. (1999). The Effect of Level of Automation on Time Spent Looking Out of the Cockpit. *The International Journal of Aviation Psychology*, 9(3), 303–314. https://doi.org/10.1207/s15327108ijap0903_7
- Deloitte (Hrsg.). (2017). *Navigating the future of work. Can we point business, workers, and social institutions in the same direction?* (Deloitte Review 21).
- Deloitte (Hrsg.). (2019). *Urbane Mobilität und autonomes Fahren im Jahr 2035. Welche Veränderungen durch Robotaxis auf Automobilhersteller, Städte und Politik zurollen*.
- Deutscher Bundestag (Hrsg.). (2018a). *Autonomes Fahren auf Wasserwegen und Schienen. Ausarbeitung der Wissenschaftlichen Dienste*. Zugriff am 26.08.2019. Verfügbar unter: <https://www.bundestag.de/resource/blob/562380/a13d452255805109ecca58a42831619f/WD-5-071-18-pdf-data.pdf>
- Deutscher Bundestag (Hrsg.). (2018b). *Autonomes und automatisiertes Fahren auf der Straße - rechtlicher Rahmen. Ausarbeitung der Wissenschaftlichen Dienste*. Zugriff am 26.08.2019. Verfügbar unter: <https://www.bundestag.de/resource/blob/562790/c12af1873384bcd1f8604334f97ee4b9/WD-7-111-18-pdf-data.pdf>
- Die Zeit, Caspar Schwietering (Mitarbeiter). (2020). *Nie wieder Signalstörung*. Zugriff am 25.11.2020. Verfügbar unter: <https://www.zeit.de/mobilitaet/2020-03/deutsche-bahn-digitalisierung-fahrerlose-zuege-verkehrswende>
- Dong, X., DiScenna, M. & Guerra, E. (2019). Transit user perceptions of driverless buses. *Transportation*, 46(1), 35–50. <https://doi.org/10.1007/s11116-017-9786-y>
- Ducki, A. & Nguyen, H.T. (2016). *Psychische Gesundheit in der Arbeitswelt – Mobilität* (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Hrsg.). Dortmund, Berlin, Dresden. Zugriff am 11.06.2020. Verfügbar unter: https://www.baua.de/DE/Angebote/Publicationen/Berichte/F2353-3d.pdf?__blob=publicationFile&tv=6 <https://doi.org/10.21934/baua:bericht20160713/3d>
- DVF. (2018). *Attraktiver Schienenverkehr 2020+ Moderner und flexibler durch Digitalisierung. Positionspapier*.
- E&T. (2019). *Singapore launches public trial of driverless buses*.
- EDDI. (2019). *EDDI - Elektronische Deichsel - Digitale Innovation. Schlussbericht*. DB Schenker.

- Elish, M. C. (2019). Moral Crumple Zones: Cautionary Tales in Human-Robot Interaction. *Engaging Science, Technology, and Society*, 5, 40. <https://doi.org/10.17351/ests2019.260>
- Ellegast, R. P., Heinrich, A., Schäfer, A., Schellewald, V. & Wasserkampf, A. (2018). *Active Workplace: Physiologische und psychologische Bedingungen sowie Effekte dynamischer Arbeitsstationen* (IFA-Report, 3/2018). Berlin: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV). Verfügbar unter: <https://e-docs.tib.eu/files/e01fn18/1028383061.pdf>
- Endsley, M., Bolte, B. & Jones, D. (2003). *Designing for Situation Awareness*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780203485088>
- Endsley, M. R. & Kiris, E. O. (1995). The Out-of-the-Loop Performance Problem and Level of Control in Automation. *Human factors*, 37(2), 381–394. <https://doi.org/10.1518/001872095779064555>
- Flemisch, F., Heesen, M., Hesse, T., Kelsch, J., Schieben, A. & Beller, J. (2012). Towards a dynamic balance between humans and automation: authority, ability, responsibility and control in shared and cooperative control situations. *Cognition, Technology & Work*, 14(1), 3–18. <https://doi.org/10.1007/s10111-011-0191-6>
- Flemisch, F. O., Adams, C. A., Conway, S. R., Goodrich, K. H., Palmer, M. T. & Schutte, P. C. (2003). *The H-Metaphor as a Guideline for Vehicle Automation and Interaction*. NASA/TM-2003-212672. Hampton, VA, United States: NASA Langley Research Center. Zugriff am 12.06.2020. Verfügbar unter: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20040031835.pdf>
- Flemisch, F. O., Bengler, K., Bubb, H., Winner, H. & Bruder, R. (2014). Towards cooperative guidance and control of highly automated vehicles: H-Mode and Conduct-by-Wire. *Ergonomics*, 57(3), 343–360. <https://doi.org/10.1080/00140139.2013.869355>
- Fraedrich, Eva, Kröger, Lars, Bahamonde-Birke, F., J, F. et al. (2017, 1. August). *Automatisiertes Fahren im Personen- und Güterverkehr. Auswirkungen auf den Modal-Split, das Verkehrssystem und die Siedlungsstrukturen*. Zugriff am 26.08.2019. Verfügbar unter: <https://elib.dlr.de/117868/>
- Frey, C. B. & Osborne, M. A. (2017). The Future Of Employment: How Susceptible are Jobs to Computerisation? *Technological Forecasting and Social Change*, (114), 254–280. Zugriff am 15.05.2020.
- Gold, C., Damböck, D., Lorenz, L. & Bengler, K. (2013). "Take over!" How long does it take to get the driver back into the loop? *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 57(1), 1938–1942. <https://doi.org/10.1177/1541931213571433>
- Gross-Fengels, S. & Fromhold-Eisebith, M. (2018). Adapting transport related innovations to rural needs: Smart Mobility and the example of the Heinsberg region, Germany. In A. Paez, R. S. Franklin & E. S. van Leeuwen (Eds.), *Transportation in the Places Where People Leave. Demographic Change and Transportation in the 21st Century* (Advances in Transport Policy and Planning Ser, v. Volume 2, S. 125–162). San Diego: Elsevier Science & Technology.
- Hamburg.de. (o. J.). *Praktische Vernetzung des öffentlichen Nahverkehrs*, Hamburg.de. Verfügbar unter: <https://www.hamburg.de/hvv/4123240/hvv-switch/>
- Hamburger Morgenpost (Hamburger Morgenpost, Hrsg.). (2020). *Digitale Revolution: Hamburger S-Bahn soll komplett automatisch fahren*. Zugriff am 03.04.2020. Verfügbar unter: <https://www.mopo.de/hamburg/digitale-revolution-hamburger-s-bahn-soll-komplett-automatisch-fahren-33711250>
- Hancock, P. A. (2015, März). Automobility: the coming use of fully-automated on-road vehicles. In *2015 IEEE International Multi-Disciplinary Conference on Cognitive Methods in Situation Awareness and Decision* (S. 137–139). IEEE.
- Hancock, P. A. & Parasuraman, R. (1992). Human factors and safety in the design of intelligent vehicle-highway systems (IVHS). *Journal of Safety Research*, 23(4), 181–198. [https://doi.org/10.1016/0022-4375\(92\)90001-P](https://doi.org/10.1016/0022-4375(92)90001-P)
- Hasselmann, J. (Tagesspiegel, Hrsg.). (2019). *Berlin plant automatische U-Bahn - Neuer Versuch startet 2025 auf der U5 und U8*. Zugriff am 03.04.2020. Verfügbar unter: <https://www.tagesspiegel.de/berlin/bvg-plant-automatische-u-bahn-neuer-versuch-startet-2025-auf-der-u5-und-u8/24962772.html>
- HEAT. (2020). *Zwischenbericht 2019*.

- HWWI/Berenberg (Hrsg.). (2019). *HWWI/Berenberg-Städteranking. Die 30 größten Städte Deutschlands im Vergleich*. Zugriff am 04.06.2020. Verfügbar unter: https://www.berenberg.de/files/Presse/Presse-Informationen/2019/HWWI_Berenberg_Staedteranking_2019.pdf
- Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität. (2017). *Zulassung von fahrerlosen Fahrzeugen. Bericht zum Workshop*. Zugriff am 12.06.2020. Verfügbar unter: https://www.ikem.de/wp-content/uploads/2017/12/Bericht_Workshop_Zulassung_IKEM.pdf
- DIN EN ISO 9241-110:2008-09 (2008). *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 110: Grundsätze der Dialoggestaltung (ISO_9241-110:2006); Deutsche Fassung EN_ISO_9241-110:2006*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- Kazi, T. A., Stanton, N. A., Walker, G. H. & Young, M. S. (2007). Designer driving: drivers' conceptual models and level of trust in adaptive cruise control. *International Journal of Vehicle Design*, 45(3), 339. <https://doi.org/10.1504/IJVD.2007.014909>
- Krwemser, F., Pietsch, R., Wilden, W., Lienkamp, M. & Bengler, K. (2011). Anthropometrische Innenraumauslegung eines Elektrofahrzeugs der Subcompact-Klasse. In *57. Frühjahrskongress der GfA 2011 in Chemnitz* (S. 239–242).
- Küpper, P. & Steinführer, A. (2017). Daseinsvorsorge in ländlichen Räumen zwischen Ausdünnung und Erweiterung: ein Beitrag zur Peripherisierungsdebatte. *European Regional*, (23), 4–60.
- Leipziger Verkehrsbetriebe (LVB) GmbH (Hrsg.). (2020). *Jahresabschluss 2019*. Zugriff am 04.06.2020. Verfügbar unter: <https://www.l.de/file/download/1df826b7cc72f049fb21b7011f8edb88.pdf/f/dl>
- Lück, M., Hünefeld, L., Brenscheid, S., Bödefeld, M. & Hünefeld, A.. *Grundausswertung der BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung 2018, Vergleich zur Grundausswertung 2006 und 2012* (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Hrsg.). Dortmund/Berlin/Dresden. Zugriff am 10.06.2020. Verfügbar unter: www.baua.de/dok/8819332
- LVB GmbH (Hrsg.). (2014). *Nachhaltigkeit in der LVB-Gruppe. Ausgewählte Daten und Fakten 2014*. Zugriff am 18.06.2020. Verfügbar unter: <https://www.google.com/url?sa=t&trct=j&eq=et&src=s&source=web&cd=et&ved=2ahUKEwjUh6b18YrqAh-VkxaYKHQ6LAGgQFjABegQIAhAB&url=https%3A%2F%2Fwww.l.de%2Ffile%2Fdownload%2F960866c70de33ccc583fdc29f57a13cc.pdf%2F%2Fdl&usg=AOvVaw1jqDSQhhvPU7gPIGgjBoCj>
- M. Rajabalinjad et al., 2019. Systems Integration for Railways Advancement. In *Transportation Systems: Managing Performance through Advanced Maintenance Engineering* (S. 27–42). Zugriff am 03.04.2020. Verfügbar unter: https://books.google.de/books?id=cG-qDwAAQBAJ&dq=grades+of+automation+trains+singh&hl=de&source=gbs_navlinks_s
- Macworth, N. H. (1950). *Researches on the measurement of human performance. Medical Research Council Special Report, No. 268*.
- Macworth, N. H. (1957). Some factors affecting vigilance. *Advancement of Science*, (53), 389–393.
- Merat, N. & Jamson, A. H. (2009). How Do Drivers Behave In A Highly Automated Car? In *Proceedings of the 5th International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment and Design* (S. 514–521).
- Michael Krail et. al. (2019). *Energie- und Treibhausgaswirkungen des automatisierten und vernetzten Fahrens im Straßenverkehr. Wissenschaftliche Beratung des BMVI zur Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie* (Fraunhofer ISI, Hrsg.).
- Milius, B. & Naumann, A. (Hrsg.). (2018). *Rail human factors. Proceedings of the 3rd German Workshop on Rail Human Factors : 17 and 18 April 2018, Stadthalle Braunschweig*. Braunschweig: ITS mobility e.V.
- Miller, C. A. & Parasuraman, R. (2007). Designing for flexible interaction between humans and automation: delegation interfaces for supervisory control. *Human Factors*, 49(1), 57–75. <https://doi.org/10.1518/001872007779598037>
- Mirnig, A. G., Gärtner, M., Laminger, A., Meschtscherjakov, A., Trösterer, S., Tscheligi, M. et al. (2017). Control Transition Interfaces in Semiautonomous Vehicles. In S. Boll, B. Pfleging, B. Donmez, I. Politis & D. Large (Hrsg.), *Proceedings of the 9th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications* (S. 209–220). New York, NY, USA: ACM.
- Morgan, P., Alford, C. & Parkhurst, G. (2016). *Handover Issues in Autonomous Driving: A Literature Review. Project Report* (University of the West of England, Hrsg.). Bristol. Zugriff am 11.06.2020. Verfügbar unter: https://uwe-repository.worktribe.com/preview/921786/Venturer_WP5.2Lit%20ReviewHandover.pdf

- NaNa Nahverkehrsnachrichten (November 2019). Singapur schult Busfahrer um. *NaNa Nahverkehrsnachrichten*, 46/2019. Zugriff am 12.06.2020. Verfügbar unter: <https://xn--pnv-archiv-dcb.de/Single-View.aspx?show=1164245>
- Nationale Plattform Zukunft der Mobilität. (2020). *1. Zwischenbericht zur strategischen Personalplanung und -entwicklung im Mobilitätssektor. AG4 Bericht* (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Hrsg.). Berlin. Zugriff am 10.06.2020. Verfügbar unter: <https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/wp-content/uploads/2020/03/NPM-AG-4-1-Zwischenbericht-zur-strategischen-Personalplanung-und-Entwicklung-im-Mobilit%C3%A4tssektor.pdf>
- Naujoks, F., Forster, Y., Wiedemann, K. & Neukum, A. (2017). A Human-Machine Interface for Cooperative Highly Automated Driving. In N. A. Stanton, S. Landry, G. Di Bucchianico & A. Vallicelli (Hrsg.), *Advances in Human Aspects of Transportation* (Advances in Intelligent Systems and Computing, Bd. 484, S. 585–595). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-41682-3_49
- Neubauer, C., Matthews, G. & Saxby, D. (2012). The Effects of Cell Phone Use and Automation on Driver Performance and Subjective State in Simulated Driving. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 56(1), 1987–1991. <https://doi.org/10.1177/1071181312561415>
- Norman, D. A. (1990). The 'problem' with automation: inappropriate feedback and interaction, not 'over-automation'. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 327(1241), 585–593. <https://doi.org/10.1098/rstb.1990.0101>
- Orthner, C. (2008). Ergonomische Gestaltung von Fahrerständen in Schienenfahrzeugen. In AUVA Forum Prävention. In *AUVA Forum Prävention*. Zugriff am 11.06.2020. Verfügbar unter: <https://docplayer.org/67776735-Ergonomische-gestaltung-von-fahrerstaenden-in-schienenfahrzeugen.html>
- Parasuraman, R. (2000). Designing automation for human use: empirical studies and quantitative models. *Ergonomics*, 43(7), 931–951. <https://doi.org/10.1080/001401300409125>
- Parasuraman, R. & Manzey, D. H. (2010). Complacency and bias in human use of automation: an attentional integration. *Human Factors*, 52(3), 381–410. <https://doi.org/10.1177/0018720810376055>
- Parasuraman, R. & Riley, V. (1997). Humans and Automation: Use, Misuse, Disuse, Abuse. *Human factors*, 39(2), 230–253. <https://doi.org/10.1518/001872097778543886>
- Petzold, R. (25.08.2020). *Beispiele aus Maßnahmen des betrieblichen Gesundheitsmanagements (BGM) in der Gruppe Leipziger Verkehrsbetriebe* (Mail-Anhang).
- PNN. (2019). *Ein Zuhause für die autonome Straßenbahn in Potsdam*, Potsdamer Neueste Nachrichten. Zugriff am 24.11.2020. Verfügbar unter: <https://www.pnn.de/potsdam/automatisierung-von-rangierprozessen-ein-zuhause-fuer-die-autonome-strassenbahn-in-potsdam/25095200.html>
- Powelleit, M., Winkler, S. & Vollrath, M. (2019). *Lichtbasierte Kommunikationskonzepte zur Unterstützung von Kooperation im Straßenverkehr*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.27424.64007>
- Radlmayr, J., Fischer, F. M. & Bengler, K. (2019). The Influence of Non-driving Related Tasks on Driver Availability in the Context of Conditionally Automated Driving. In S. Bagnara, R. Tartaglia, S. Albolino, T. Alexander & Y. Fujita (Hrsg.), *Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018)* (Advances in Intelligent Systems and Computing, Bd. 823, S. 295–304). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96074-6_32
- Reddehase, B., Beck, J., Schneider, P. & Gaik, K. (2013). *Abschlussbericht zum GDA-Arbeitsprogramm „Sicherheit und Gesundheitsschutz bei einseitig belastenden und bewegungsarmen Tätigkeiten bei der Personbeförderung im ÖPNV“* (Nationale Arbeitsschutzkonferenz, Hrsg.). Berlin. Zugriff am 10.06.2020. Verfügbar unter: https://www.gda-portal.de/DE/Downloads/pdf/OEPNV-Abschlussbericht.pdf?__blob=publicationFile&t=3
- Reichel, J. (2020). *Bahn übernimmt Moovel und forciert integrierte Mobilitätsplattform*, Vision Mobility. Verfügbar unter: <https://vision-mobility.de/news/bahn-uebernimmt-moovel-und-forciert-integrierte-mobilitaetsplattform-70404.html>
- Resch, H. (2015). *Branchenanalyse: Zukunft des ÖPNV. Entwicklungstendenzen und Chancen* (Study | Hans-Böckler-Stiftung, Bd. 302). Düsseldorf: Hans-Böckler-Stiftung. Zugriff am 24.11.2016.

- Riener, A., Appel, A., Dorner, W., Huber, T., Kolb, J. C. & Wagner, H. (2020). *Autonome Shuttlebusse im ÖPNV*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-59406-3>
- Roos, M. & Siegmann, M. (2020). *Technologie-Roadmap für das autonome Autofahren: Eine wettbewerbsorientierte Technik- und Marktstudie für Deutschland. Working Paper Forschungsförderung, No. 188* (Hans-Böckler-Stiftung, Hrsg.). Düsseldorf.
- Sarter, N. B., Woods, D. D. & Billings, C. E. (1997). Automation surprises. In G. Salvendy (Hrsg.), *Handbook of Human Factors & Ergonomics. second edition*. Wiley. Zugriff am 11.06.2020. Verfügbar unter: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.134.7077&rep=rep1&type=pdf>
- Schmidt, E. A. (2010). *Die objektive Erfassung von Müdigkeit während monotoner Tagfahrten und deren verbale Selbsteinschätzung durch den Fahrer*. Dissertation. Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf.
- Schnieder, L. (2019). *Automatisierung im schienengebundenen Nahverkehr. Funktionen und Nutzen von Communication-Based Train Control (CBTC) (essentials)*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-25536-7>
- Seppelt, B. D. & Lee, J. D. (2007). Making adaptive cruise control (ACC) limits visible. *International Journal of Human-Computer Studies*, 65(3), 192–205. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2006.10.001>
- Siemens Mobility GmbH. (2019). *AStriD – Autonome Straßenbahn im Depot. Projektsteckbrief*. Zugriff am 03.04.2020. Verfügbar unter: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/mfund-projekte/ast-rid.html>
- Spulber, A. (2016). *Impact of Automated Vehicle Technologies on Driver Skills* (Michigan Department of Transportation (MDOT), Hrsg.). Zugriff am 11.06.2020. Verfügbar unter: https://www.michigan.gov/documents/mdot/Impact_of_CAV_Technology_on_Driver_Skills_533519_7.pdf
- Stadt Leipzig, Amt für Statistik und Wahlen (Hrsg.). (2019a). *Methoden und Ergebnisse der Bevölkerungsvorausschätzung 2019*. Leipzig. Zugriff am 04.06.2020. Verfügbar unter: https://www.leipzig.de/fileadmin/mediendatenbank/leipzig-de/Stadt/02.1_Dez1_Allgemeine_Verwaltung/12_Statistik_und_Wahlen/Stadtforschung/Bevolkerungsvorausschätzung_2019.pdf
- Stadt Leipzig, Amt für Statistik und Wahlen (Hrsg.). (2019b). *Statistischer Quartalsbericht III/2019*. Zugriff am 04.06.2020. Verfügbar unter: https://static.leipzig.de/fileadmin/mediendatenbank/leipzig-de/Stadt/02.1_Dez1_Allgemeine_Verwaltung/12_Statistik_und_Wahlen/Statistik/Statistischer_Quartalsbericht_Leipzig_2019_3.pdf
- Stadt Leipzig, Dezernat Wirtschaft, Arbeit und Digitales (Hrsg.). (2019). *Wirtschaftsbericht 2019*. Zugriff am 04.06.2020. Verfügbar unter: https://static.leipzig.de/fileadmin/mediendatenbank/leipzig-de/Stadt/02.7_Dez7_Wirtschaft_und_Arbeit/80_Amt_fuer_Wirtschaftsfoerderung/Wirtschaftsbericht-2019-deutsch.pdf
- Stanton, N. A. & Marsden, P. (1996). From fly-by-wire to drive-by-wire: Safety implications of automation in vehicles. *Safety Science*, 24(1), 35–49. [https://doi.org/10.1016/S0925-7535\(96\)00067-7](https://doi.org/10.1016/S0925-7535(96)00067-7)
- Stanton, N. A. & Young, M. S. (1998). Vehicle automation and driving performance. *Ergonomics*, 41(7), 1014–1028. <https://doi.org/10.1080/001401398186568>
- STIMULATE. (2020). *Projekt: Stadtverträgliche Mobilität unter Nutzung elektrischer automatisierter Kleinbusse. Zwischenbericht 2019*.
- UITP. (2012). *Metro Automation – Facts, Figures and Trends. Press Kit*.
- VDV. (2020a). *Eckpunkte zum Rechtsrahmen für einen vollautomatisierten und fahrerlosen Level 4 Betrieb im öffentlichen Verkehr. Positionspapier September 2020* (VDV, Hrsg.).
- Ver.di NRW (Hrsg.). (2020a). *Checklisten für die Gestaltung des digitalen Wandels im ÖPNV*.
- Ver.di NRW (Hrsg.). (2020b). *Leitbild "Arbeit im ÖPNV 4.0". Zur Zukunft des öffentlichen Personennahverkehrs im digitalen Wandel*.
- Verband der Automobilindustrie. (2015). *Automatisierung – Von Fahrerassistenzsystemen zum automatisierten Fahren* (VDA, Hrsg.). Berlin.
- Verband der Automobilindustrie (Hrsg.). (2020). *Automatisiertes Fahren. Innovationsführerschaft der deutschen Automobilindustrie*. Zugriff am 26.03.2020. Verfügbar unter: <https://www.vda.de/de/themen/innovation-und-technik/automatisiertes-fahren/automatisiertes-fahren.html>
- Verband Deutscher Verkehrsunternehmen. (2000). *Fahrerarbeitsplatz im Niederflur-Linienbus. VDV Schriften 234* (Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV), Hrsg.). Köln.

- Verband Deutscher Verkehrsunternehmen. (2020b). *PBeVG-Eckpunkte bringen Gesetz auf Höhe der Zeit*. Zugriff am 09.12.2020. Verfügbar unter: <https://www.vdv.de/presse.aspx?id=1e4572a8-6969-4408-bbc1-04e98bc1be7f&mode=detail>
- VGB. (2012). *Richtig sitzen am Fahrerarbeitsplatz im Linienbus. warnkreuz SPEZIAL Nr. 26*. ÖPNV / BAHNEN (VGB, Hrsg.). Hamburg. Zugriff am 10.06.2020. Verfügbar unter: http://www.vbg.de/SharedDocs/Medien-Center/DE/Broschuere/Branchen/OePNV_und_Bahnen/warnkreuz_SPEZIAL_Nr_26_Richtig_sitzen_am_Fahrerarbeitsplatz_im_Linienbus.pdf?__blob=publicationFile&v=6
- Walch, M., Mühl, K., Kraus, J., Stoll, T., Baumann, M. & Weber, M. (2017). From Car-Driver-Handovers to Cooperative Interfaces: Visions for Driver-Vehicle Interaction in Automated Driving. In G. Meixner & C. Müller (Hrsg.), *Automotive User Interfaces* (Human-Computer Interaction Series, Bd. 14, S. 273-294). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-49448-7_10
- Wiener, E. L. (1989). *Human factors of advanced technology (glass cockpit) transport aircraft*. NASA-CR-177528. Miami. Zugriff am 12.06.2020. Verfügbar unter: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19890016609.pdf>
- Winter, J. C.F. de, Happee, R., Martens, M. H. & Stanton, N. A. (2014). Effects of adaptive cruise control and highly automated driving on workload and situation awareness: A review of the empirical evidence. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 27, 196-217. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2014.06.016>
- Wolf, I. (2015). Wechselwirkung Mensch und autonomer Agent. In M. Maurer, J. C. Gerdes, B. Lenz & H. Winner (Hrsg.), *Autonomes Fahren* (Bd. 327, S. 103-125). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-45854-9_6
- Woods, D. D. (2010). *Behind human error*. Farnham, Burlington, VT: Ashgate. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=389792>
- Zhang, B., Winter, J. de, Varotto, S., Happee, R. & Martens, M. (2019). Determinants of take-over time from automated driving: A meta-analysis of 129 studies. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 64, 285-307. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.04.020>

Herausgeber:

Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr
Wilhelm-Buck-Straße 2 | 01097 Dresden
Telefon: 0351 564-80600
Telefax: 0351 564-80680
presse@smwa.sachsen.de
www.smwa.sachsen.de
www.facebook.com/smwa.sachsen
twitter.com/smwa_sn

Redaktion:

VDI/VDE Innovation + Technik GmbH
Steinplatz 1 | 10623 Berlin
Autorinnen und Autoren: Robert Peters, Christian Wehrmann, Antje Zehm, Annette Randhahn, Katja Karrer-Gauß

Redaktionsschluss: 21.02.2021

Gestaltung und Satz:

VDI/VDE Innovation + Technik GmbH

Fotos:

© FSD Fahrzeugsystemdaten GmbH/Jürgen Bönninger
© SMWA/Ronald BonB

Download:

www.publikationen.sachsen.de

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung.

Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinahme des Herausgebers zu Gunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.

Copyright

Diese Veröffentlichung ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch die des Nachdruckes von Auszügen und der foto-mechanischen Wiedergabe, sind dem Herausgeber vorbehalten.

Hinweis:

Die einzelnen Maßnahmen und geschilderten Themen stehen unter dem Vorbehalt einer gesicherten Finanzierung. Sie können keine präjudizierende Wirkung für die Bereitstellung von Haushaltsmitteln des Landes oder Entscheidungen des Haushaltsgesetzgebers haben. Ein Anspruch gegen den Freistaat Sachsen auf Realisierung, Finanzierung oder finanzielle Förderung kann aus der Studie nicht abgeleitet werden.