metropolregion hamburg

Innovationszentrum Autonomes Fahren

© Dominik Pietzko

Machbarkeits-, Konzept- und Realisierungsstudie für ein Innovationszentrum Autonomes Fahren in der Metropolregion Hamburg

METROPOLREGION HAMBURG

Inhalt

Einleitung zum Gutachten **5**

1. Ausgangslage in der MRH **6**
1.1 Sozioökonomische Ausgangslage der MRH 6
1.2 Primärdatenerhebung durch Interviews und eine Umfrage 39
1.3 Schlussfolgerungen zur Ausgangslage der MRH 46

2. Potenziale des autonomen Fahrens für die Verkehrsentwicklung in der MRH **49**
2.1 Allgemeine Potenziale, Chancen und Risiken des autonomen Fahrens 49
2.2 Potenziale, Chancen und Risiken im Bereich des Ö(PN)V und MIV 55
2.3 Potenziale, Chancen und Risiken für Güterverkehr in der MRH 64
2.4 Ausblick inter- und multimodale Verkehre in der MRH 74
2.5 Anwendungsfälle für ein länderübergreifendes Reallabor in der MRH 79
2.6 Formulierung und Priorisierung von Handlungsempfehlungen für die MRH 84

3. Konzeptentwicklung für ein modulares IAF in der MRH **89**
3.1 Strategische Ausrichtung 89
3.2 Operative Ausrichtung 95
3.3 Zusammenführung strategischer und operativer Ausrichtungen 97
3.4 Konzeptioneller Aufbau IAF 100
3.5 Zusammenfassung und Handlungsempfehlung 105

4. Rahmenplanung für die Realisierung des IAF **110**
4.1 Umsetzungsplanung für die Realisierung des IAF 110
4.2 Geschäftsmodell 119
4.3 Finanzierungsoptionen 125
4.4 Formulierung von Handlungsempfehlungen 131

5. Glossar **134**

6. Anhang 1 **139**

7. Anhang 2 **141**

Abbildungsverzeichnis **142**

Tabellenverzeichnis **143**

Impressum **145**

Einleitung zum Gutachten

Das autonome und vernetze Fahren wird eine prägende Technologie in den kommenden Jahrzehnten werden. Bereits heute können Fahrzeuge teil- bis hochautomatisiert fahren. Damit verbunden sind ein Komfortgewinn für die Nutzenden im Individualverkehr, eine Erhöhung der Verkehrssicherheit und Möglichkeiten zur Ergänzung des bestehenden ÖPNV Angebotes z. B. in den Tagesrandzeiten sowie in Quartieren. Bevor das autonome Fahren aber in den Regelbetrieb übergehen kann, sind noch viele Forschungsfragen zu klären und anwendungsspezifische Entwicklungen vorzunehmen.

Mit den aktuellen Projekten NAF-Bus und TaBuLa in Schleswig-Holstein sowie dem Reallabor Hamburg Teilprojekt 4, HEAT und der Teststrecke für automatisiertes und vernetztes Fahren in Hamburg (TAVF) werden bereits umfangreiche Erfahrungen im öffentlichen Verkehr und motorisierten Individualverkehr gesammelt. Da die Laufzeit dieser geförderten Projekte aber endlich ist, gilt es Wege aufzuzeigen, wie das gesammelte Wissen strategisch gesichert, weiterentwickelt und unter Beachtung von Synergiepotentialen dauerhaft in der Metropolregion Hamburg etabliert werden kann.
Aus diesen innovationspolitischen Gründen will die Metropolregion Hamburg prüfen, ob und wenn ja, wie eine länderübergreifende Zentrale für autonomes Fahren in Norddeutschland zu realisieren wäre. Der länderübergreifende Ansatz bringt bei der geschilderten Thematik einen besonderen regionalwirtschaftlichen Mehrwert, da durch den Abbau von Fragmentierung über die Ländergrenzen hinweg ein größerer Mobilitätsnutzen und eine erhöhte Lebensqualität für die gesamte Metropolregion etabliert werden können.
Das Gutachten „Machbarkeits-, Konzept- und Realisierungsstudie für ein Innovationszentrum Autonomes Fahren (IAF) in der Metropolregion Hamburg" wird in diesem Zusammenhang die Ausgangssituation, den Status-Quo, in der Metropolregion Hamburg beleuchten. Hierzu wird die Ausprägung der Standortfaktoren interpretiert, die durch die technologischen und politischen Rahmenbedingungen bedingt sind. Darauf aufbauend wird das Potenzial sowie Chancen und Risiken des autonomen Fahrens für die Verkehrsentwicklung in der MRH in unterschiedlichen Nutzungsszenarios betrachtet, um daraus Alleinstellungsmerkmale und Handlungsempfehlungen für ein mögliches Innovationszentrum Autonomes Fahren abzuleiten. Im Rahmen von konzeptionellen Überlegungen wird folgend ein Entwurf für ein modulares IAF entstehen und die tragenden Säulen des Konzeptentwurfes definiert. Das Gutachten schließt mit einem Umsetzungsplan.

1. Ausgangslage in der MRH

Um den Status quo darzustellen, wird zunächst die wirtschaftliche Ausgangslage auf Basis des OECD-Berichtes zur Regionalentwicklung (2019) dargestellt. Weitere Relevanz für die Bestimmung des technologischen und sozioökonomischen Ausgangspunktes hat die Bewertung des Standes der Technik, aber auch der rechtlichen Rahmenbedingungen in Deutschland sowohl im Individualverkehr als auch im öffentlichen Verkehr. Die Ergebnisse hierzu sind zum Teil auch auf andere Verkehrsbereiche wie Güterverkehr und intermodale Systeme übertragbar. Darauf aufbauend wird die Ausgangslage der Beteiligten in der Region im Bereich AVF zusammengefasst.

Auf dieser Basis können im HAP 2 Potenziale und somit Handlungsempfehlungen für die MRH abgeleitet werden. Daraus können Prognosen über zukünftige Entwicklungen getroffen werden und in die strategische Planung eines Innovationszentrums Autonomes Fahren (IAF) einfließen.

1.1 Sozioökonomische Ausgangslage der MRH

Geografische Abgrenzung der Metropolregion Hamburg

Im ersten Schritt erfolgt die Abgrenzung der Metropolregion Hamburg, sodass der Bezugsrahmen der Analyse festgelegt ist. Dies erfolgt auf geografischer Ebene.

Der Bezugsraum der Untersuchung ist die Metropolregion Hamburg (MRH) mit ihren zugehörigen 20 (Land-)Kreisen und kreisfreien Städten sowie insgesamt über 1.100 Kommunen auf ca. 28.469 km². Die MRH umfasst heterogene städtische und ländliche Räume in vier Bundesländern (die Freie und Hansestadt Hamburg sowie Teile der drei angrenzenden Bundesländer). So gehören 51% der Landesfläche Schleswig-Holsteins, 30% Mecklenburg-Vorpommerns und 26% Niedersachsens zur MRH. Sie ist damit „mit ungefähr 8% der Fläche der Bundesrepublik die zweitgrößte deutsche Metropolregion hinter Berlin-Brandenburg“. Nur 12,5% der Gesamtfläche werden als Siedlungs- und Verkehrsfläche genutzt. Dies ist insbesondere mit der heterogenen Raumstruktur der Metropolregion Hamburg eng verknüpft. Durch einen engen Verflechtungsraum und eine relativ weitläufige Peripherie in die angrenzenden Bundesländer entstehen in den Randgebieten zunehmend ländlich geprägte Raumstrukturen. An dieser Stelle muss darauf verwiesen werden, dass die überregionale Bedeutung und die bürokratischen Zuständigkeiten der Länder dazu führen können, dass die für diese Studie zu Beteiligenden auch über die Grenzen der Metropolregion Hamburg hinaus zu berücksichtigen sind.

Ausgangslage auf Basis des OECD-Berichtes

Die Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) veröffentlichte im Herbst 2019 einen Bericht zur Regionalentwicklung in der Metropolregion Hamburg. In diesem wurden die Analyseergebnisse der MRH bezüglich ihrer Wettbewerbs- und Innovationsfähigkeit sowie der nachhaltigen Stadt- und Regionalentwicklung publi-

ziert. Metropolregionen sind dabei besser in der Lage, durch die Agglomeration Synergieeffekte auszuschöpfen als einzelne Städte oder (Land-)Kreise.

Abb. 1.1 (Land-)Kreise und kreisfreie Städte der Metropolregion Hamburg

Quelle: https://metropolregion.hamburg.de/karte

Diese Effekte entstehen vor allem durch den regen Wissensaustausch von Unternehmen und Arbeitskräften in Ballungsräumen und führen in der Regel zu einer Steigerung von Innovationskraft und Produktivität. Die Fragmentierung und administrative Zersplitterung können aber dafür sorgen, dass entsprechende Agglomerationseffekte verhindert oder nicht vollumfänglich ausgenutzt werden. Große Metropolregionen, wie die MRH, die aus einer Vielzahl von Kommunen in vier Bundesländern besteht, stehen oft aufgrund der Größe und der Weitläufigkeit sowie Anzahl der Akteure vor größeren Herausforderungen, um die positiven Effekte der Agglomeration auszuschöpfen.

Das Potenzial der Wirtschaftsleistung in der MRH wird nach aktuellem Stand des OECD-Berichtes zur Regionalentwicklung in der Metropolregion Hamburg („Territorial Review" 2019) nicht ausgeschöpft. Zwar kann die MRH wirtschaftliche Erfolge, starke Industriecluster und bedeutende Forschungseinrichtungen aufweisen, hat aber im Vergleich zu anderen deutschen Regionen im Zeitraum 2005-2015 das schwächste Pro-Kopf-BIP erzielt. In ihrem Ergebnisbericht gab die OECD konkrete Handlungsempfehlungen in den Themengebieten Innovation, Bildung und Fachkräfte, Digitalisierung, Wohnraum- und Verkehrsplanung, erneuerbare Energien, sowie Kultur und Tourismusmarketing. Besonders wichtig wurde der „Think Big"-Gedanke gesehen, um die Zersplitterung abzubauen,

über die Ländergrenzen zu handeln und die grenzüberschreitende Zusammenarbeit zu stärken.
Für den Mobilitätssektor der MRH bedeutet dies explizit, dass „t[T]rotz einer erfolgreichen regionalen Zusammenarbeit im Verkehrswesen beeinträchtigen[de] Unterschiede bei der Verkehrsanbindung die wirtschaftliche Integration und den territorialen Zusammenhalt in der MRH [beeinflussen]".

Für Innovation und Digitalisierung bedeutet es:

- „Begrenzte Kapazitäten für Innovationsinvestitionen und fehlende Koordination bei der Clusterentwicklung beeinträchtigen das Wachstumspotenzial der Region"
- „Trotz guter Voraussetzungen, um von der Digitalisierung zu profitieren, besteht in der MRH immer noch eine digitale Stadt-Land-Kluft"

Die Anregungen aus dem OECD-Bericht sind in die Beratungen des Regionsrats eingeflossen. Daraus haben die Träger der Metropolregion Hamburg im Frühjahr 2020 in acht Arbeitsgruppen knapp 100 konkrete Vorschläge erarbeitet. Im Juni 2020 wurde eine Zukunftsagenda mit 18 priorisierten, zukunftsweisenden Projekten als Ergebnis von Trägerarbeitsgruppen festgelegt, um auch in Zukunft wirtschaftlich erfolgreich und attraktiv zu bleiben sowie als Region noch mehr Lebensqualität anzubieten.

Auf die Herausforderungen reagiert die MRH vor allem mit folgenden Projekten aus der Zukunftsagenda:

- Koordinierungskreis Raumentwicklung,
- Kompetenzcentrum Mobilität,
- Eisenbahnknoten Hamburg,
- Länderübergreifende Koordination von Baustellen und Verkehrsstörungen durch digitale Verkehrsmanagementsysteme,
- **Innovationszentrum Autonomes Fahren,**
- Innovationsstrategie/Innovationsagentur,
- Umbau der Tarifsysteme.

Das **Innovationszentrum autonomes Fahren (IAF)**, welches in der vorliegenden Studie konzeptionell untersucht wird, ist eines der Projekte der Zukunftsagenda.

Folgende Ziele aus der OECD-Studie sind von besonderer Relevanz für die Bearbeitung der Machbarkeitsstudie zum IAF:

- Stärkung Innovationsfähigkeit,
- Ausschöpfung Digitalisierung – insbesondere unter Gleichberechtigung Stadt und Land,
- Reduzierung Verkehrsbelastung im urbanen Raum durch Implementierung Intelligenter Verkehrssysteme (ITS),

- Schließung von Angebotslücken im ÖPNV, um Herausforderungen wie wirtschaftliche Integration anzugehen,
- Verbesserung Verkehrsanbindung durch Mobilitätsmanagement und neue Technologien,
- Verbesserung Verkehrs- und Wohnungsbauplanung.

Bei der Zielerreichung ist es wichtig, auf den bisherigen Kompetenzen und Erfahrungen in der MRH aufzubauen, diese auszubauen, weiterzuentwickeln und im Sinne der wirtschaftlichen Entwicklung sowie der Ziele der OECD-Studie wettbewerbsfähig zu gestalten. Die Studie verfolgt daher den Ansatz, zunächst den Status quo generell, aber speziell in der MRH aufzuzeigen und auf diesem aufzubauen. So werden in den nächsten Kapiteln ein allgemeiner Stand der Technik, die rechtlichen Grundlagen und Leuchtturmprojekte aufgeführt.

1.1.1 Darstellung Stand der Technik AVF

1.1.1.1 Automatisiertes und autonomes Fahren

Das automatisierte Fahren oder das autonome Fahren[1] beschreibt zum Teil aktuelle, aber im Wesentlichen zukünftige Eigenschaften von Kraftfahrzeugen.

Die Bundesregierung hat im September 2015 die „Strategie automatisiertes und vernetztes Fahren - Leitanbieter bleiben, Leitmarkt werden, Regelbetrieb einleiten" (Strategie AVF) beschlossen. Diese Strategie sollte Maßnahmen in sechs Handlungsfeldern umsetzen: Infrastruktur, Recht, Vernetzung, Innovationsförderung, IT-Sicherheit und Datenschutz sowie gesellschaftlicher Dialog. Seitdem ist in den letzten sechs Jahren viel passiert. In zahlreichen Bundesländern wurden Testfelder auf öffentlichen Straßen etabliert und es konnte der Realbetrieb von Fahrzeugen mit automatisierten Fahrfunktionen forciert sowie die Leistungsfähigkeit moderner Technologien zur Umgebungserfassung evaluiert werden. Das automatisierte Fahren generell und speziell die Themen Infrastruktur, Vernetzung, Big-Data, digitale Karten und V2I-Kommunikation konnten auf diesen Testfeldern erprobt und weiterentwickelt werden, stellen aber immer noch einen aktuellen Themenkomplex dar. Im Bereich des Rechts konnte sowohl der internationale Rechtsrahmen (Wiener Straßenverkehrskonvention) vorangetrieben und auch das nationale Straßenverkehrsgesetz in den Jahren 2017 und 2021 geändert werden. Zu den Themen IT-Sicherheit und Datenschutz sowie Souveränität der Daten wurden Leuchtturmprojekte der GAIA-X-Familie auf den Weg gebracht. Die Strategien der Bundesregierung spielen in diesem Zusammenhang bei der Entwicklung des AVF in Deutschland eine zentrale Rolle. Da derzeit anhand der Technologiereife eine geringe, bis keine kommerzielle Verwertungsmöglichkeit besteht, ist die Forschungsförderung ein wichtiger Impulsgeber für industriepolitische Anreize.

Die folgenden Abschnitte werden daher in die Automatisierungsstufen und die aktuellen Technologieansätze einführen sowie einen kurzen Überblick zum Stand der Technik im Individualverkehr und Ö(PN)V geben.

[1] *Beim automatisierten Fahren nimmt die fahrzeugführende Person ein Rückfalloption ein, wenn die Fahraufgabe nicht mehr automatisiert durch das Fahrzeug bewältigt werden kann. Beim autonomen Fahren nehmen die Passagiere im Unterschied zum automatisierten Fahren keine fahrbezogenen Aufgaben mehr wahr.*

1.1.1.2 *Automatisierungsstufen*

In der Öffentlichkeit und auch in der Wirtschaft hat sich international die Klassifizierung nach sogenannten Automatisierungslevels (Level 0 bis 5) der SAE International (früher: Society of Automotive Engineers) etabliert und findet in hohem Maße Verwendung in der Presse und der Wirtschaft. Daher wird auch im Kontext des IAF darauf zurückgegriffen.
Die letzte Aktualisierung der SAE-Norm fand im April 2021 statt: Der Vollständigkeit halber wird auch diese Klassifizierung gemäß dem **Standard SAE J3016_202104**[1] im Folgenden eingeführt. Dabei wird bei der Bezeichnung der Automatisierungslevel die direkte Übersetzung aus dem Englischen verwendet.

SAE Level	Name	Steuerung	Überwachung des Fahrumfeldes	Ausweichung bei Ausfall auf	Systemfähigkeit
Überwachung der Umgebung durch menschliche Person					
0	kein automatisiertes Fahren	menschlicher Fahrer	menschlicher Fahrer	menschlicher Fahrer	-
1	Fahrunterstützung	menschlicher Fahrer & automatisches Fahrsystem	menschlicher Fahrer	menschlicher Fahrer	einige Fahraufgaben
2	Teilautomatisiertes Fahren	automatisches Fahrsystem	menschlicher Fahrer	menschlicher Fahrer	einige Fahraufgaben
Überwachung der Umgebung durch automatisches Fahrsystem					
3	Bedingt automatisiertes Fahren	automatisches Fahrsystem	automatisches Fahrsystem	menschlicher Fahrer	einige Fahraufgaben
4	Hochautomatisiertes Fahren	automatisches Fahrsystem	automatisches Fahrsystem	automatisches Fahrsystem	einige Fahraufgaben
5	Vollautomatisiertes Fahren	automatisches Fahrsystem	automatisches Fahrsystem	automatisches Fahrsystem	alle Fahraufgaben

Abb. 1.2 Schematische Übersicht zu Automatisierungsstufen nach SAE3016J

- **Kein automatisiertes Fahren (Level 0):** Die fahrzeugführende Person übernimmt die dynamische Fahraufgabe, auch wenn unterstützende Systeme vorhanden sind.
- **Fahrunterstützung (Level 1):** Fahrbetriebsspezifische Ausführung entweder der Lenkung oder der Beschleunigung/Verzögerung durch ein Fahrassistenzsystem unter Verwendung von Informationen über die Fahrumgebung und unter der Erwartung, dass die fahrende Person alle übrigen Aspekte der dynamischen Fahraufgabe übernimmt. Dazu zählen bspw. der Spurhalteassistent oder der Abstandshalteassistent.
- **Teilautomatisiertes Fahren (Level 2)**: Fahrbetriebsspezifische Ausführung sowohl der Lenkung als auch der Beschleunigung/Verzögerung durch ein oder mehrere Fahrassistenzsysteme unter Verwendung von Informationen über die Fahrumgebung und in der Erwartung, dass die fahrzeugführende Person alle übrigen Aspekte der dynamischen Fahraufgabe ausführt. Zu diesen Anwendungen gehören zum Beispiel das automatische Parken oder Autobahnassistenzsysteme.
- **Bedingt automatisiertes Fahren (Level 3)**: Fahrbetriebsspezifische Ausführung aller Aspekte der dynamischen Fahraufgabe durch ein automatisiertes Fahrsystem in der

[1] *https://www.sae.org/standards/content/j3016_202104/ (Abgerufen am 20.01.2022)*

Erwartung, dass die fahrzeugführende Person auf Anforderung zum Eingreifen angemessen reagiert. Das Fahrzeug übernimmt für definierte Anwendungen, z. B. beim Fahren auf der Autobahn, selbstständig Fahraufgaben wie das Beschleunigen, das Bremsen, das Lenken oder den Spurwechsel. Die fahrzeugführende Person darf sich währenddessen vorübergehend von der Fahraufgabe abwenden. Wenn eine Situation nicht mehr automatisch bewältigt werden kann, wird die fahrzeugführende Person wieder zur Übernahme aufgefordert.

- **Hochautomatisiertes Fahren (Level 4)**: Fahrbetriebsspezifische Ausführung aller Aspekte der dynamischen Fahraufgabe durch ein automatisiertes Fahrsystem, auch wenn die fahrzeugführende Person nicht angemessen auf eine Aufforderung zum Eingreifen reagiert. Das System übernimmt die komplette Fahrzeugführung für bestimmte Anwendungen. Muss der Automationsmodus verlassen werden, kann das System das Fahrzeug selbstständig in einen risikominimalen Zustand versetzen.
- **Vollautomatisiertes Fahren (Level 5)**: Vollständige Ausführung aller Aspekte der dynamischen Fahraufgabe durch ein automatisiertes Fahrsystem unter allen Straßen- und Umgebungsbedingungen, welche von einer fahrzeugführenden Person bewältigt werden könnten. Das Fahrzeug bewegt sich selbständig, eine Überwachung ist nicht mehr nötig.

Es ist darauf zu verweisen, dass insbesondere im deutschen Sprachgebrauch und auf Seiten der Bundesministerien eine andere Bezeichnung der Automatisierungslevel existiert, die nicht mit der direkten Übersetzung aus dem Englischen übereinstimmt. Abweichende Definitionen werden beispielsweise durch die „Klassifizierung der kontinuierlichen Automation" des Runden Tisches „Automatisiertes Fahren" begründet[1].

1.1.1.3 Strategien zur Einführung des AVF

Zur Einführung von Technologien des automatisierten Fahrens werden derzeit zwei strategisch konkurrierende Ansätze durch den Automobilsektor und große Technologiekonzerne verfolgt. Daneben gibt es diverse Startups als Technologieanbieter und Hersteller von ÖPNV-Shuttles.

Zum einen wird insbesondere vom deutschen **Automobilsektor** der evolutionäre Ansatz zur stufenweisen Einführung von automatisierten Fahrfunktionen vorangetrieben. Die Unternehmen folgen dabei im Wesentlichen stufenweise der weiter oben von der SAE definierten Klassifizierung und erreichen aktuell Level 3.[2] Dabei werden neue Fahrfunktionen als Zusatzpakete in bestehenden, zumeist höherwertigen Modellreihen stufenweise monetarisiert[3], erreichen aktuell jedoch keine hohen Produktionszahlen.[4] Gleichzeitig bleibt für die Automobilindustrie im automatisierten Fahren eine Chance, ihre bisherigen Abo- oder Software-as-a-Service-Geschäftsmodelle im Bereich Unterhaltung zu platzieren. Dieses Geschäftsfeld musste sich dem Wettbewerb mit dem Smartphone mit entsprechender Mobilfunkverbindung stellen. In diesem Wettbewerb konnten sich die Embedded-Systeme im Automobilumfeld gegen das Smartphone bisher aus verschiedenen Gründen (Kosten, Funktionsumfang, Updates) nicht durchsetzen. Ob die fahrzeugherstel-

[1] *Deutscher Bundestag Drucksache 19/27439, Seite 16, Abs 1 (Abgerufen am 20.01.2022)*
[2] *Kraftfahrt-Bundesamt Pressemitteilung Nr. 49/2021: KBA erteilt erste Genehmigung zum automatisierten Fahren am 02.12.2021 (Abgerufen am 04.02.2021)*
[3] *Deutscher Bundestag Drucksache 19/26135 vom 14.01.2021: Bericht der Bundesregierung über Maßnahmen auf dem Gebiet der Unfallverhütung im Straßenverkehr 2018 und 2019, Abschnitt 3.5.5 Fahrzeugsicherheit bei PKW, S35ff., Tabellen 2-4 (Abgerufen am 04.02.2022)*
[4] *Kraftfahrt-Bundesamt: Jahresbilanzen der Neuzulassungen 2019, 2020*

lenden Unternehmen es schaffen, durch das AVF das Auto selbst in das Zentrum als „mobiles Endgerät" zu rücken um das zukünftige Marktumfeld mit Mobilitätsdaten nicht nur großen Marketplace-Anbietern wie Google und Apple zu überlassen, kann derzeit nicht vorhergesagt werden.

Auf der anderen Seite verfolgen **Technologiekonzerne** wie Apple, Alphabet (Google), Amazon, Alibaba, Baidu etc. den disruptiven Ansatz und setzen nicht auf bestehenden Systemen auf, sondern entwickeln Fahrfunktionen und Software direkt für das hochautomatisierte Fahren. Durch das automatisierte Fahren können ihre bisher sehr erfolgreichen Geschäftsmodelle, Produkte und Dienstleistungen in die Mobilitätsbranche gebracht werden. Generell hält sich die Branche aber sehr bedeckt, was die Veröffentlichung von Strategien angeht. Dabei sind die Konzerne primär daran interessiert, Software basierte Serviceplattformen für Mobilitätsdienste zu etablieren als selbst Fahrzeuge zu entwickeln bzw. zu bauen. Dafür sprechen die versuchten oder etablierten Kooperationen mit den Automobil herstellenden Unternehmen[1,2,3,4] einerseits und die Nutzung von Serienfahrzeugen für die Erprobung des autonomen Fahrens oder zur Einführung von Robotaxi-Diensten andererseits. Nur Apple nimmt in diesem Zusammenhang eine besondere Stellung ein. Das Unternehmen führt das Design und Engineering für eigene Produkte selbstständig aus und lässt nur die Fertigung extern, zumeist in Asien, durchzuführen.

Den disruptiven Ansatz verfolgen die Hersteller automatisierter Shuttles für die Anwendung im Ö(PN)V. Die aktuell verfügbaren und in europäischen Testfeldern eingesetzten automatisierten Shuttle-Busse gehören meist den fahrzeugherstellenden Unternehmen EasyMile, NAVYA und 2getthere (heute ZF) an. Diese Unternehmen fokussieren sich vorwiegend auf die Entwicklung der Software für die automatisierte Fahrfunktion. Kooperationen mit Karosserieherstellern oder in eigener Kleinserie gefertigte Fahrzeuge ermöglichen dann den Einsatz dieser Technologie im Markt. Im Gegensatz zu den OEM des Automobilsektors und den Technologiekonzernen sind die Unternehmen als Start-Ups gestartet und haben sich Fremdkapital über Investoren und Beteiligungen eingeholt.

1.1.1.4 Umgebungserfassung

Die Umgebungserfassung von autonomen Fahrzeugen stellt einen wichtigen Entwicklungsschwerpunkt im Rahmen der Automatisierung von Fahrfunktionen dar. Als Sensor-Standard wurde in den letzten Jahren ein Mix redundanter Systeme aus Videokameras, Radar und LiDAR eingesetzt. Zum Teil werden aber auch unterschiedliche Ansätze verfolgt. So gab z. B. Tesla Inc. im Jahr 2021 über ein Update auf eigener Webpräsenz bekannt in Zukunft bestimmte Modelle für den nordamerikanischen Markt nur noch mit „Tesla Vision" auszuliefern.[5,6] Tesla will damit den Autopiloten rein auf Videokamerabasis weiterentwickeln (acht Kameras, die eine 360°-Überwachung mit bis zu 250 m Reichweite gewähren sollen und zwölf Ultraschallsensoren für den Nahbereich) und die komplementäre Radarsensoren in der nächsten Generation aus den Fahrzeugen zu nehmen.

Für die Selbstlokalisierung auf der Fahrbahn werden einerseits 3D-Karten mit Low-Level-Merkmalen verwendet, die anhand der lokalen Umgebungserfassung mit Deep Learning

[1] *Waymo Press Release 25.06.2020: Partnering with Volvo Car Group to scale the Waymo Driver (Abgerufen am 26.01.2022)*
[2] *Jaguar Land Rover and Waymo today announce a long-term strategic partnership (Abgerufen am 26.01.2022)*
[3] *Hyundai Motor Group and Baidu Fortify Partnership (Abgerufen am 26.01.2022)*
[4] *Amazon Press release 05.01.2022: Amazon and Stellantis Collaborate (Abgerufen am 26.01.2022)*
[5] *https://www.tesla.com/support/transitioning-tesla-vision (Abgerufen am 20.01.2022)*
[6] *Reuters Press Release: Tesla drops radar is autopilot system safe (Abgerufen am 20.01.2022)*

Verfahren auf Übereinstimmung geprüft werden. „Diese Verfahren sind im Allgemeinen sehr genau und funktionieren für viele verschiedene Szenarien. Nachteile sind die [...] hohe Menge an Daten, die für die Karten erforderlich sind, sowie die mangelnde Robustheit gegenüber veränderten Umweltbedingungen zwischen Kartenerzeugung und Lokalisierung (Wetterunterschiede, Tag/Nacht, jahreszeitliche Unterschiede)."[1] Andererseits gibt es merkmalbasierte Verfahren, die mit High-Level Objekten arbeiten. Die Idee ist die Gesamtdatenmenge der Karte auf das Notwendigste zu reduzieren, die Objekte, Straßenmarkierungen oder Straßenschilder, aber mit semantischer Bedeutung oder Information anzureichern. „Diese Objekte werden mit Methoden des Machine-Learning aus den Sensorbildern extrahiert und mit einer bestehenden Karte, die diese Objekte enthält, abgeglichen. Aufgrund des hohen Abstraktionsgrades der verwendeten Landmarken sind diese Verfahren [...] robust gegenüber veränderten Umwelteinflüssen und benötigen geringe Datenmengen."[2] Mobileye spricht z. B. von einer Kommunikationsbandbreite von durchschnittlich 10 kB pro Fahrbahnkilometer.[3]

Im Labor und auch in klar umrissenen Testsituationen auf öffentlichen Straßen (moderater Verkehr, übersichtliche Kreuzungen, gute und stabile Witterungsbedingungen) wird bereits Level-4-Technologie genutzt, wie diverse Demonstrationen der Entwicklungsprojekte von Apollo Go (Baidu)[4], Pony.ai (Toyota)[5] und Waymo[6] zeigen.

1.1.1.5 Sensorik

Die große Mehrheit in der Automobilindustrie setzt auf einen Sensor-Mix aus verschiedenen Sensorsystemen. Kamera, Radar und LiDAR besitzen dabei komplementäre Fähigkeiten.

Monokulare Kameras können durch ihre Auflösung Details und Farben mit hoher Präzision erkennen. Zusätzlich gibt es die Möglichkeit, z. B. bei Dunkelheit, mit lichtverstärkenden Sensoren zu arbeiten oder Interpolation bzw. Bildverarbeitung zu verwenden, um gewisse Effekte auszublenden oder zu verstärken. Für größere Entfernungen werden Teleobjektive eingesetzt. Aktuelle Serienprodukte weisen dabei einen horizontalen Öffnungswinkel von 100° und eine Auflösung von 2,6 MP auf.[7] Durch die geleistete Vorarbeit in der Industrie und zahlreiche Open-Source-Quellen existieren heutzutage viele Grundlagen, um kamera-basiert Projekte mit Machine-Learning zu realisieren. Auf Basis dieser Technologie können aus Bildern grundlegende Informationen (Fahrspurmarkierung, Verkehrszeichen, Verkehrsteilnehmer) detektiert werden. Monokulare Kamerasysteme bieten aber keine Tiefeninformation, für z. B. Entfernungsmessungen. Dafür sind Stereo-Systeme notwendig. Für eine 360° Umgebungswahrnehmung werden von Mobileye elf Kameras[8] mit 8 MP Auflösung eingesetzt. Tesla Inc. arbeitet zur Bewältigung dieser Aufgabe mit acht Kameras.[9] Diese beiden Unternehmen zählen zu den Führenden bei der Entwicklung autonomer Fahrfunktionen auf Basis visueller Kamera-Systeme. Laut eigener Auskunft kann „Mobileye SuperVision™" autonome Fahrfunktionen ohne redundante

[1] *Verbundbericht Projekt SAFARI (FKZ: 16AVF1029), S. 12*
[2] *Verbundbericht Projekt SAFARI (FKZ: 16AVF1029), S. 12-13*
[3] *https://www.mobileye.com/our-technology (Abgerufen am 07.02.2022)*
[4] *Apollo Go: Development Route (Abgerufen am 07.02.2022)*
[5] *Pony.ai: October 2021 Granted to conduct driverless tests on public roads in Beijing (Abgerufen am 07.02.2022)*
[6] *Waymo Press Release: Waymo is opening its fully driverless service to the general public in Phoenix, Oktober 2020 (Abgerufen am 07.02.2022)*
[7] *Bosch: Datenblatt Multifunktionskamera (Abgerufen am 07.02.2022)*
[8] *Mobileye Sensorausstattung: https://www.mobileye.com/super-vision/ (Abgerufen am 07.02.2022)*
[9] *Tesla Sensorausstattung: https://www.tesla.com/de_DE/autopilot (Abgerufen am 07.02.2022)*

Sensoriken realisieren.[1] Ein redundant arbeitendes System auf Basis von Radar und LiDAR dient der Verbesserung der Fahrsicherheit und der mittleren Betriebsdauer zwischen Ausfällen. Kamerasysteme haben allerdings, wie auch das menschliche Auge, ihre Herausforderungen bei sich schnell ändernden Lichtverhältnissen, in Dunkelheit, Nebel und Regen.

Bei eingeschränkter Sicht wegen Witterung und Dunkelheit haben Radarsysteme Vorteile. Die Radartechnologie ist seit der Frühzeit der Fahrassistenzsysteme im Automobil vorhanden. Sie kann Entfernungen, Geschwindigkeiten und Bewegungen sehr gut detektieren. Die vom Radar ausgesendeten Radiowellen liegen typischerweise im Frequenzbereich zwischen 76 GHz und 81 GHz und entsprechen damit einer Wellenlänge von einigen Millimetern.[2] Dadurch lassen sich die Radarwellen nicht durch kleinere Objekte wie Regen, Nebel oder Staubpartikel ablenken und funktionieren sehr gut bei diesen Verhältnissen. Radare haben allerdings Ihre Herausforderungen in der Winkelauflösung und Abstandsgenauigkeit. So sind neue Radarsensor-Generationen mit einer Abstandsauflösung von 0,2 Metern spezifiziert[3], doch diese laterale Auflösung des Radars ist stark vom Radarquerschnitt des zu detektierenden Objektes abhängig und kann größere Werte bei höherer Entfernung erreichen. Wegen dieser Eigenschaften werden Radarsysteme mit Sensoren zur Detailerfassung kombiniert.

Light-Detection-and-Ranging-Sensoren (LiDAR) bieten mehrdimensionale räumliche Auflösung und Reichweiten von bis zu 300 Metern. Dabei arbeitet die LiDAR-Technologie mit ähnlichen physikalischen Prinzipien, mit dem Unterschied, dass statt Radarwellen Laserstrahlen eingesetzt werden und damit eine höhere Auflösung erreicht wird. Im Detail wird ein kleiner Infrarot-Laserstrahl auf eine Oberfläche gerichtet und die Zeit gemessen, die der Laser benötigt, um zu seiner Quelle zurückzukehren. Mit einem klassischen LiDAR mit einem 360°-Sichtwinkel (z. B. mit einem drehbaren Spiegel) lässt sich eine Punktwolke der Umgebung erstellen. Anschließend wird mit einer speziellen Software ein 3D-Lagebild erstellt, das die Umgebung um das LiDAR herum mit einer genauen Position im Raum und Entfernungen wiedergibt. Die punktgenauen Laserstrahlen im Mikro- und Nanometerbereich erkennen kleine und schwach reflektierende Objekte wie etwa einen Backstein selbst auf Entfernungen von ca. 200 m. Allerdings waren die Stückpreise dieser Systeme bis vor kurzem im fünfstelligen Bereich und damit zu teuer für künftige Serienfahrzeuge. Nachdem verschiedene internationale Unternehmen die teuren, beweglichen Spiegelkomponenten mit 360°-Sichtwinkel durch stationäre Elektronik und Solid-State-Modelle ersetzt haben, wird der Preis von LiDAR in konkurrenzfähigen, dreistelligen Bereich fallen. [4]

Die Solid-State-Sensoren unterschiedlicher Unternehmen unterscheiden sich bei einem ähnlichen physikalischen Prinzip in konzeptionellen Details. Continental setzt z. B. auf einen sogenannten Flashing-LiDAR. Ein Flashing-LiDAR beleuchtet sein Sichtfeld mit einem einzigen, für das menschliche Auge unsichtbaren, optischen Puls. Das macht hohe Bildraten möglich, begrenzt aber die Reichweite auf ca. 100 m. Jeder einzelne Lichtstrahl des optischen Pulses muss dabei genügend optische Energie besitzen, damit seine Reflexion wieder zurück zum Sensor kommt. Die Energie des Laserpulses ist aber durch die

[1] *https://www.mobileye.com/true-redundancy/ (Abgerufen am 07.02.2022)*
[2] *https://www.vdi-nachrichten.com/technik/automobil/mit-lidar-in-die-autonome-auto-zukunft/ (Abgerufen am 20.01.2022)*
[3] *Bosch Front-Radarsensor plus, technische Dokumentation (Abgerufen am 07.02.2022)*
[4] *https://www.vdi-nachrichten.com/technik/automobil/mit-lidar-in-die-autonome-auto-zukunft/ (Abgerufen am 20.01.2022)*

regulatorischen Vorschriften für den Augenschutz begrenzt. Das Hamburger Unternehmen Ibeo setzt auf ein anderes Konzept und leuchtet mit dem Sequential-Flash-LiDAR nur einen Teil des gesamten Sichtfelds aus.[1] Der Sequential-Flash-LiDAR sendet das Licht gezielt in einen definierten Bereich. Andere Unternehmen wie AEye aus den USA arbeiten mit ähnlichen Verfahren bzw. an unterschiedliche Fahrsituationen vorgefertigten Scanmustern für ihre Sensoren und nutzen die Bezeichnung Adaptive, AI-Driven LiDAR.
Unabhängig von dem eingesetzten Sensortyp liefert ein LiDAR-Sensor eine Punktwolke als Ergebnis der Laserstrahlauswertung, auf der Objekte nur punktweise und doch in 3D-Darstellung erkennbar werden. Da die Wellenlänge allerdings im Nano- bis Mikrometerbereich liegt, wird die Umgebungswahrnehmung durch Nebel, Regen, Staub, Rauch etc. stark gestört.

1.1.1.6 Vernetztes Fahren

Die Grenzen in der Wahrnehmung von automatisierten Fahrzeugen gehen auf die physikalischen Grenzen von Messprinzipien zurück. Unabhängig vom Sensoren-Mix wird die Umgebungserfassung autonomer Fahrzeuge zudem durch fehlende Einsehbarkeiten und Verdeckung von Sichtfeldern eingeschränkt. Das wird vor allem durch eine niedrige Fahrzeugperspektive begünstigt. Aus diesem Grund kann ein intelligentes und vernetztes Infrastruktursystem dazu beitragen, sowohl die Geschwindigkeit, den Abstand zu vorausfahrenden Fahrzeugen, die Spurauswahl und den generellen Fahrstil den aktuellen Gegebenheiten anzupassen und den Verkehrsfluss insgesamt zu optimieren. Die Bereitstellung von Echtzeitdaten (Big-Data) zur Lokalisierung und Manöverplanung von Fahrzeugen sowie die dazugehörige bidirektionale Kommunikation zwischen Fahrzeug und Infrastruktur sowie anderen Fahrzeugen (V2X) stellt dabei einen großen Entwicklungsschwerpunkt dar. Das vernetzte Fahren (Austausch von sicherheitsrelevanten Informationen) ist deswegen ein wichtiges und aktuelles Forschungsthema. Im Testfeldmonitor der Bundesanstalt für Straßenwesen wurden in den letzten Jahren 68 geförderte Forschungsprojekte zu diesem Themengebiet auf digitalen Testfeldern gestartet.[2] Im Rahmen der Automatisierung des Verkehrswesens ist die Vernetzung somit ein wichtiger Bestandteil. In diesem Zusammenhang wurden Themenbereiche zu Digitalen-Zwillingen, Aktualisierung von hochpräzisen digitalen Karten, Kommunikationsstandards (UMTS, 4G, IEEE 802.11p, 5G), Verkehrsdatenmanagement, kooperative Fahrmanöver in Mischverkehren etc. adressiert. Solche Thematiken wurden z. B. im Rahmen des Hamburger Projektes HEAT beleuchtet. Es ist jedoch darauf zu verweisen, dass auch eine Vernetzung von Fahrzeugen ohne Automatisierung stattfinden kann, wie beispielsweise im Projekt BiDiMove (HH). Standards für offen zugängliche hochaufgelöste dynamische Kartendaten werden aktuell im Forschungs- und Entwicklungsprojekt EDDY (European Digital Dynamic Mapping) unter Leitung der Behörde für Verkehr und Mobilitätswende der Hansestadt Hamburg erarbeitet.
Die Projekte zum vernetzten Fahren haben vor allem Möglichkeiten für die erfolgreiche Nutzung der vernetzten Mobilität beleuchtet. Grundsätzlich entstehen durch die Einführung moderner Kommunikationstechnologien (5G) und souveräner Datenräume (Gaia-X Future Mobility) große Potenziale zur Entwicklung von Mehrwertdiensten in diesem Bereich. Allerdings spielt in diesem hochsensiblen System für Datenaustausch die Thematik

[1] *https://www.ibeo-as.com/de/produkte/sensoren/ibeonext (Abgerufen am 20.01.2022)*
[2] *BASt-Testfeldmonitor 2022: Filter mit der Kategorie „Vernetztes Fahren" (Abgerufen am 17.01.2022)*

IT-Sicherheit eine sehr entscheidende Rolle. Aus Haftungsgründen wird erwartet, dass externe Daten eher eine untergeordnete Rolle für die Ausführung der autonomen Fahraufgabe bzw. für den Fahrroboter spielen werden und eher eine weitere Datenquelle mit mehr oder weniger Redundanz darstellen werden.

1.1.1.7 Individualverkehr (DE)

Deutschlands Automobilindustrie kann auf dem Gebiet des automatisierten Fahrens Automatisierungslevel 3 vorweisen. Im Jahr 2021 hat Mercedes Benz als erstes OEM vom Kraftfahrt-Bundesamt eine Systemgenehmigung für automatisiertes Fahren auf Level 3 gemäß der technischen Zulassungsvorschrift UN-R157 (Automated Lane Keeping Systems (ALKS)) erhalten. Die S-Klasse von Mercedes darf damit auf geeigneten Abschnitten bei Stau oder stockendem Verkehr eine automatisierte Fahrfunktion bis zu einer Geschwindigkeit von 60 km/h einsetzen.[1] Zur Markteinführung des Audi A8 im Jahr 2017 hatte bereits das Unternehmen Audi versucht eine Systemgenehmigung für automatisiertes Fahren auf Level 3 zu erhalten, dann aber mit der Aussage, dass die Gesetzgebung nicht weit genug sei, im Frühjahr 2020 aufgegeben.[2] Auf die rechtlichen Rahmenbedingungen wird in diesem Zusammenhang im Abschnitt 1.1.2 eingegangen. International ist bekannt, dass Honda für den Honda Legend eine Level 3 Zertifizierung in Japan erhalten hat und das Fahrzeug seit 2021 zum Leasing anbietet.[3]

Neben Start-ups aus dem Silicon Valley, China und Europa treiben Unternehmen wie Mobileye[4] und Nvidia[5] die Entwicklung und die Integration von automatisierten Fahrfunktionen in der Automobilindustrie durch Kooperationen und Bereitstellung von Software-Entwicklungsumgebungen voran. Allgemein als eines der führenden Entwicklungsunternehmen ist die Alphabet-Tochter Waymo bekannt. Nach eigenen Angaben konnte das Unternehmen Anfang 2021 bereits über 20 Millionen automatisierte Meilen auf öffentlichen Straßen absolvieren.[6] Dazu wird mit einer Flotte von über 400 Fahrzeugen in 25 Städten in USA getestet. Aktuell wird seit dem Ausbruch der Corona-Pandemie ein Robotaxi-Dienst ohne mitfahrendes Sicherheitspersonal in Phoenix (Start 2018) und mit Sicherheitspersonal im Fahrzeug in San Francisco (Start 2021) angeboten. Allerdings sind Wetterverhältnisse, Verkehrsaufkommen und Straßeninfrastruktur rund um die Wüstenstadt Phoenix im Bundesstaat Arizona optimal für selbstfahrende Autos ausgelegt, sodass sie eine hohe Automatisierung bei aktuellem Stand der Technik ermöglichen.

Technologiereife im Individualverkehr

Jede Automatisierungsstufe besitzt ihre eigene technologische Reife. Zur Einschätzung der Technologiereife haben sich von der NASA eingeführte neun Technologiereifegrade (TRL) für die Bewertung der Raumfahrttechnologien bewährt.[7] Wenn man sich auf den straßengebundenen Verkehr fokussiert, kann beispielsweise für Level 2 bereits von Marktreife und TRL 9 gesprochen werden. Level 3 hat in Jahr 2021 durch die erfolgreich

---

[1] Handelsblatt vom 10.12.2021, Seite 25: S-Klasse darf autonom auf Autobahnen fahren.
[2] Handelsblatt vom 29.04.2020: Autonomes fahren – Audi verzichtet beim A8 auf den Autopiloten (Abgerufen am 18.01.2022)
[3] Honda Pressemitteilung vom 04.03.2021: Honda startet Sicherheitssystem mit Fahrfunktionen nach Level 3 (Abgerufen am 04.02.2022)
[4] https://www.mobileye.com/our-technology (Abgerufen am 04.02.2022)
[5] https://www.nvidia.com/de-de/self-driving-cars (Abgerufen am 04.02.2022)
[6] Waymo Safety Report, Feb. 2021 (Abgerufen am 18.01.2022)
[7] HORIZON 2020 – WORK PROGRAMME 2014-2015, General Annexes G. Technology readiness levels; https://de.wikipedia.org/wiki/Technology_Readiness_Level (Abgerufen am 20.01.2022)

beantragte Genehmigung durch Mercedes Benz beim Kraftfahrt-Bundesamt TRL 8 (Nachweis der Funktionstüchtigkeit im Einsatzbereich) bzw. TRL 9 erreicht. Level 4 kann nach aktueller Einschätzung nur TRL 6 (Prototyp in Einsatzumgebung) oder TRL 7 (Prototyp im Einsatz 1-5 Jahre) zugeordnet werden.

1.1.1.8 Ö(PN)V (DE)

In den letzten Jahren wurde die Technologie des autonomen Fahrens unter anderem von und für die ÖV-Branche vorangetrieben. Derzeit gibt es in Deutschland auf öffentlichen Straßen noch keinen Anwendungsfall mit nach Level 4 oder 5 fahrenden ÖPNV-Fahrzeugen. Sowohl die rechtlichen Rahmenbedingungen als auch der technische Stand entsprechen aktuell noch nicht dem höchsten Automatisierungslevel. Automatisierte Klein- und Minibusse wurden vielfach auf privaten und öffentlichen Straßen getestet und zur Personenbeförderung eingesetzt, eine Übersicht kann der VDV-Innovationslandkarte entnommen werden (siehe https://www.vdv.de/innovationslandkarte.aspx). Die Fahrzeuge verfügen je nach Modell über sechs, zehn oder mehr Sitzplätze sowie einen Aufbau mit Stehhöhe. Sie werden auch als People-Mover, Shuttles oder Shuttle-Busse bezeichnet.[1]

Die aktuell verfügbaren und in Testfeldern eingesetzten automatisierten Shuttle-Busse der in Europa aktiven Fahrzeug herstellenden Unternehmen wie EasyMile, NAVYA und 2getthere/ZF (u. a.) fahren auf vorher einprogrammierten Strecken entlang eines Referenzpfades oder -schlauches. Die Fahrzeuge verfügen über verschiedene Sensoren bzw. Sensorkombinationen, z. B. GPS-Empfänger, Ultraschall, Radumlaufzähler inkl. Messeinrichtungen für Lenkwinkel, Laserscanner (LiDAR), Radar oder Kameras. Die Umgebung wird mit diesen kontinuierlich erfasst, wodurch die Orientierung, Lokalisierung und Reaktion auf andere Verkehrsteilnehmende im Straßenverkehr möglich ist. Ein Bordcomputer verarbeitet die Daten und wandelt sie in Befehle um, die das Fahrzeug ohne menschlichen Eingriff fortbewegen. Unabdingbar für einen reibungslosen Verlauf und ein ausfallsicheres System ist die Kommunikation, Kombination und der Abgleich zwischen den verschiedenen (Teil-)Komponenten (z. B. den Sensoren untereinander). Man spricht in Fachkreisen in diesem Zusammenhang von Sensorfusion. Der Betrieb eines Shuttles setzt aktuell das Kartographieren der Strecke/n und das Programmieren der jeweiligen Fahrzeugfunktionen auf dieser Trajektorie voraus, die dann mit Zentimetergenauigkeit abgefahren wird. An der Strecke werden dazu statische Referenzpunkte einprogrammiert, um eine umfassende Lokalisierung zu ermöglichen. So wird beispielsweise bei schlechtem GPS-Signal durch Lokalisierung über statische Referenzpunkte weiterhin eine hohe Präzision gewährleistet. Bei der Ausführung der Fahraufgabe muss das Fahrzeugsystem stets seine exakte Position mit dem im Vorhinein aufgenommenen Kartenmaterial abgleichen. Bei statischen oder dynamischen Hindernissen sowie Fehlern bei der Lokalisierung wird das Fahrzeug gemäß Level-4-Definition in einen risikominimierten Zustand gebracht und muss vom Sicherheitspersonal im Fahrzeug bedient werden. Im automatisierten Fahrmodus werden einfache Verkehrssituationen, wie beispielsweise gleichberechtigte Kreuzungen, erhöhtes Verkehrsaufkommen oder ordnungsgemäß parkende Fahrzeuge erkannt und im Regelfall bewältigt. Die Technik kann aber noch nicht mit allen Verkehrssituationen umgehen, z. B. kein Überholen mit Ausweichen auf die Gegenfahrspur oder Umfahren von auf der Stre-

[1] *Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (2021).*

cke befindlichen Hindernissen, wie regelwidrig parkenden Fahrzeugen oder im Weg stehenden Mülltonnen. Da die oben genannten Herstellenden von autonomen Shuttles ihren eigenen Technologie-Stack selbstständig aufbauen, wäre zu erwarten, dass auch diese Manöver zukünftig gemeistert werden. Die größten Herausforderungen treten aktuell noch bei der Signalverarbeitung auf (Falschdetektion von Hindernissen) und bei der Zuverlässigkeit der Fahrfunktion unter Wettereinwirkungen. Die Einführung der bedarfsgesteuerten Fahrfunktionen konnte in vielen bisherigen geförderten Projekten in Deutschland noch nicht technisch realisiert werden, da die oben genannten Unternehmen an eigenen Lösungen für diese Thematik arbeiten und die Schnittstellen entsprechend nicht zur Verfügung stellen (z. B. zum Buchungsportal für die Fahrtanfragen von Fahrgästen). Auch die Kommunikation zwischen Fahrzeugen und Straßeninfrastruktur sowie mit anderen Verkehrsteilnehmenden ist in Projekten zwar vereinzelt umgesetzt worden, kann durch nicht vorhandene oder noch nicht passende Schnittstellen aktuell noch nicht flächendeckend technisch realisiert werden, denn die Integrität und Rechtsverbindlichkeit nicht fahrzeugeigener Daten sind aktuell noch nicht eindeutig abbildbar. Hierzu zählt beispielsweise die Kommunikation zwischen Lichtsignalanlagen und Shuttles oder anderen Fahrzeugen, die u.a. in den Projekten HEAT, TaBuLa oder auch auf der Teststrecke automatisiertes und vernetztes Fahren (TAVF) realisiert werden konnten.
Im Gegensatz zu den aktuell marktführenden Herstellern wurde im Projekt HEAT von der IAV ein eigenes Fahrzeug konstruiert, dessen automatisierte Fahrfunktion neben Karten des Amtes für Geoinformation auch auf Sensorik im Fahrzeug, aber vor allem Sensorik in der Straßeninfrastruktur basierte. In HEAT war es mittels infrastrukturseitiger Sensorik und der Kommunikation zwischen Infrastruktur und Fahrzeug und fahrzeugseitiger Sensorik möglich, ohne Freigabe des Sicherheitsfahrers, links abzubiegen (an einem nicht signalisierten Knoten) und in 2. Reihe stehende Fahrzeuge zu überholen. Im Projekt HEAT konnte für die Rechtsverbindlichkeit und Integrität dieser Daten eine Projektlösung/ein Kompromiss gefunden werden. Aktuell kann (für den Regelbetrieb) kein Infrastrukturbetreiber LSA-Status/Prognose-, HD-Karten-, externe Sensorik-Daten als verbindlich, sondern maximal als Empfehlung klassifizieren. Infolgedessen nutzen Fahrzeughersteller und Betreiber diese Daten als redundante Informationen zur Entscheidungsgrundlage.
Es ist somit technisch noch nicht möglich, unter allen möglichen Umgebungsbedingungen automatisiert zu fahren (Wetter, Lichtverhältnisse, unterstützende Infrastruktur etc.), insbesondere auf Strecken, die nicht kartographiert sind. Der Betriebsbereich inklusive der Konditionen, unter denen ein automatisiertes Fahrzeug sicher betrieben werden kann und die Verkehrssituationen beherrscht, wird üblicherweise mit der englischsprachigen Bezeichnung „Operational Design Domain" (kurz ODD) beschrieben. Im Fall von Systemgrenzen wird die fahrzeugführende Person dazu aufgefordert, die Weiterfahrt zu bestätigen (freizugeben) oder die Steuerung gänzlich zu übernehmen. In solchen Fällen kann ein Shuttle-Bus im manuellen Fahrmodus mit einer Steuerungseinheit (z. B. Joystick, Konsole, Lenkrad, Fernbedienung für Maschinen) gefahren werden, um sich außerhalb der vordefinierten Strecke zu bewegen, größeren Hindernissen auszuweichen oder vorausschauend für das Fahrzeug nicht lösbare Problemsituationen zu umgehen. Für einige Anwendungsfälle kann es hilfreich sein, das Fahrzeug auch flexibel manuell führen zu können, also nicht nur auf einprogrammierten und entsprechend vorbereiteten Strecken. Die bauart-

bedingte Höchstgeschwindigkeit von automatisierten Shuttle-Bussen ist derzeit auf unter 25 km/h begrenzt, weil die Fahrzeuge nicht die Vorgaben des EU-Rechts (Verordnung (EU) 2018/858) sowie UNECE-Regelungen für darüberhinausgehende Geschwindigkeiten einhalten. Diese internationalen Regelungen sind noch nicht auf neue automatisierte Fahrzeugmodelle ausgerichtet, so dass die Shuttle-Busse Regelungen für konventionelle Fahrzeuge erfüllen müssten, z. B. mechanische Lenkung und Bremsung. Vor diesem Hintergrund wurden die bisherigen automatisierten Busse nach nationalen Regelungen und mit Ausnahmeregelungen genehmigt, was nur bis unter 25 km/h bauartbedingter Höchstgeschwindigkeit möglich ist. In Abhängigkeit von der Komplexität der Einsatzumgebung können von der zuständigen Behörde darüber hinaus auch geringere Geschwindigkeiten festgesetzt werden.[1]

Bezüglich des Automatisierungslevels nach SAE International (2021) können die bisher getesteten Shuttle-Busse technisch als Level 3 eingestuft werden. Die Zulassungskriterien erlauben es aber nicht, die für Level 3 bis 5 benötigten Anforderungen zu erfüllen. Unter definierten Betriebsbedingungen fahren die Fahrzeuge selbständig. Um als Level 3 gemäß Definition eingestuft zu werden, müsste die ständige Überwachung entfallen, die gemäß der Zulassungsvorgaben in den bisher im öffentlichen Raum umgesetzten Betrieben gefordert wird und somit nur Level 2 erlaubt. Durch weitere technische Entwicklungen wird perspektivisch damit gerechnet, dass im Rahmen der StVG-Novelle in ausgewählten Betriebsbereichen mit Überwachung aus einer Leitstelle ohne im Fahrzeug befindliches Personal gefahren werden kann. Der Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) hat für diese Lösung die Bezeichnung „Automatisierungsstufe 4 ÖV" eingeführt. Das Fahrzeugsystem überführt sich bei Systemgrenzen selbstständig in einen risikominimalen Zustand und schlägt einer technischen Aufsicht in der Leitstelle des ÖV-Betreibers Manöver zum Umgang mit der Situation vor. Durch die Teleoperation der Leitstelle können auf diese Weise Routenänderungen oder Umfahrungen freigegeben werden, so dass keine dauerhafte Überwachung des Betriebs erforderlich wäre.[2]

Technologiereife im ÖPNV

Nach dem von NASA eingeführten Technologiereifegrad (TRL) ist der aktuelle technologische Stand bei Level 2 der SAE-Skala im ÖPNV auf TRL 7 (Prototyp im Einsatz 1-5 Jahre) einzuordnen, da es sich bei den Shuttles noch um geringe Stückzahlen und meist prototypische Fahrzeuge handelt. Level 4 ist auf TRL 3 (Experimentelle konzeptionelle Tests) einzuordnen.[3]

1.1.2 Darstellung rechtliche und ethische Rahmenbedingungen des AVF

Folgend wird der Stand rechtlichen Rahmenbedingungen im automatisierten und vernetzten Fahren dargelegt. Dieser ist im weitesten Sinne sowohl für den Güterverkehr als auch für den inter- und multimodalen Verkehr übertragbar.

1.1.2.1 Individualverkehr (DE)

Werden Kraftfahrzeuge im öffentlichen Verkehrsraum genutzt, so findet das Straßenverkehrsrecht Anwendung. Das geltende Straßenverkehrsrecht sowie fahrzeugtechnische

[1] *Centrum für Automatisierte Mobilität (2021); Rettig et al. (2021); Kolb et al. (2020).*
[2] *SAE International (2021); Kolb et al. (2020); Centrum für Automatisierte Mobilität (2021).*
[3] *HORIZON 2020 – WORK PROGRAMME 2014-2015, General Annexes G. Technology readiness levels; https://de.wikipedia.org/wiki/Technology_Readiness_Level (Abgerufen am 20.01.2022)*

Vorschriften im Rahmen der Genehmigung von Fahrzeugen werden durch neue Fahrassistenzsysteme (FAS) und automatisierte Fahrfunktionen immer wieder aufs Neue in Frage gestellt. Für das automatisierte Fahren sind vor allem die Regelungen zur Pflicht einer fahrzeugführenden Person während des Betriebs bzw. den Rechten und Pflichten dieser und weiterer Beteiligten von Interesse. Kürzlich wurden in Deutschland die gesetzlichen Rahmenbedingungen für den Betrieb ohne im Fahrzeug befindliche fahrzeugführende Person geschaffen.

Kraftfahrzeuge mit hoch- oder vollautomatisierter Fahrfunktion

Der Betrieb hoch- und vollautomatisierter Fahrfunktionen ist im Rahmen der in §§ 1a und 1b StVG geregelten gesetzlichen Voraussetzungen zulässig.[1] Gemäß § 1a Abs. 2 StVG sind das solche Kraftfahrzeuge, die über eine technische Ausrüstung verfügen,

- die zur Bewältigung der Fahraufgabe – einschließlich Längs- und Querführung – das jeweilige Kraftfahrzeug nach Aktivierung steuern (Fahrzeugsteuerung) kann,
- die in der Lage ist, während der hoch- oder vollautomatisierten Fahrzeugsteuerung den an die Fahrzeugführung gerichteten Verkehrsvorschriften zu entsprechen,
- die jederzeit durch die fahrzeugführende Person manuell übersteuerbar oder deaktivierbar ist,
- die die Erforderlichkeit der eigenhändigen Fahrzeugsteuerung durch die fahrzeugführende Person erkennen kann,
- die der fahrzeugführenden Person das Erfordernis der eigenhändigen Fahrzeugsteuerung mit ausreichender Zeitreserve vor der Abgabe der Fahrzeugsteuerung optisch, akustisch, taktil oder sonst wahrnehmbar anzeigen kann und
- die auf eine der Systembeschreibung zuwiderlaufende Verwendung hinweist.

Diese Anforderungen entsprechen dem SAE J3016 Level 3. Eine fahrzeugführende natürliche Person muss im Fahrzeug anwesend sein und hat diese Rolle auch dann, wenn die Steuerung durch das Automatisierungssystem erfolgt. Die fahrzeugführende Person treffen Überwachungs- und Übernahmeverpflichtungen gem. § 1b StVG. Sie darf sich während der automatisierten Fahrzeugführung vom Verkehrsgeschehen und von der Fahrzeugsteuerung abwenden. Dabei muss sie jedoch derart wahrnehmungsbereit bleiben, dass sie unverzüglich wieder übernehmen kann, wenn das System sie dazu auffordert oder wenn sie erkennt oder auf Grund offensichtlicher Umstände erkennen muss, dass die Voraussetzungen für eine bestimmungsgemäße Verwendung der hoch- oder vollautomatisierten Fahrfunktionen nicht mehr vorliegen. Die letztgenannte Pflicht schränkt die Möglichkeiten der anderweitigen Beschäftigungen der fahrzeugführenden Person während der automatisierten Steuerung ein, gibt aber automatisiertes Fahren bis Level 3 gemäß SAE J3016 frei.

Kraftfahrzeuge mit autonomer Fahrfunktion

Mit dem Gesetz zur Änderung des Straßenverkehrsgesetzes und des Pflichtversicherungsgesetzes - Gesetz zum autonomen Fahren[1] wurden im Jahr 2021 die rechtlichen

[1] *Mit dem Achten Gesetz zur Änderung des Straßenverkehrsgesetzes, gültig seit 21.06.2017 (BGBl. I 2017, 1648).*

Voraussetzungen dafür geschaffen, dass Fahrzeuge mit Überwachung und Eingriffsmöglichkeiten über eine technische Aufsicht in festgelegten Betriebsbereichen ohne im Fahrzeug befindliches Personal betrieben werden dürfen. Die §§ 1d bis 1l wurden im StVG eingefügt. Es handelt sich bei dem Gesetz zum autonomen Fahren um eine Übergangslösung zur Förderung von Innovationen, da auf internationaler Ebene bisher harmonisierte Vorschriften fehlen. Das eigentliche Zielbild für das autonome Fahren entspricht nicht einer nationalen Regelung, die autonome Mobilität an Landesgrenzen enden lässt.
Zur Anwendung des neuen Rechts fehlte bis zum Frühjahr 2022 der Beschluss der Autonome-Fahrzeuge-Genehmigungs-und-Betriebs-Verordnung (AFGBV). Am 25. Mai 2022 hat das Bundeskabinett die Verordnung beschlossen.[2] Eine Veröffentlichung im Bundesgesetzblatt erfolgte am 30 Juni 2022.[3] Es werden Regelungen zu den Anforderungen an Fahrzeugtechnik, -herstellung, -haltung und die neue Rechtsfigur der „Technischen Aufsicht" getroffen, die zum Betrieb von autonomen Fahrzeugen erfüllt werden müssen.[4]
Bei der Nutzung eines Kraftfahrzeugs mit autonomer Fahrfunktion muss gem. § 1d StVG keine fahrzeugführende Person im Fahrzeug mehr anwesend sein, wenn das Fahrzeugsystem gem. § 1e StVG technisch ausgerüstet ist, die Fahraufgabe in einem festgelegten Betriebsbereich (örtlich und räumlich bestimmter öffentlicher Straßenraum) selbständig zu erfüllen. Voraussetzung dafür ist der Einsatz einer Technischen Aufsicht, einer natürlichen Person, welche das Kraftfahrzeug bei Bedarf deaktivieren und Fahrmanöver vor- und freigeben können muss.

Weiterhin gelten u. a. folgende Voraussetzungen für den Betrieb:

- Unabhängigkeit von Eingriffen in die Steuerung sowie von einer permanenten Überwachung der Fahraufgabe durch die Technische Aufsicht,
- Möglichkeit der Versetzung in einen risikominimalen Zustand gem. § 1d Abs. 4 StVG durch die autonome Fahrfunktion bei Erkennung von Systemgrenzen,
- Vorschlagen möglicher Fahrmanöver, wenn ein risikominimaler Zustand erreicht wurde sowie Lieferung von zur Entscheidung durch die Technische Aufsicht notwendigen Daten durch die autonome Fahrfunktion,
- Überprüfung der von der Technischen Aufsicht vorgegebener Fahrmanöver auf Gefährdung von anderen Verkehrsteilnehmern und unbeteiligten Personen,
- Ausreichend stabile und vor unautorisierten Eingriffen geschützte Funkverbindung,
- Vorliegen einer Betriebserlaubnis für das Fahrzeug sowie Zulassung zum Straßenverkehr.

Damit bedarf es im Fahrzeug keiner fahrzeugführenden Person mehr, um ein automatisiertes Fahrzeug gem. SAE-Level 4 bzw. autonomes Fahrzeug gem. StVG zu betreiben. Das Gesetz gibt den Weg frei für das SAE J3016 Autonomielevel 4 und legt einen Schwerpunkt auf Flottenbetriebe und ÖPNV, da die Überwachung des Individualverkehrs

---

[1] *BGBl. I 2021, 3108*
[2] *Autonome Fahrzeuge-Genehmigungs- und Betriebsverordnung (AFGBV) (Abgerufen am 02.06.2022)*
[3] *Bundesgesetzblatt Jahrgang 2022 Teil I Nr. 22 (Abgerufen am 30.10.2022)*
[4] *Autonomes Fahren: Warten auf die AFGBV (Abgerufen am 02.02.2022)*

über eine zentrale Stelle zum aktuellen Zeitpunkt nicht als relevanter Anwendungsfall einzuschätzen ist. Das vollständig autonome Fahren ganz ohne menschliche Überwachung/Steuerung (SAE-Level 5) wird durch die StVG-Novelle jedoch nicht adressiert, weil dem Fahrzeugsystem eine Technische Aufsicht an die Seite gestellt wird und der Betrieb auf einen bestimmten örtlichen Bereich beschränkt wird.
Für die Genehmigungsverfahren sind das Kraftfahrt-Bundesamt und die Behörden nach Bundes- oder Landesrecht oder auf Bundesfernstraßen (soweit dem Bund die Verwaltung zusteht) die Gesellschaft privaten Rechts im Sinne des Infrastrukturgesellschaftserrichtungsgesetzes zuständig. Für den Fall von bereits in den Fahrzeugen verbauten, aber noch nicht aktivierten Systemen wurden die Regelungen in § 1h StVG geschaffen, welche die nachträgliche Aktivierung automatisierter und autonomer Fahrfunktionen Kraftfahrzeuge mit bestehender Typgenehmigung unter bestimmten Voraussetzungen ermöglichen.

Erprobung von automatisierten und autonomen Fahrfunktionen

Neben den Vorschriften, die sich auf den Regelbetrieb automatisierter und autonomer Kraftfahrzeuge (§§ 1a bis 1g StVG) und nachträgliche Aktivierung von Fahrfunktionen (§ 1h StVG) beziehen, ist im Rahmen des § 1i StVG die Erprobung von automatisierten und autonomen Fahrfunktionen zur Weiterentwicklung der Technologie unter abweichenden Voraussetzungen möglich. Für solche Vorhaben muss für das Kraftfahrzeug durch das Kraftfahrt-Bundesamt eine Erprobungsgenehmigung erteilt worden sein, eine Zulassung gem. §1 Abs. 1 StVG vorliegen und die permanente Überwachung entweder durch eine technisch versierte fahrzeugführende Person (bei automatisierten Fahrfunktionen) oder durch eine vor Ort anwesende Technische Aufsicht (bei autonomen Fahrfunktionen) gewährleistet sein. Weiterhin werden für die Erteilung einer Erprobungsgenehmigung durch das Kraftfahrt-Bundesamt je nach Betriebsbereich weitere zu beteiligende nachgeordnete Behörden und Institutionen genannt (§1i Abs. 2 und 3).

Haftungsrecht

In Deutschland ist die Rechtslage in einem Drei-Säulen-Modell bestehend aus der Haftung für die fahrzeugführende Person, die fahrzeughaltende Person und das fahrzeugbauende Unternehmen geregelt. Haftungsrechtlich findet sich die Verantwortung der fahrzeughaltenden Person (§ 7) und der fahrzeugführenden Person (§ 18) im Straßenverkehrsgesetz (StVG) wieder. Im Haftungsrecht des um die Aspekte des autonomen Fahrens ergänzten StVG ändert sich formell nur wenig. Es besteht Versicherungspflicht in der Halterhaftpflichtversicherung nach dem Pflichtversicherungsgesetz. Die Halterhaftung umfasst die Betriebsgefahr des Fahrzeuges vollständig. Damit sind auch Schäden gemeint, die durch technisches Versagen herbeigeführt werden. Dadurch umfasst das auch alle neuen Fahrzeugsysteme, die sich auf die Steuerung von Fahrzeugen auswirken. Mangels einer fahrzeugführenden Person entfällt bei Kraftfahrzeugen mit autonomer Fahrfunktion allerdings eine Haftung gemäß § 18 StVG. Delegiert der Halter weiterhin die Aufgaben an die Technische Aufsicht, muss er sich ein etwaiges Verschulden der betrauten Person zurechnen lassen. Dafür muss der Halter in Zukunft gemäß § 1 PflVG auch für eine Person der Technischen Aufsicht eine Haftpflichtversicherung abschließen und aufrechterhalten.

Zugleich gilt die produkthaftungsrechtliche Verantwortung der Herstellenden. Diese Überschneidung muss mit der Halterverantwortung in die Betrachtung autonomer Systeme einbezogen werden, wenn für einen Unfall das selbstfahrende Fahrzeug verantwortlich sein sollte. Hier wirkt es sich nämlich aus, dass etwaige Ansprüche auf Schadensersatz von Geschädigten sowohl im Rahmen des StVG gegen den Fahrzeughalter und auch im Rahmen von Produkthaftung gegen den Herstellenden gerichtet werden können.

Ethik

Sowohl die Interaktion von Mensch und Maschine im Zusammenhang mit dem autonomen Fahren als auch das eigenständige Fahren durch Maschinen werfen ethische Fragen auf. Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur hat daher am 30. September 2016 eine Ethik-Kommission zum automatisierten und vernetzten Fahren eingesetzt.[1] Ziel und Auftrag der Kommission war die Klärung ethischer Fragen und die Entwicklung von Leitlinien für den Einsatz automatisierter Fahrzeuge. Zu der Kommission gehörten Vertretende der Philosophie, der Rechts- und Sozialwissenschaften, der Technikfolgenabschätzung, des Verbraucherschutzes und der Automobilindustrie sowie der Softwareentwicklung an. Im Rahmen der Arbeit wurden 20 ethische Regeln für den automatisierten und vernetzten Fahrzeugverkehr erarbeitet. Diese Regeln wurden teilweise bereits im neuen §1e StVG berücksichtigt (z. B. ethische Regel 2 und 9).

Das Bundeskabinett hat daraufhin die Ergebnisse der Ethik-Kommission gewürdigt und einen Maßnahmenplan der Bundesregierung beschlossen.[2] Das Bundeskabinett hat die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) mit der Fortsetzung und Vertiefung der Untersuchung und der Diskussion von dilemmatischen Unfallszenarien beauftragt. Die BASt hat auf dieser Grundlage ein Konzept zur Erstellung eines Kataloges relevanter Szenarien für automatisierte und vernetzte Systeme vorgelegt. Hieraus wurden Vorgaben in den Bereichen Sicherheit und Ethik abgeleitet. Das Konzept wird derzeit umgesetzt.

Eine weitere erwähnenswerte Initiative von wissenschaftlicher Seite ist die sogenannte „Moral Machine", die von Jean-Francois Bonnefon bei seinem Aufenthalt am Massachusetts Institute of Technology initiiert wurde.[3] Ziel des Projektes ist es, eine Künstliche Intelligenz von moralischen Entscheidungen der menschlichen Teilnehmer der Studie lernen zu lassen, indem diese bewusst vor moralische Dilemmata des autonomen Fahrens gestellt werden.

Internationaler Vergleich

Eine Führungsrolle hinsichtlich der Schaffung von ersten rechtlichen Rahmenbedingungen in Bezug auf das automatisierte Fahren nehmen die USA ein. Bereits 2011 erlaubte der Bundesstaat Nevada den Betrieb von automatisierten Fahrzeugen auf öffentlichen Straßen.[4]

Um Testfahrten mit automatisierten Fahrzeugen zu ermöglichen, hat eine Vielzahl von Ländern bereits Aktualisierungen zu ihrem bestehenden Verkehrsrecht erlassen. Eine Übersicht hierzu wurde in Österreich im Jahr 2018 durch das Bundesministerium Verkehr,

[1] *Bericht der Ethik-Kommission vom 20.06.2017 (Abgerufen am 24.01.2022)*
[2] *Maßnahmenplan der Bundesregierung zum Bericht der Ethik-Kommission vom 06.09.2017 (Abgerufen am 24.01.2022)*
[3] *Projekt-Homepage der Initiative „Moral Machine": https://www.moralmachine.net (Abgerufen am 24.01.2022)*
[4] *National Conference of State Legislatures (Abgerufen am 25.01.2022)*

Innovation und Technologie erarbeitet.[1] Momentan gibt es in den einzelnen US-Bundesstaaten und auch in den EU-Mitgliedsländern unterschiedliche Bestimmungen. Weltweit ist man aber zunehmend um Vereinheitlichung bemüht.

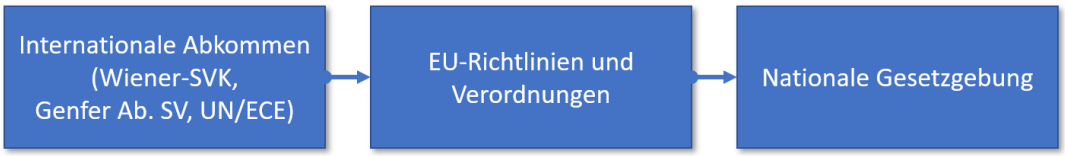

Abb. 1.3 Die drei internationalen Stufen der rechtlichen Rahmenbedingungen für Deutschland

Für Deutschland bestehen insbesondere im Verkehrsrecht und im Zulassungsrecht von Kraftfahrzeugen bereits viele bindende internationale Verträge (Wiener Straßenverkehrskonvention, Genfer Abkommen über den Straßenverkehr, UN/ECE-Regelungen). Mitgliedsländer der Europäischen Union sind zusätzlich auch an die Richtlinien und Verordnungen der EU gebunden. Im Gegensatz zu den USA, Japan und China, die z. B. dem Wiener Abkommen nicht beigetreten sind, ist der Handlungsspielraum der nationalen Gesetzgebung in der Europäischen Union im Bereich des Verkehrsrechts daher überschaubarer. Eines der wichtigsten ist das Wiener Übereinkommen über den Straßenverkehr von 1968. Nach der letzten Änderung im März 2016 sind automatisierte Systeme erlaubt. Autonomes Fahren war allerdings noch nicht möglich, denn das Übereinkommen sah nach wie vor eine fahrzeugführende Person vor.[2] Die Änderung des StVG im Jahr 2021, welche Level 4 auf der Bundesebene einführte, gilt als Übergangslösung. Um harmonisierte Märkte und Standards zu schaffen, wirkt Deutschland derweil intensiv an der Weiterentwicklung eines internationalen Rechtsrahmens mit. So ist die für Level 4 erforderliche internationale Vorschrift des Wiener Straßenverkehrsabkommens im Januar 2021 auf UN-Ebene vorgeschlagen worden. Dort ist insbesondere durch den neuen Artikel 34 geregelt, dass die Anforderung, dass jedes sich bewegende Fahrzeug eine fahrzeugführende Person haben muss, als erfüllt gilt, wenn das Fahrzeug über ein automatisiertes Fahrsystem verfügt und alle Anforderungen der nationalen technischen Vorschriften für Ausrüstung und Betrieb sowie der internationalen Rechtsinstrumente erfüllt.[3] Die Vertragsparteien haben damit zwölf Monate Zeit, um den Änderungsvorschlag des Wiener Straßenverkehrsabkommen abzulehnen oder zu akzeptieren.
Auf UN-Ebene wurde mit der UN ECE Regulation Nr. 157[4] im Jahr 2021 das Level-3-Spurhaltesystem (ALKS – Automated Lane Keeping System) geregelt. Die im Juni 2022 durch das „World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations" angenommene Änderung, hat die bisherige Begrenzung für automatisierte Fahrsysteme auf Autobahnen von 60 auf 130 Stundenkilometer und soll ab 2023 in Kraft treten.[5]
In den USA haben mittlerweile 35 Bundesstaaten eine eigene Legislatur zu autonomen Fahrzeugen eingeführt. In den USA ist die Regulierungszuständigkeit für Kraftfahrzeuge zwischen der gesamtstaatlichen Ebene und den einzelnen Bundestaaten aufgeteilt. Auf

[1] *Automatisiertes Fahren auf Straßen mit öffentlichem Verkehr – Rechtliche Rahmenbedingungen im Vergleich; Österreichisches Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie; August 2018 (Abgerufen am 25.01.2022)*
[2] *United Nations Treaty Collection: 19. Convention on Road Traffic (Abgerufen am 25.01.2022)*
[3] *Amendments to Article 1 and new Article 34bis of 1968 Convention on Road Traffic (Abgerufen am 28.01.2022)*
[4] *UN Regulation No. 157 - Automated Lane Keeping Systems (ALKS) (Abgerufen am 28.01.2022)*
[5] *UN Regulation extends automated driving up to 130 km/h in certain conditions (Abgerufen am 30.10.2022)*

gesamtstaatlicher Ebene werden Regelungen betreffend der Fahrzeugzulassung in den Federal Motor Vehicle Safety Standards (FMVSS), ähnlich den UN/ECE Regelungen für die Fahrzeugzulassung in der Europäischen Union, geregelt. Im Jahr 2012 verabschiedete Kalifornien ein Gesetz zur Erprobung automatisierter Fahrzeuge auf öffentlichen Straßen. Das kalifornische Fahrzeuggesetz (California Vehicle Code - CVC) und das kalifornische Regelwerk (California Code of Regulations - CCR) bilden die rechtliche Grundlage für die Durchführung von Versuchen mit hoch- oder vollautomatisierten Fahrzeugen auf öffentlichen Straßen in Kalifornien. Zuletzt wurden Anfang 2018 die Verkehrsvorschriften in der CCR aktualisiert, um künftige Tests von selbstfahrenden Fahrzeugen (Stufen 4 und 5) durch eine Testzertifizierung durch das staatliche Department of Motor Vehicles (DMV) zu ermöglichen. Darüber hinaus wurde mit der Novelle 2018 bereits eine rechtliche Möglichkeit für Herstellende in Kalifornien geschaffen, beim DMV eine offiziell unbeschränkte Zulassung für ihre hoch- oder vollautomatisierten Systeme oder Fahrzeuge zu beantragen. Ein einheitliches Bundesgesetz für das autonome Fahren existiert in den USA allerdings noch nicht. Das Gesetz „Self Driving Act" ging zwar im Jahr 2017 durch das US-Repräsentantenhaus, scheiterte aber später im US-Senat und ist bis heute nicht in Kraft getreten.

1.1.2.2 Ö(PN)V (DE)

Auch im öffentlichen Straßenverkehr gelten die genannten Regelungen des StVG für den Betrieb von Kraftfahrzeugen mit automatisierter oder autonomer Fahrfunktion. Im Unterschied zum Individualverkehr kamen im ÖPNV bisher nur neu konzipierte automatisiert fahrende Fahrzeugmodelle in den Einsatz, welche nicht über Typgenehmigungen verfügen, und es fehlte an internationalen Vorschriften gem. §1a Abs. 3 Nr. 1 StVG. Daher wurden für die Zulassung automatisierter Kleinbusse mit hohem Aufwand Einzelgenehmigungsverfahren gem. § 21 i. V. m. § 70 StVZO ohne standardisierte Verwaltungspraxis und auf Basis positiv beschiedener Gutachten von Technischen Prüfstellen durchlaufen. Auf diese Praxis kann mit den Neuerungen des Gesetzes zum autonomen Fahren in Zukunft voraussichtlich verzichtet werden. Dazu müssen die Fahrzeugsysteme jedoch entsprechend den gesetzlichen Voraussetzungen technisch weiterentwickelt werden (z. B. Fahrmanöver vorschlagen und risikominimalen Zustand erreichen).

Mit der Entwicklung des automatisierten Fahrens ist die Erwartung verbunden, dass das öffentliche und geteilt genutzte Mobilitätssystem ausgebaut werden kann und um (mehr) bedarfsgesteuerte Verkehre ergänzt werden kann. Für den Betrieb von automatisierten Fahrzeugen zur Beförderung von Personen sind die Vorschriften des Personenbeförderungsrechts einschlägig, welche nachfolgend näher erläutert werden, um einen Überblick über die möglichen Betriebsformen mit selbstfahrenden ÖPNV-Fahrzeugen zu geben.

Personenbeförderungsrecht

Die entgeltliche oder geschäftsmäßige Beförderung von Personen ist ein regulierter Markt, in dem die Regelungen des PBefG, einer speziellen Ausprägung des Gewerberechts, und damit verschiedene Pflichten greifen (z. B. Betriebs- und Beförderungspflicht, Barrierefreiheit). Die Beförderung von Personen mit Kraftfahrzeugen[1] wie automatisiert

[1] *Dabei handelt es sich im Sinne des § 4 Abs. 4 PBefG um Straßenfahrzeuge, die durch eigene Maschinenkraft bewegt werden, ohne an Schienen oder eine Fahrleitung gebunden zu sein.*

oder autonom fahrenden Bussen ist gemäß § 1 Abs. 1 PBefG in der Regel genehmigungspflichtig. Im Gesetz wird zwischen Personenkraftwagen zur Beförderung von nicht mehr als neun Personen (einschließlich fahrzeugführender Person) und Kraftomnibussen für alle darüberhinausgehenden Kapazitäten unterschieden. Unternehmen müssen zum Betrieb eine Konzession von der öffentlichen Verwaltung erhalten (Ausnahmen sind in § 1 Abs. 2 PBefG geregelt).

Verschiedene Formen der Beförderungsleistung werden im PBefG geregelt und sind entsprechend der Zuordnung zum Linien- oder Gelegenheitsverkehr genehmigungsfähig. Mit einer Novellierung des Gesetzes im Jahr 2021 sind neue Regelungen hinzugekommen, um das Mobilitätssystem zu flexibilisieren und um moderne, digital-vermittelte Angebote zu ergänzen (u. a. Linienbedarfs- und gebündelter Bedarfsverkehr sowie zur Bereitstellung von Mobilitätsdaten).

Ein Linienverkehr gemäß § 42 PBefG besteht bei einer regelmäßigen Verkehrsverbindung zwischen bestimmten Ausgangs- und Endpunkten. Ein Fahrplan mit bestimmten Abfahrts- und Ankunftszeiten oder Zwischenhaltestellen sind keine Voraussetzungen. Sonderformen werden im § 43 PBefG beschrieben. Dabei handelt es sich um Verkehre für bestimmte Personengruppen wie Schul-, Marktfahrten oder für Berufstätige zwischen Wohnung und Arbeitsstelle. Weiterhin gehört der Linienbedarfsverkehr gem. § 44 PBefG dazu. Dieser wird als Teil des ÖPNV beschrieben und dient der Beförderung von Fahrgästen auf vorherige Bestellung ohne festen Linienweg zwischen bestimmten Einstiegs- und Ausstiegspunkten innerhalb eines festgelegten Gebietes und festgelegter Bedienzeiten.

Als Formen des Gelegenheitsverkehrs gelten gem. § 46 PBefG Verkehre mit Taxen, Ausflugsfahrten und Ferienziel-Reisen, Verkehre mit Mietomnibussen/-wagen und gebündelter Bedarfsverkehr. Aufgrund der Passfähigkeit zum AVF und der Neuheit, sei der gebündelte Bedarfsverkehr gem. § 50 PBefG besonders hervorgehoben. Der Definition nach ist die Beförderung von Personen mit Personenkraftwagen (bis zu acht Fahrgäste) auf vorherige Bestellung gemeint, bei der mehrere Beförderungsaufträge entlang ähnlicher Wegstrecken gebündelt ausgeführt werden. Von der Genehmigungsbehörde kann, soweit öffentliche Verkehrsinteressen dies erfordern, bestimmt werden, dass Fahrzeuge unverzüglich zum Betriebssitz oder zu einem anderen geeigneten Abstellort zurückkehren müssen, es sei denn, das Fahrpersonal hat vor oder während der Fahrt neue Beförderungsaufträge erhalten.

1.1.3 Kernkompetenzen und Erfahrungen im Bereich AVF

In Deutschland und speziell in der MRH konnten bereits erste Erfahrungen mit AVF gesammelt werden. Der Verband Deutscher Verkehrsunternehmen oder auch die BASt geben umfassende Übersichten zu aktuellen Projekten (siehe https://www.vdv.de/innovationslandkarte.aspx und https://www.testfeldmonitor.de/Testfeldmonitoring/DE/Home/home_node.html). Folgend werden Erfahrungen in der MRH, aber auch Leuchtturmprojekte in Deutschland hervorgehoben, die einen besonderen Beitrag zum Kompetenzgewinn und zur Innovation im Bereich AVF beitragen. Dabei wird unter einem Leuchtturmprojekt ein herausragendes oder innovatives Projekt oder Vorhaben verstanden, das

für weitere sich daraus ergebende Projekte oder Vorhaben wegweisenden Charakter hat.[1] Der Fokus der hier vorgestellten Projekte liegt auf straßengebundenem AVF.

1.1.3.1 Kernkompetenzen und Erfahrungen in der MRH

AirPortMover

Das Projekt AirPortMover des Hamburger Unternehmens Ibeo Automotiv Systems GmbH wurde zusammen mit Airbus Operations GmbH, FRAPORT AG und Universität Kiel 2018 begonnen. Zielstellung war die Einführung von automatisierten People-Movern, Fahrgasttreppen und Transportfahrzeugen auf dem Flughafenvorfeld. Die Erprobung sollte insbesondere auf dem Betriebsflughafen von Airbus in Hamburg Finkenwerder und auf dem Frankfurter Flughafen der FRAPORT AG stattfinden. Besondere Herausforderungen für autonomes Fahren im Arbeitsumfeld von Flughäfen sind die Lokalisierung und Orientierung (z. B. in Hallen eines Flughafens auf dem Flughafenvorfeld), die Begegnung und Kollisionsvermeidung mit Flugzeugen (insbesondere unter Berücksichtigung in der Luft hängender Objekte, wie Flugzeugflügel, Triebwerke) sowie die hohen Anforderungen an die Sicherheit (z. B. durch zeitliche Definition von Sperrgebieten hinter einem Flugzeugtriebwerk). Hierzu konnte das Projektkonsortium die Erstellung von digitalen Karten, merkmalbasierte Lokalisierung und Manöverplanung auf dem Flughafenvorfeld erproben sowie Lösungen für die Annäherung an Flugzeuge entwickeln.

BiDiMoVe

Im Forschungsprojekt „BiDiMoVe - Bidirektionale, multimodale Vernetzung" kooperierten folgende Partnerorganisationen: Freie- und Hansestadt Hamburg, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V., GEVAS software GmbH, Hamburger Hochbahn AG, Institut für Automation und Kommunikation e. V. und NXP Semiconductors Germany GmbH. Ziel des Projektes war die Entwicklung und Realisierung eines vernetzten ÖPNV-Betriebs. Der Fokus lag zwar nicht auf der Vernetzung von automatisierten Fahrzeugen, dennoch hatten die Projektinhalte für das AVF relevante und bedeutende Anteile. So war die Nachrüstung von ÖPNV-Bussen mit telematischen Modulen vorgesehen, um autonome Kommunikation zwischen Fahrzeugen und Lichtsignalanlagen (LSA) über WLAN Standard IEEE-802.11 zu ermöglichen. Diese sollte einerseits eine Priorisierung der Busse an den Ampeln sowie Geschwindigkeitsempfehlungen für das Fahrpersonal anhand des Standorts, der Geschwindigkeit und der Auslastung der Fahrzeuge ermöglichen und andererseits das Fahrpersonal durch Wärmebildsensoren im Kreuzungsbereich in Echtzeit vor parallel verkehrendem Radverkehr warnen. Insgesamt kamen im Projekt zehn Busse und 18 LSA zum Einsatz. Besonders hervorzuheben ist, dass für die Datenkommunikation Rechtemanagement sowie zugehörige Prozesse für die Zertifikats- und Rechteverwaltung zwischen Verkehrsteilnehmenden, Verkehrsinfrastruktur und Public-Key-Infrastruktur spezifiziert und implementiert wurde, um eine sichere und vertrauliche Telekommunikation zu ermöglichen.

[1] *Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (abgerufen am 28.01.2022)*

Hamburger S-Bahn 21

Im Oktober 2021 startete erstmals auf einer Hamburger S-Bahn-Linie der hochautomatisierte Betrieb von vier selbstfahrenden S-Bahnen auf dem 23 km langen Abschnitt der S21 zwischen den Stationen Berliner Tor und Bergedorf. Das Projekt wurde von der DB-Tochter S-Bahn Hamburg GmbH und der Siemens AG realisiert. Der Zug fuhr nach einer einjährigen Testphase durch Technik hochautomatisiert auf Level 4 mit einer technischen Aufsicht zur Überwachung an Bord. Im Gegensatz zum autonomen Fahren auf der Straße stellt das autonome Fahren auf der Schiene aufgrund der linearen Streckenführung weniger technische Herausforderungen im Bereich Umgebungserfassung, Orientierung und Lokalisierung. Die gesammelten Erfahrungen und die Technologie – dazu gehören die notwendige Signal-, Überwachungstechnik und elektronische Stellwerkskomponenten – sind perspektivisch auf andere Strecken im Regional- und Fernverkehr übertragbar. Derzeit plant die Hamburger Hochbahn AG auf der neuen, sich in Umsetzung befindlichen U-Bahnlinie 5 autonome Bahnen einzusetzen. Dafür soll eine neue Fahrzeuggeneration Doppeltriebwagen 6 (DT 6) ausgeschrieben werden und perspektivisch ab 2027 der Testbetrieb mit Fahrgästen starten.[1]

HEAT

Das Forschungs- und Entwicklungsprojekt „HEAT" (Hamburg Electric Autonomous Transportation) ist ein Vorhaben unter der Beteiligung der Hamburger Hochbahn AG, der Freien- und Hansestadt Hamburg, der hySOLUTIONS GmbH, der IAV GmbH Ingenieurgesellschaft Auto und Verkehr, der Siemens Mobility GmbH, des Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität -Recht, Ökonomie und Politik e.V. und des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e. V. Ziel war die Erprobung des ersten automatisierten ÖPNV-Kleinbusses in Hamburg in der HafenCity auf einer Gesamtstrecke von 1,8 Kilometern und mit 5 Haltestellen. Das Projekt hat einen besonderen Fokus auf die technische Machbarkeit, Sicherheit und Akzeptanz mit einem Ausblick auf zukünftige Geschäftsmodelle und ergänzende ÖPNV-Angebote für die Projektbeteiligten gelegt. Der ab Oktober 2020 gestartete periodische Fahrgastbetrieb wurde im Projektverlauf über Fahrzeugsensorik (Kamera, Radar, LiDAR), straßenseitige Infrastruktur (Radar, LiDAR, Roadside-Units) zur Erhöhung der Umgebungswahrnehmung und einen Leitstand der HOCHBAHN für das Ereignis-Management realisiert. Besondere Alleinstellungsmerkmale waren die Integration von infrastrukturseitiger Sensorik im Kreuzungsbereich (Radar, LiDAR) und von V2X-Kommunikationsstandards, um z. B. Ampelkreuzungen automatisiert zu befahren, die Integration eines Leitstands für das Monitoring des Fahrbetriebs und die erreichte Fahrzeuggeschwindigkeit von bis zu 25 km/h im öffentlichen Personennahverkehr im urbanen Raum.

NAF-Bus

Ziel des Projektes „Nachfragegesteuerter autonom fahrender Bus" (NAF-Bus) war es, ein neuartiges Mobilitätskonzept „ÖPNV-on-Demand" auf Basis autonomer, elektrisch angetriebener Kleinbusse zu entwickeln. Das Vorhaben wurde im Jahr 2017 unter Beteiligung der EurA AG, Autokraft GmbH, GreenTEC Campus GmbH, Sylter Verkehrsgesellschaft,

[1] *Hamburger Abendblatt: HH Mobility – Wie der Norden in die Zukunft fährt, Seite 43 ff.*

MOTEG GmbH, Interlink GmbH, FastLeanSmart GmbH und der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel begonnen.
Bis zum Ende im Herbst 2021 befasste sich das Projekt mit drei Nutzungsszenarien:

- Beförderung von Schulungskursteilnehmenden und Besuchenden auf privatem Gelände,
- Beförderung von Urlaubsgästen und Anwohnenden auf öffentlicher Straße im ländlichen Raum,
- Pendelverkehr auf öffentlicher Straße im ländlichen Raum.

Mit Nutzung von drei autonomen Fahrzeugen der französischen Unternehmen EasyMile und Navya sowie der deutschen Herstellfirma Hanseatische Fahrzeugmanufaktur (HFM) beschäftigte sich das Projekt mit Fragestellungen der Zulassung und Betrieb von ÖPNV-Fahrzeugen mit automatisierten Fahrfunktionen, der Organisation des Straßenverkehrs, teleoperiertem Fahren im nicht öffentlichen Bereich und gesellschaftlichen Aspekten sowie Akzeptanz bei Nutzenden.

Reallabor Hamburg

Das Reallabor Hamburg hatte zum Ziel bis Ende 2021 innovative Mobilitätsangebote in zehn Teilprojekten in der Hansestadt zu erproben und die Erstellung von Handlungsempfehlungen für die umwelt- und klimagerechte Umgestaltung des Mobilitätssystems abzugeben. Auf dem ITS-Weltkongress 2021 sollten die Ergebnisse und Demonstratoren des Reallabors im Stadtgebiet und im Umland von Hamburg präsentiert werden. Unter anderem wurde hierzu die Teststrecke für automatisiertes und vernetztes Fahren (TAVF) eingesetzt. In diesem groß angelegten Vorhaben kooperierten 31 Partner aus Behörden, Kreisverwaltung, Wirtschaft und Wissenschaft. Direkte Berührungspunkte zum autonomen Fahren im Rahmen des Pilotprojektes hatte nur das Teilprojekt 4 Autonomes Fahren, welches im Stadtteil Bergedorf über die VHH GmbH den Betrieb mit Shuttles des Unternehmens EasyMile realisierte. Die drei eingesetzten Shuttles ermöglichten den Fahrgästen über eine Mobile-App den On-Demand-Transport von Haustür zu Haustür (digitale Haltestellen) oder zur nächsten ÖPNV-Haltestelle zu buchen. Weitere Teilprojekte mit Relevanz für z. B. zukünftige AVF-Angebote im ÖPNV waren die Mobilitätsplattform, eine App der HOCHBAHN zum Verbinden verfügbarer Mobilitätsangebote in Hamburg, das Mobilitätsbudget, welches ein individuelles Budget von Unternehmen für Mitarbeitende erprobt, um ihr Mobilitätsverhalten zu verändern, das digitale Andreaskreuz, welches eine Vernetzung von Bahnübergang-Zug-Fahrzeug-Smartphone ermöglichte.

TaBuLa

Im Projekt „Testzentrum für automatisiert verkehrende Busse im Kreis Herzogtum Lauenburg“ (TaBuLa) haben die Projektbeteiligten Technische Universität Hamburg (TUHH) und Kreis Herzogtum Lauenburg sowie die assoziierten Projektbeteiligten Büro autoBus (Interlink), Siemens Mobility, Versorgungsbetriebe Elbe GmbH, Stadt Lauenburg/Elbe zwischen Januar 2018 und Juni 2021 die übergeordnete Zielsetzung verfolgt, die Anwendung eines automatisierten Shuttles im Echtbetrieb mit Fahrgästen und im Mischbetrieb mit anderen Fahrzeugen auf der öffentlichen Straße zu installieren. Es soll-

ten erste Erfahrungen für alle Beteiligten mit solch einem System im öffentlichen Straßenverkehr gesammelt werden.
Als besonderes Alleinstellungsmerkmal gilt der Betrieb eines automatisiert fahrenden Shuttles im ÖPNV auf einer hochanspruchsvollen Strecke im Mischverkehr mit anderen Verkehrsteilnehmenden (Realbetrieb im öffentlichen Raum) in der Kleinstadt Lauenburg/Elbe innerhalb einer stark ländlich geprägten Region in Schleswig-Holstein. Der Einsatz eines automatisiert fahrenden Shuttles fand zwischen Juni 2019 und November 2021 als Ergänzung zu den bestehenden konventionellen Buslinien statt (ab Mai 2021 zwei Shuttles). Im Rahmen des Projektes TaBuLa wurden unter anderem Genehmigungen, Verkehrsfluss, Kosten, Akzeptanz und die Einsatzmöglichkeiten automatisierter Busse im ÖPNV untersucht (Ergebnisse verfügbar unter www.tabulashuttle.de). Dabei wurden die Ergebnisse so generiert, dass eine räumliche Übertragung auf andere Gebiete stattfinden kann. Weiterhin wurde ein Folgeprojekt installiert, um den Erkenntnisgewinn auszuweiten und auf den bestehenden Erfahrungen aufzubauen – siehe TaBuLa-LOG.

TaBuLa-LOG

Die gleichen Projektbeteiligten wie im TaBuLa Projekt werden ergänzt um das TUHH Institut für technische Logistik. Diese verfolgen zwischen Januar 2020 und Juni 2022, aufbauend auf dem TaBuLa-Projekt, das Ziel, einen durch das ITL entwickelten autonomen Lieferroboter in den laufenden Shuttle-Betrieb in Lauenburg/Elbe zu integrieren. Somit wird der kombinierte Personen- und Warentransport im realen Testfeld erprobt.
Die technische Implementierung beinhaltet dabei das Betriebssystem, Robotik-Framework, Algorithmen für Teilfunktionen des Roboterbetriebs sowie die Gewährleistung der Sicherheitsintegrität. Weiterhin wurden als Schnittstellen eine App zur Beauftragung von Transporten sowie die Kommunikation mit dem Shuttle entwickelt. Neben der Entwicklung, gehörten auch die Klärung rechtlicher und regulatorischer Fragestellungen zur Zielsetzung des Projektes. Der Einsatz zweier automatisiert fahrenden Shuttles bis November 2021 als Ergänzung zu den bestehenden konventionellen Buslinien und in Verbindung mit dem Transportroboter Laura als kombinierter Personen- und Güterverkehr statt. Im Rahmen des Projektes TaBuLa-LOG wurden unter anderem Genehmigungen, Betriebskonzept, Kosten, Akzeptanz und die Einsatzmöglichkeiten automatisierter kombinierter Personen- und Güterbeförderung im ÖPNV untersucht (Ergebnisse verfügbar unter www.tabulashuttle.de). Dabei wurden auch in diesem Projekt die Ergebnisse so generiert, dass eine räumliche Übertragung auf andere Gebiete stattfinden kann. Weiterhin wurde ein Folgeprojekt initiiert, um den Erkenntnisgewinn auszuweiten und auf den bestehenden Erfahrungen aufzubauen (TaBuLa-LOGplus).

TAVF

Die zwölf Kilometer lange Teststrecke für automatisiertes und vernetztes Fahren (TAVF) wurde in der Freien- und Hansestadt Hamburg eingerichtet, um Testfahrzeuge im öffentlichen Straßenverkehr auf hoch belasteten Stadt- und Bezirksstraßen mit komplexen Kreuzungen zu erproben. Die Teststrecke sollte reale Bedingungen im Mischverkehr mit anderen Verkehrsteilnehmenden, Fußverkehr, Radfahrenden mit und ohne Lichtsignalanlagen ermöglichen. Seit 2018 wurde die Infrastruktur entlang der Strecke mit Roadside

Units ausgestattet, die eine drahtlose Kommunikation nach dem WLAN basierten Standard 802.11p (ETSI G5) bieten. Dadurch können das Signalbild von Ampeln, Erteilung von Geschwindigkeitsempfehlungen und Informationen zur Straßentopologie übermittelt werden. Entlang der Strecke werden zudem Komponenten zur Umgebungserkennung (z. B. Radar, Wärmebild- und Kamerasysteme) und Detektion von anderen Verkehrsteilnehmenden an komplexen, schwer einsehbaren Kreuzungen realisiert. Seit Anfang 2020 wurde für den Informationsaustausch mit Lichtsignalanlagen der neueste Sicherheitsstandard PKI v1.3.1 (PKI = Public Key Infrastructure) zertifiziert und eingeführt. Seit 2021 wurde die TAVF und der Rundkurs in der HafenCity des Forschungsprojektes HEAT durch die Ausstattung der Mahatma-Gandhi-Brücke miteinander vernetzt. Seit ihrer Eröffnung steht die Teststrecke Fahrzeugherstellenden, Technologieunternehmen und Forschungseinrichtungen als offene Plattform zur Erprobung von Mobilitätsdiensten zur Verfügung. Testaktivitäten werden unter anderem von BMW, Continental, DLR, Fraunhofer Gesellschaft, Ibeo Automotive Systems, Niedersächsisches Forschungszentrum Fahrzeugtechnik, T-Systems und Volkswagen durchgeführt (Stand Januar 2022).

Umschlagsterminal Altenwerder

Der im Jahr 2002 von der Hamburger Hafen und Logistik AG eröffnete Containerterminal Altenwerder ist weltweit eines der modernsten Umschlagsplätze für Schiffscontainer. Über mehrere Jahre wurde ein automatisiertes Umschlagsystem eingeführt, welches automatisierte und elektrische Schwerlastfahrzeuge (Automated Guided Vehicle), Implementierung einer Terminallogistik und Steuerung sowie eine Optimierung von Betriebsprozessen beinhaltet. Die Fahrzeuge fahren zwar automatisiert, nutzen dazu aber klassische regelbasierte Methoden. Zur Lokalisierung werden 19.000 in den Boden eingelassene Transponder eingesetzt. Die IT-Steuerung erfolgt aus dem CTA-Leitstand. Methoden der Künstlichen Intelligenz werden aber bereits zu Zwecken der Lagerprozess- und Transportoptimierung eingesetzt und erprobt. Im Rahmen des ITS Weltkongresses 2021 in Hamburg wurde zudem durch die Hamburger Hafen und Logistik AG und das LKW herstellende Unternehmen MAN Truck & Bus das Projekt „TruckPilot" vorgestellt.[1] Ziel war es, auf dem Testfeld des vollautomatisierten Terminal Altenwerder zwei automatisierte LKW zwischen dem Check-Gate und dem Containerumschlagsplatz unter technischer Aufsicht selbstständig fahren zu lassen und den Be- bzw. Entladevorgang abzuwickeln. Im Rahmen des Vorhabens konnte die HHLA Anforderungen an Betriebsprozesse zur Integration von autonomen Fahrzeugen ableiten. Durch MAN konnte die Zufahrt eines LKW von der Autobahn zum Check-Gate auf Level 3 und der autonome Verkehr auf dem Betriebsgelände erfolgreich realisiert werden.

1.1.3.2 Ausgewählte Leuchtturmprojekte in Deutschland

Autonomer Bus Bad Birnbach

Im Oktober 2017 startete der erste Einsatz eines autonom verkehrenden People-Movers in Deutschland mit dem Ziel die Technik, die Akzeptanz und den Betrieb der Fahrzeuge zu

[1] *Hamburger Abendblatt: HH Mobility – Wie der Norden in die Zukunft fährt, Seite 34-36.*

testen. Das Projekt wurde von der Regionalbus Ostbayern GmbH (ein Unternehmen der DB Regio AG) in der Gemeinde Bad Birnbach initiiert und in Zusammenarbeit mit dem Unternehmen EasyMile und dem TÜV Süd durchgeführt. Die Strecke im öffentlichen Straßenverkehr betrug zum Start 660 Meter, wurde im August 2018 um etwa 700 Meter erweitert und beträgt seit der Anbindung des Bahnhofs an den Ortskern im Jahr 2019 rund zwei Kilometer. Seit dem verkehren Minibusse des Modells EZ10 täglich in Bad Birnbach. Dem Pilotprojekt folgten viele weitere Vorhaben in Deutschland. Seit Dezember 2020 wurden zudem im Rahmen des geförderten Projektes „HEAL" (Hochauto-matisiert-gEsellschaftlich-nAchfrageorientiert-Ländlich) die Testaktivitäten auf mehrere Fahrzeuge erweitert.

EASYRIDE

Im Jahr 2018 startete das Projekt „EASYRIDE" in München, um automatisiertes Fahren im städtischen Kontext zu untersuchen.[1] Die Zielstellung des Vorhabens war es, die Auswirkungen des automatisierten Fahrens auf Mobilität und Verkehr zu evaluieren. Weiterhin sollte geklärt werden, was die öffentliche Hand tun sollte, um diese Innovation erfolgreich für die Gesellschaft einzusetzen. Zu diesem Zweck kooperierten die Landeshauptstadt München, Stadtwerke München, BMW-Gruppe, Planung-Transport-Verkehr Gruppe, Universität der Bundeswehr München, Technische Universität München, UnternehmerTUM, Hochschule für Wirtschaft und Recht Berlin, Karlsruher Institut für Technologie, MAN Truck & Bus SE. Alleinstellende Merkmale des Projektes waren die Entwicklung eines Zielbildes 2030 und verschiedener Szenarien für geteilte und individuelle Mobilität, die Erarbeitung von Empfehlungen für die Weiterentwicklung des Personenbeförderungsgesetzes und die Entwicklung von Softwarelösungen für Flottenintelligenz. Das Letztere thematisiert insbesondere On-Demand-Ride-Pooling zur effizienten Zuweisung von Beförderungswünschen zu potenziell automatisierten Flottenfahrzeugen und Shuttlemanagement für individualisierten ÖV, um hochautomatisierte und perspektivisch selbstfahrende Kleinbusse als Zubringer einzusetzen.

interACT

Das europäische Projekt „interACT" hatte zwischen 2017 und 2020 zum Ziel eine sichere Integration von AVF-Fahrzeugen in Mischverkehren zu ermöglichen.[2] Zu diesem Zweck kooperierten Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V., BMW AG, Centro Ricerche Fiat SCpA, Robert Bosch GmbH, Hella KGaA Hueck & Co, Institute of Communication And Computer Systems (Athen), Technische Universität München und University of Leeds. Die Untersuchung menschlicher Interaktionen mit anderen Verkehrsteilnehmenden und die Entwicklung psychologischer Modelle der Interaktion standen dabei im Vordergrund. Darauf aufbauend wurden geeignete und sichere Interaktionsstrategien für autonome Fahrzeuge ausgewählt. Weiterhin wurden Methoden zur Bewertung der Absichten und zur Vorhersage des Verhaltens von Verkehrsteilnehmenden entwickelt, um die integrierte Planung und Steuerung des Verhaltens von autonomen Fahrzeugen zu ermöglichen. Auf der Fahrzeugseite wurde eine neu entwickelte Kooperations- und Kommunika-

[1] *Projekt Easyride Webpräsenz (Abgerufen am 03.02.2022)*
[2] *Projekt interACT Webpräsenz (Abgerufen am 03.02.2022)*

tionsplanungseinheit implementiert, die die Planungsalgorithmen steuert und eine Sicherheitsebene umfasst. Als Testfeld wurde unter anderem die Anwendungsplattform Intelligente Mobilität in Braunschweig genutzt.[1]

Linie A01: Automatisiert fahrender Linienbus Monheim am Rhein

In dem Vorhaben „Linie A01 – Automatisiert fahrender Linienbus Monheim am Rhein" wird seit Februar 2020 die erste kleine Flotte automatisierter Shuttles im Linienbetrieb zwischen Busbahnhof und Altstadt betrieben. Das Vorhaben wird vom Land Nordrhein-Westfalen gefördert und von den Bahnen der Stadt Monheim im Verkehrsverbund Rhein-Ruhr betrieben. Kooperationspartner sind der TÜV Rheinland, Blic GmbH, IVU Traffic Technologies AG, Bezirksregierung Düsseldorf, VRR, Verkehrsministerium NRW und das Wirtschaftsministerium NRW. Die eingesetzten Fahrzeuge stammen vom Unternehmen EasyMile und sind vom Typ EZ10 der Generation 2. Ziel des Projektes ist die Integration von automatisierten und elektrisch betriebenen Shuttlefahrzeugen in das bestehende ÖV-Angebot. Das Projekt war 2020 Gewinner des Wettbewerbes „Reallabore Testräume für Innovation und Regulierung" des BMWi in der Kategorie Einblicke. Das 2022 startende Nachfolgeprojekt „SAFESTREAM" soll den Betrieb von autonomen E-Fahrzeugen ohne Sicherheitsfahrer untersuchen.

L3Pilot

Das europäische Projekt „L3Pilot" umfasste seit 2017 eine großangelegte Kooperation von 13 OEMs, drei Zulieferfirmen, zwei Versicherungsunternehmen, zwölf Forschungseinrichtungen und vier weiteren Beteiligten aus dem Automotivumfeld. [2] Zu den Zielen des Projektes zählte die Technologie des automatisierten Fahrens im Rahmen von großangelegten Straßentests zu erproben und zu validieren, um wichtige Fragen vor der Markteinführung der Systeme zu beantworten. Getestet wurden automatisierte Fahrfunktionen in 100 Personenkraftwagen mit den SAE Leveln 3 und einigen Level 4 Fahrfunktionen.

Dabei wurden folgende Anwendungsfälle realisiert:

- „Stau-Fahrdienst": Auf autobahnähnlichen Straßen übernimmt das Fahrzeug das Fahren im Stau bis zu einer Geschwindigkeit von 60 km/h und kann die Fahrspur wechseln, um ein langsameres Fahrzeug zu überholen oder die Ausfahrt zu nehmen. Wenn die Erkennung von langsam fahrenden Fahrzeugen vor dem Fahrzeug auf einen Stau hinweist, kann die Funktion aktiviert werden.
- „Autobahn-Fahrdienst": Mit dieser Fahrfunktion folgt das Fahrzeug der Fahrspur und passt die Geschwindigkeit an, um einen sicheren Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug einzuhalten oder die Geschwindigkeitsbegrenzung zu beachten. Wenn ein vorausfahrendes langsameres Fahrzeug erkannt wird, überholt das Fahrzeug automatisch, sobald dies sicher möglich ist.
- „Park-Fahrdienst": Mit dieser Fahrfunktion kann das Fahrzeug aufgefordert werden, in Garagen und Einfahrten hinein- und herauszufahren. Das Fahrzeug lernt eine festgelegte Strecke von der Hauseinfahrt bis zur heimischen Garage und umgekehrt. Die-

[1] *Projektdokumentation beim Testfeldmonitor der BASt (Abgerufen am 01.02.2022)*
[2] *Projekt Webpräsenz: L3-Pilot - Driving Automation (Abgerufen am 01.02.2022)*

se automatisierte Fahrfunktion entlastet die fahrende Person von wiederholten Parkmanövern.

- „Urbaner Fahrdienst“: Mit dieser Fahrfunktion folgt das Fahrzeug automatisch der Fahrspur, startet und stoppt und führt Überholvorgänge innerhalb von Städten durch. An einer Kreuzung wendet das Fahrzeug nach rechts und links, erkennt den entgegenkommenden Verkehr und Fußverkehr und wählt den richtigen Kreuzungsweg, auch wenn keine Fahrbahnmarkierung vorhanden ist.

Als Testfelder kamen 14 Pilotstandorte, unter anderem auch das TAVF in Hamburg und das AIM in Braunschweig, zum Einsatz. Die Abschlussveranstaltung des Projektes fand im Herbst 2021 in Hamburg auf dem ITS Weltkongress statt.

SAFARI

In dem Forschungsvorhaben „Sicheres automatisiertes und vernetztes Fahren mit selbstaktualisierenden Karten im Testfeld Berlin Reinickendorf“ (SAFARI) hat das Land Berlin zwischen 2017 und 2019 zusammen mit BLIC GmbH, Freie Universität Berlin, Fraunhofer Institut Fokus, Daimler Center for Automotive IT-Innovations, IAV GmbH, HELLA Aglaia Mobile Vision GmbH und der Deutschen Telekom den Austausch und die Aktualisierung von digitalen Karten im urbanen Umfeld erforscht.[1] Für das Land Berlin lagen aufgrund verschiedener Aufgaben des Verkehrs- und Erhaltungsmanagements hochgenaue Karten mit 80 klassifizierten Objekttypen und bis zu 28 Attributen vor. Durch die Bereitstellung hochgenauer Karten mit Informationen über Fahrspuren, Verkehrsinfrastruktur und LSA-Daten, konnten die Grenzen der Leistungsfähigkeit von Erfassungssystemen zur Aktualisierung von digitalen Karten im Vorbeifahren untersucht werden. Zum Vergleich wurden automatisierte Forschungsfahrzeuge mit Sicherheitspersonal und einem mit einem 360° 3D-Vision System (LiDAR) oder mit der nächsten Generation von Serienmonokameratechnik ausgerüstete Fahrzeuge und Smartphones eingesetzt. Die Fahrzeuge benutzten die verfügbaren Karteninformationen für die Selbstlokalisierung und als Referenz für die Objekterkennung. Die detektierten Landmarken, Baustellen, freien Parkplätze, Verkehrszeichen und zweite Reihe Parker wurden der Änderungsdetektion des Backend übergeben und das Ergebnis der Karte zurückgeliefert.

Testfeld Niedersachsen

Das Testfeld Niedersachsen wurde als eine leistungsfähige und flexible Großinfrastruktur für automatisierte und vernetzte Fahrzeuge durch das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) im Jahr 2016 konzipiert. Zur Umsetzung wird das Vorhaben vom Niedersächsischen Ministerium für Wirtschaft, Arbeit, Verkehr und Digitalisierung und vom Niedersächsischen Ministerium für Wissenschaft und Kultur mit Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) und des Landes Niedersachsen gefördert. Die Umsetzungsplanung des im Januar 2020 eröffneten Forschungstestfeldes sieht dabei Abschnitte der Autobahnen A2, A7, A39, A391 und Teile der Bundes- und Landstraßen B3, B6, B243 und L295 auf rund 280 km Länge vor. Es sind zudem die etablierten Strecken der Anwendungsplattform Intelligente Mobilität (AIM) in der Braunschweiger Innen-

[1] *Verbundbericht SAFARI Förderkennzeichen: 16AVF1029*

stadt integriert. Die Strecke wird damit eine Erprobung in der Stadt, auf Landstraßen und auf Autobahnabschnitten ermöglichen.

Dafür wurden folgende Dienste realisiert:[1]

- Stationäre Erfassungs- (hochauflösende Stereo-Kamerasysteme mit IR-Modulen) und Kommunikationseinheiten (WLAN ITS-G5, LTE) auf der A39 aufgebaut. Andere Streckenabschnitte werden durch mobile Aufbauten abgedeckt,
- Hochgenaue digitale Karte für Streckenabschnitte A2, A39, A391 und L295 mit einer Abweichung der Messpunkte von 5-20 cm erstellt (Typ des Fahrbahnbelags, Spurmarkierungen, horizontale und vertikale Fahrbahnkrümmung, Center-Line),
- Schnittstellen zu Informationssystemen (Baustellendaten des Mobilitäts-Daten-Marktplatzes, Störungsinformationen zu Unfällen, aktuelle Anzeigen der Wechselverkehrszeichen, Standstreifenfreigaben), um im Rahmen von V2X an das Fahrzeug übermitteln zu können oder kampagnenspezifisch Daten zur Verfügung zu stellen,
- Bereitstellung von relevanten Szenarien und ausgewählten Simulationsmodellen (z. B. Fahr- und Verkehrssimulationen),
- Kataster zum Testfeldzustand, um relevante Informationen zum Testfeld zu pflegen (z. B. Straßenzustand, Leitplankenzustand, Wetterdaten),
- Informations- und Kommunikationstechnologie-Plattform (IKT) zum Datenmanagement.

In dieser Zusammenstellung bietet das Testfeld einzigartige Dienste zur Erprobung des AVF in Deutschland. Die Weiterentwicklung wird durch einen Beirat mit Vertretern der Firmen ADAC Niedersachsen/Sachsen-Anhalt e. V., Deutsche Messe AG, Continental AG, IAV GmbH, Keysight Technologies Deutschland GmbH, Oecon Products & Services GmbH, Siemens AG und Volkswagen AG koordiniert.

1.1.3.3 Zusammenfassung: Ausgangslage AVF-Beteiligte in der MRH

Gemäß dem Testfeldmonitor der BASt sind seit 2016 über 142 Projekte (Stand Juni 2021) zum automatisierten und vernetzten Fahren im Realverkehr oder auf Testfeldern in Deutschland abgeschlossen worden bzw. dauern noch an. Zusätzlich laufen im Fachprogramm „Neue Fahrzeug- und Systemtechnologien" in der Programmsäule „Autonomes Fahren" aktuell deutschlandweit 39 (insgesamt 56 seit 2015)[2] Projekte[3], die sich auf die Entwicklung von KI-Systemen und Komponenten für das AVF fokussieren und teilweise keine Erprobung auf Testfeldern beinhalten.

Im Folgenden werden die Forschungs- und Erprobungsschwerpunkte in der MRH mit den Aktivitäten in Deutschland verglichen und Rückschlüsse auf die MRH gezogen.

Grundsätzlich ist die Metropolregion Hamburg im Vergleich mit anderen Regionen in Deutschland im Bereich AVF breit aufgestellt. Gemäß dem Testfeldmonitor der BASt (Stand Juni 2021) sind neben der MRH insbesondere Metropolregionen München (13 Projekte), Rheinland (12), Hannover-Braunschweig (7 Projekte) und Berlin/Brandenburg (6 Projekte) im Bereich AVF durch mehrere Testfelder und Projekte aktiv. Zwar bestehen

[1] *Beschreibung der Testinfrastruktur des Testfeldes Niedersachsen (Abgerufen am 01.02.2022)*
[2] *Auskunft Projektträger TÜV Rheinland Consulting GmbH.*
[3] *Programmheft: Aktuelle Projekte NFST (Stand Nov. 2021) (Abgerufen 10.02.2022)*

aufgrund der Zusammensetzung der regionalen Akteure insgesamt inhaltliche und geografische Unterschiede der Ausprägung der Schwerpunkte, im Wesentlichen werden aber vergleichbare Szenarien adressiert. Die Tab. 1.1 stellt die untersuchte Technologiereife und genutzte Raumkategorien in den AVF-Projekten dar.

	AirPortMover	BiDiMoVe	S-Bahn 21	HEAT	Reallabor Hamburg	TaBuLa	TaBuLa-LOG	TAVF	Umschlagsterminal Altenwerder	NAF-Bus[1]	Testfeld Niedersachsen [2]	InterACT[3]
Untersuchte Technologiereife												
SAE-Level 2				✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓
SAE-Level 3	✓							✓	✓		✓	✓
SAE-Level 4	✓		✓						✓		✓	
Raumkategorien												
Fahren im öffentlichen Raum		✓		✓		✓	✓	✓		✓	✓	✓
Fahren im nichtöffentlichen Raum / Betriebsgelände	✓								✓	✓	✓	
Fahren im ländlichen Raum			✓			✓	✓			✓	✓	
Fahren im urbanen Raum		✓	✓	✓	✓			✓			✓	✓

Tab. 1.1 Übersicht zur Technologiereife und Raumkategorien der AVF-Projekte in der MRH.

	AirPortMover	BiDiMoVe	S-Bahn 21	HEAT	Reallabor Hamburg	TaBuLa	TaBuLa-LOG	TAVF	Umschlagsterminal Altenwerder	NAF-Bus	Testfeld Niedersachsen	InterACT
Szenarien												
Shuttleverkehr/ ÖPNV		✓		✓	✓	✓	✓	✓		✓		
Mischverkehr				✓	✓	✓		✓		✓	✓	✓
Individualverkehr	✓							✓			✓	✓
Schienenverkehr/ÖPNV			✓									
Güterverkehr							✓		✓		✓	

Tab. 1.2 Übersichtstabelle zu Szenarien der AVF-Projekte in der MRH.

[1] *Das Projekt NAF-Bus fand nur zum Teil in der MRH (Lunden-Lehe) und überwiegend im Trägerland Schleswig-Holstein statt.*
[2] *Das Testfeld Niedersachsen und die Anwendungsplattform Intelligente Mobilität in Braunschweig sind im Trägerland Niedersachsen angesiedelt, haben aber durch regionale Vernetzung räumliche und inhaltliche Nähe zur MRH.*
[3] *Das europäische Projekt InterACT wurde auf dem AIM-Testfeld in Braunschweig, im Trägerland Niedersachsen, durchgeführt, hat aber durch regionale Vernetzung räumliche und inhaltliche Nähe zur MRH.*

In der Tab. 1.2 und Tab. 1.3 werden die Bandbreite an behandelten Szenarien und Forschungsschwerpunkten in den AVF-Projekten der MRH dargestellt. Es wird deutlich, dass sieben aus zehn Projekten in der MRH einen ÖPNV- Schwerpunkt aufweisen. Aus diesen sind sechs im straßengebundenen Verkehr zu verorten, welche gleichermaßen im urbanen und suburbanen bzw. ländlichen Raum verteilt sind. Die untersuchte Technologiereife erreichte im öffentlichen Raum die SAE Level 2 und 3, während im nicht öffentlichen Raum (Betriebsgelände) bis Level 4 getestet werden konnte.

	AirPortMover	BiDiMoVe	S-Bahn 21	HEAT	Reallabor Hamburg	TaBuLa	TaBuLa-LOG	TAVF	Umschlagsterminal Altenwerder	NAF-Bus[1]	Testfeld Niedersachsen [2]	InterACT[3]
Ziele und Herausforderungen												
Betriebsgenehmigung		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓
Fahren mit Sicherheitsfahrer	✓		✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓
Digitale Karten	✓			✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓
Interaktionsstrategien mit anderen Verkehrsteilnehmern											✓	✓
Anforderungen an Betriebsprozesse	✓				✓	✓	✓		✓	✓		
Akzeptanzuntersuchungen				✓	✓	✓	✓			✓		✓
Kommunikation mit Infrastruktur		✓		✓				✓			✓	✓
Integration Leitstand				✓						✓	✓	
Befahren von Kreuzungen ohne Sicherheitsfreigabe				✓				✓			✓	
Entwicklung Betriebskonzept ÖPNV				✓	✓	✓	✓			✓	✓	
Weiterentwicklung Umgebungserfassung/ Sensorik	✓								✓		✓	✓

Tab. 1.3 Übersichtstabelle zu Zielen und Herausforderungen der AVF-Projekte in der MRH.

In den bisherigen Aktivitäten in Deutschland wurden z. B. in der Kategorie Verkehrsweg 73 Projekte auf Stadtstraßen, 28 auf Landstraßen und 29 auf Autobahnen durchgeführt. Die Aktivitäten in der MRH konzentrierten sich auch auf die urbanen Bereiche in der Stadt Hamburg und im suburbanen bzw. ländlichen innerörtlichen Raum der umliegenden Kreise (Herzogtum Lauenburg, Dithmarschen) inkl. Bundesstraßen. Auf Landstraßen und Autobahnabschnitten wurde hingegen nicht getestet. Insofern besteht Potenzial die Ergebnisse in anderen Gebieten der MRH und auf Landstraßen zu übertragen.

[1] *Das Projekt NAF-Bus fand nur zum Teil in der MRH (Lunden-Lehe) und überwiegend im Trägerland Schleswig-Holstein statt.*
[2] *Das Testfeld Niedersachsen und die Anwendungsplattform Intelligente Mobilität in Braunschweig sind im Trägerland Niedersachsen angesiedelt, haben aber durch regionale Vernetzung räumliche und inhaltliche Nähe zur MRH.*
[3] *Das europäische Projekt InterACT wurde auf dem AIM-Testfeld in Braunschweig, im Trägerland Niedersachsen, durchgeführt, hat aber durch regionale Vernetzung räumliche und inhaltliche Nähe zur MRH.*

Weiterhin wurden in der MRH Sonderverkehre auf Flughafenvorplätzen (Betriebsflughafen Airbus in Hamburg) und Logistikverkehre in Hafenterminals (CT Altenwerder) betrachtet. Diese Ansätze besitzen Alleinstellungsmerkmale in Deutschland. Im Bereich Logistik fokussierten sich die Aktivitäten in Deutschland bisher nur auf LKW-Platooning (Projekte EDDI und ENSAMBLE), urbanen Gütertransport (Projekt SULEICA) und AVF-Güterverkehr am Flughafen Stuttgart (Projekt SmartFleet).
In der Kategorie vernetztes Fahren wurde die Infrastrukturseite auf den urbanen Teststrecken (Projekte TAVF, HEAT), aber auch im suburbanen Raum (TaBuLa) betrachtet. So wurden Kommunikationsstandards WLAN-802.11p und 4G (LTE) verwendet, um die Infrastruktur-zu-Fahrzeug-Übertragung zu erforschen. Dabei konzentrierte sich das vernetzte Fahren auf die Bereitstellung von Informationen zum Signalbild von Lichtsignalanlagen oder Straßentopologie und die Erteilung von Geschwindigkeitsempfehlungen. Diese Themengebiete werden auch auf Bundesebene in anderen Projekten adressiert. Entlang der Teststrecken wurden hochgenaue digitale Karten realisiert und weitere intelligente Infrastrukturkomponenten verbaut, welche durch Radar, Wärmebild- und Kamerasysteme im Kreuzungsbereich bei der Umgebungserkennung von anderen Verkehrsteilnehmern durch automatisierte und vernetzte Fahrzeuge unterstützen. Auch das Thema sichere Telekommunikation wurde in diesem Zusammenhang adressiert (Projekte BiDiMoVe, TAVF). 5G als Mobilfunkstandard wurde hingegen noch nicht für den straßengebundenen Verkehr erprobt. Auch eine Selbstaktualisierung der digitalen Karten durch autonome Fahrzeuge wurde nicht betrachtet. Weiterhin konnten die infrastrukturseitigen Ergebnisse bisher nicht auf andere Verkehrswege (Autobahnen, Landstraßen) übertragen werden. Es ist zudem festzustellen, dass diverse mitwirkende Technologieunternehmen für die infrastrukturseitigen Komponenten zwar in Projekten in der MRH mitwirkten, aber ihren Firmensitz außerhalb in anderen Regionen haben.
Die Kategorie automatisiertes Fahren wurde sowohl im Individualverkehr als auch im Öffentlichen Verkehr untersucht. Hierzu zählen die Aktivitäten mit Personenkraftwagen in Mischverkehren auf dem Testfeld TAFV (L3-Pilot) aber auch die Einsätze von autonom fahrenden Shuttles in den Projekten (HEAT, NAF-Bus, Reallabor HH-Teilprojekt 4, TaBuLa). Das Thema gesellschaftliche Akzeptanz wurde in diesen Projekten beleuchtet.
Aufgrund eines geringen Anteils an Automotive-Unternehmen in der MRH finden sich unter den Akteuren überwiegend Anwender bzw. Betreiber, wenige Technologieanbieter und Fahrzeugherstellende. Interessant vor diesem Hintergrund ist der Stand der Forschung der wissenschaftlichen Einrichtungen und das Potenzial für Start-Ups.
Wenn man sich die Landschaft der wissenschaftlichen Einrichtungen in der Metropolregion Hamburg anschaut, dann besitzt die MRH eine breite fachliche Kompetenz, die für das AVF relevant ist. So wird auf der technischen Seite z. B. an der Entwicklung von innovativen Fahrzeugkonzepten und Fahrzeugtechnik in den Trägerländern Hamburg und Niedersachsen (u.a. HAW Hamburg, Helmut-Schmidt-Universität, Ostfalia HAW, TU Braunschweig) geforscht. Der Bereich Computer-Vision, kognitive Systeme, Robotik und Softwareentwicklung sind in allen Trägerländern vertreten (u. a. Universität Hamburg, Universität zu Lübeck, Universität Greifswald). Verkehrsplanung und Mobilitätsforschung sind an der Technischen Universität Hamburg sowie dem DLR Institut in Braunschweig zu finden. An Querschnittsthemen aus dem Bereich Soziologie/Psychologie (Nutzerakzep-

tanz), Management, Mechatronik, Maschinenbau, Elektrotechnik, Informatik wird an vielen Einrichtungen in den Trägerländern geforscht.
Trotz dieser vorhandenen breiten Kompetenz in den Trägerländern ist festzustellen, dass die Einbettung der Forschungsgruppen in die Forschungsprofile der wissenschaftlichen Einrichtungen und zwänge der Forschungsfinanzierung durch Drittmittelbeschaffung dafür sorgen, dass die Fokussierung und Tiefe der AVF-Themen individuell gesetzt wird. Daher werden gegenseitige Aktivitäten nur inhaltlich tangiert. Die Granularität der Kompetenzen über verschiedene wissenschaftliche Einrichtungen sorgt zudem dafür, dass fachliche Synergien durch Bündelung der Technologiekompetenz nicht ausgeschöpft werden. Eine Bündelung im Rahmen eines Forschungszentrums könnte sich positiv auf die Freisetzung dieser Potenziale auswirken. In den bisherigen anwendungsorientierten Projekten zum AVF in der MRH (siehe Übersicht Tab. 1.2) wurden z. B. von der wissenschaftlichen Seite nur die Verkehrsforschung (TaBuLa und Nutzerakzeptanz (HEAT, NAF-Bus, Reallabor HH, TaBuLa)) eingebunden.
Auf der anderen Seite besteht ein Innovationspotenzial durch Formula Student Teams aus den Trägerländern der MRH, die häufig in den Bereichen Maschinenbau oder Fahrzeugbau ausgebildet werden. In diesem rein studentischen Wettbewerb wird jährlich ein neuer Fahrzeugprototyp entwickelt und im nationalen/internationalen Wettbewerb mit anderen Teams getestet. Seit 2017 wurde im Rahmen des Wettbewerbes ein Driverless Cup eingeführt, welcher eine Entwicklung autonomer Systeme zum Ziel hat. Da die Teams selbstständig agieren, sich um Sponsoren, Businessplan, Fahrzeugentwicklung kümmern, besteht das Potenzial zur Förderung von innovativen Start-Ups, die eine Fahrzeugplattform für die Anwendungsfälle in der MRH entwickeln könnten.

1.2 Primärdatenerhebung durch Interviews und eine Umfrage

Um bisherige Erkenntnisse zu validieren und die Perspektiven relevanter Akteure in die Gestaltung eines IAF einzubinden, wurden ergänzende Interviews mit Fachkundigen und eine Umfrage unter den Akteuren in der MRH durchgeführt. Der folgende Abschnitt umfasst die Darstellung der Methodik. Die wesentlichen Erkenntnisse werden im Weiteren aus technologischem, rechtlichem und verkehrlichem Blickwinkel zusammengefasst. Die Ergebnisse der Interviews und der Umfrage sind im Weiteren auch in die Bearbeitung des nächsten Hauptabschnittes „Potenziale des autonomen Fahrens für die Verkehrsentwicklung in der MRH“ eingeflossen.

1.2.1 Methodik und Vorgehen

Ziel der Primärdatenerhebung war es, bisherige Erkenntnisse zu validieren und die Ausgangslage bestimmter Akteure in der MRH besser zu verstehen. Zu diesem Zweck wurde die qualitative Erhebung gewählt.

Interviews mit Fachkundigen

Für die Primärdatenerhebung in den Interviews wurde ein halbstandardisierter Interviewleitfaden entwickelt, welcher je nach Fokusgruppe angepasste Fragen enthielt. Das Interview bestand aus drei Teilen und begann mit einer kurzen Vorstellung und Einführung ins

Thema. Nach Fragen zur generellen AVF-Thematik in Deutschland wurden Fragen zur konkreten Situation in der MRH gestellt. In der Gesprächsführung wurde die Reihenfolge der Fragen flexibel gehalten, um den Befragten eine Themenvertiefung zu ermöglichen, ergänzende Aspekte einzubringen und intensiv eigene Meinung zu äußern.
Die Auswahl der Fachkundigen erfolgte anhand von Fokusgruppen, die in der folgenden Tab. 1.4 aufgeführt sind. Die Interviews wurden im Zeitraum von März 2022 bis April 2022 durchgeführt. Die Durchführung erfolgte mittels einstündiger Videokonferenzen.
Im Ergebnis liegen 13 qualitative Interviews vor, die sich wie folgt zusammensetzen.

Fokusgruppe	Anzahl Interviews
ÖV-Betreibende	2
IT-Dienstleistende im Bereich ÖV	1
Technologieanbietende im Bereich AVF für den straßengebundenen Verkehr	2
Fahrzeugherstellende für den straßengebundenen Verkehr	1
Verbände der Verkehrsunternehmen	1
Organisationen im Bereich Fahrzeugzulassung, Typgenehmigung	2
Wissenschaftliche Einrichtungen	3
Güterverkehr	1

Tab. 1.4 **Definierte Fokusgruppen zur Auswahl von Fachkundigen für die Interviews.**

Umfrage unter den Akteuren in den Trägerländern der MRH

Die Umfrage wurde im Zeitraum April bis Mai 2022 per Online-Werkzeug MS-Forms durchgeführt. Bei der Gestaltung des Leitfadens wurde darauf geachtet, dass die Teilnahme maximal 20 Minuten beansprucht und eine anonymisierte Teilnahme ermöglicht wird. Der Fragebogen gliederte sich in drei Teile und begann mit allgemeinen Fragen zum Teilnehmenden und seinen Erfahrungen mit dem AVF. Danach wurden allgemeine Fragen zu Potenzialen und Chancen des AVF gestellt, gefolgt von konkreten Fragen mit Bezug zum AVF in der MRH. Als Werkzeug wurden Auswahl- und Bewertungsfragen für eine skalierbare Bewertung der Aussagen der Teilnehmenden zusammen mit Freitextfragen für individuelle Antwortmöglichkeiten eingesetzt. Für die Teilnahme an der Umfrage wurde bei 140 Akteuren aus den Trägerländern der MRH angefragt. Die anfrage erfolgte dabei in den Teilnehmergruppen (Fahrzeughersteller, Güterverkehr, Mobilitätsdienstleister, ÖV-Betreiber, Stadt- und Raumplanung, Regulatorische Instanz, Technologieanbieter, Verwaltung, Wirtschaftsförderer und wiss. Einrichtungen). Die Beteiligung der Stichprobe lag zum 01.06.2022 bei 31%.

1.2.2 Technologischer Status Quo

Eine wichtige Frage für die Einschätzung der technologischen Handlungsoptionen ist, welche Technologien eine breite Adoption für autonome Fahrfunktionen ermöglichen werden. Eine daran anzuschließende Fragestellung ist, welche Anwendungsfälle oder Betriebsbereiche mit diesen vorhandenen Technologien die größte Routenvielfalt im Verkehr

bieten. Da die aktuelle Marktentwicklung sehr dynamisch stattfindet, sind diese Fragen durchaus nicht trivial zu beantworten.
Die Forschungsabteilungen im Automotive-Umfeld setzten starken Fokus auf die Entwicklung der Fahrlogik, die sich aus den Szenarien im Bereich Autobahn und im urbanen Umfeld ergibt. Ein weiteres Thema ist die Sensormodell-Validierung. Wie bereits im Abschnitt 1.1.1.5 eingeführt, gibt es zwei wesentliche Ansätze, um für die Fahrzeuge eine automatisierte oder autonome Fahrmanöverplanung zu ermöglichen, die Ihre Vorteile und Herausforderungen besitzen. Diese sind in der Tab. 1.5 anschaulich gegenübergestellt. Dazwischen existieren unter den Technologieanbietenden nicht klar abgrenzbare Mischformen.

	Manöverplanung auf Basis von Radar und/oder LiDAR mit unterstützender Kameratechnik für Objekterkennung	**Manöverplanung auf Basis von Videokameras mit redundanter Fahrlogik auf Basis von Radar und/oder LiDAR**
Vorteile	• Reale 360° Tiefeninformation der Umgebung durch Radar und LiDAR • Geringe Anfangsinvestition notwendig, Technologien zum Teil serienreif am Markt vorhanden	• 360° Information durch Kamerasystem • Zwei redundante Systeme für Fahrlogik und höhere Robustheit des Gesamtsystems • Geringerer Aufwand für die Validierung der einzelnen Systeme
Herausforderungen	• Low-Level Fusion von Tiefeninformation der Umgebung mit Objekterkennung für Szenenverständnis notwendig • Hoher Aufwand für die Validierung der Sensordatenfusion • Nur zum Teil redundantes Sensorsetup für Manöverplanung	• Höherer Entwicklungs- und Integrationsaufwand für kamerabasierte Systeme • High-Level Fusion der Sensordaten • Herausarbeitung der Tiefeninformation aus den Kameradaten

Tab. 1.5 Technologieansätze für Manöverplanung im Bereich AVF

Im Rahmen von bisherigen Projekten in der Metropolregion Hamburg kamen vor allem Ansätze zur Manöverplanung auf Basis von Radar und/oder LiDAR mit unterstützender Kameratechnik für Objekterkennung zum Einsatz (HEAT, NAF-Bus, TaBuLa, Reallabor Hamburg). Aus den Interviews wurde deutlich, dass insbesondere signalisierte Kreuzungen eine große Herausforderung für diese automatisierten Fahrsysteme darstellen, da kein Sensorkonzept die Ampelphasen zu jeder Zeit durch optische bzw. sensorische Systeme mit ausreichender Redundanz erkennen und in Fahrbefehle umwandeln kann. Signalisierte Ampelkreuzungen stellen zum heutigen Zeitpunkt und mit dem aktuellen Stand

der Technik eine Einschränkung für Routenvielfalt von automatisierten Fahrfunktionen dar, sofern sie nicht mit einer sog. Road-Side-Unit zur Kommunikation mit dem Fahrzeug ausgestattet sind. Die Lösung für diese Herausforderung wurde in Forschungsprojekten über eine Integration von Telematikeinheiten für die Kommunikation zwischen Fahrzeug und Lichtsignalanlagen gelöst. Ob ein flächendeckendes Ausrollen oder ein Ausrollen der Technik an besonders komplexen Kreuzungen im urbanen Bereich in Zukunft AVF befähigen kann, ist aufgrund eines hohen Investitionsaufwandes fraglich. Fahrlogik auf Basis von Videokameras mit einer 360°-Umsicht bietet höhere Redundanz, sodass bei teilweisen visuellen Einschränkungen auf weitere Kameras und die Bewegungen des seitlich fahrenden Verkehrs als Informationsquelle zurückgegriffen werden kann. „Mobileye Vision" bietet hierzu eigene Fahrlogik mit eigenem Sensorkonzept. Nvidia stellt mit Ihrer Nvidia-Drive Entwicklungsumgebung eine Technologie für die Entwicklung von AVF-Fahrzeugen bis Level 2-3 auf Kamerabasis zur Verfügung. Neuste premium PKW-Fahrzeugmodelle (z. B. Level 3 Mercedes S-Klasse) haben eine 360°-Kameraumsicht bereits integriert und wurden mit der Technologie von Nvidia entwickelt. Welche weiteren Sensortechnologien in Zukunft tatsächlich in 360°-Abdeckung benötigt werden, wird aktuell erforscht. Da das Sensor-Setup aber ein aktuelles Forschungsthema ist, wäre es wichtig in der MRH technologieoffen zu agieren, iterative Verbesserungen der Technologie zu ermöglichen und insbesondere Ansätze, die andere Technologieanbietende besser machen, in für die Metropolregion relevante Anwendungsfälle zu bringen.
Die bisher auf deutschen Straßen erprobten Ansätze des Autonomen Fahrens erreichen Level 3 gemäß den Automatisierungsstufen der SAE. Von den Fachkundigen in den Interviews wird aber Level 4 bei geringen Geschwindigkeiten in definierten Umgebungen für möglich gehalten. Folgende in der Tab. 1.6 beschriebene Fahrzeugklassen im öffentlichen straßengebundenen Verkehr könnten in den nächsten zehn Jahren dabei die Automatisierungsstufe nach SAE Level 4 erreichen.

Fahrzeugklasse	Status	Mögliche nächsten Schritte
M1	Für die Personenbeförderung ausgelegte Kraftfahrzeuge mit höchstens acht Sitzplätzen Realisierte Szenarien: ÖV-Shuttles (Easymile), Autobahn Pilot (Mercedes Benz S Klasse) Geplante Szenarien: Robotaxis (Sixt/Mobileye), Ride-Pooling-Dienst (MOIA/Argo AI)	• Einführung von Robotaxis/ Ride-Pooling-Diensten im urbanen Umfeld • Weiterentwicklung von ÖV-Shuttles auf Level 4 • Fahren ohne Sicherheitsfahrer • Integration Leitstand und technische Aufsicht • Wirtschaftlichkeitsuntersuchung

Fahrzeugklasse	Status	Mögliche nächsten Schritte
M2	Für die Personenbeförderung ausgelegte und gebaute Kraftfahrzeuge mit mehr als acht Sitzplätzen außer dem Fahrersitz und einer zulässigen Gesamtmasse bis zu 5 Tonnen Realisierte Szenarien: ÖV-Shuttles (NAVYA, 2getthere)	• Weiterentwicklung von ÖV-Shuttles auf Level 4 • Integration segregierter Fahrspuren • Fahren ohne Sicherheitsfahrer • Integration Leitstand und technische Aufsicht • Wirtschaftlichkeitsuntersuchung
M3	Für die Personenbeförderung ausgelegte und gebaute Kraftfahrzeuge mit mehr als acht Sitzplätzen außer dem Fahrersitz und einer zulässigen Gesamtmasse von mehr als 5 Tonnen Mögliche Szenarien: ÖV-Linienverkehr Bisher keine AVF-Anwendungsfälle in Deutschland erprobt bzw. keine Fahrzeuge verfügbar	• Übertragung der Technologie von kleinstufigen Fahrzeugklassen
N1-3	Fahrzeuge zur Güterbeförderung Realisierte Szenarien: Gütertransport auf dem Betriebsgelände Level 5 Mögliche Szenarien: KEP-Dienste Hub to Hub, Gütertransport zwischen Logistikzentren, Gütertransport Autobahn	• Einführung von Zubringerfahrten auf/von der Autobahn > Level 3 • Fahren ohne Sicherheitsfahrer • Integration in Betriebsprozesse von Logistikzentren

Tab. 1.6 Mögliche Fahrzeugklassen, die in den nächsten zehn Jahren einen Automatisierungsgrad Level 4 erreichen.

1.2.3 Rechtlicher Status Quo

Die 2021 eingeführte Aktualisierung des Straßenverkehrsgesetzes in Deutschland wurde von den Befragten in den Interviews als ein Schritt aufgenommen, der die Weiterentwicklung von AVF in Deutschland ermöglicht. Im europäischen Kontext gibt es nur wenige

Staaten (Niederlande, Frankreich, Großbritannien)[1], die eine ähnliche regulatorische Ausgangssituation besitzen.

Parallel zur deutschen Regulatorik findet aktuell die Erarbeitung einer "EU-ADS-Verordnung" statt. Der veröffentlichte Entwurf ist ein erster wichtiger Schritt zur Harmonisierung der Typgenehmigungsvorschriften für autonome Fahrzeuge (SAE Level 4) in den EU-Mitgliedstaaten. Die erste Fassung des Entwurfs der EU-ADS-Verordnung wurde am 16. März 2021 von der Generaldirektion Binnenmarkt, Industrie, Unternehmertum und KMU der EU-Kommission an die EU-Arbeitsgruppe für Kraftfahrzeuge und ihre Untergruppe für automatisierte/vernetzte Fahrzeuge übermittelt. Am 22. September 2021 wurde die zweite Fassung des Entwurfs veröffentlicht.[2] EU-Verordnungen gelten ab dem Tag ihres Inkrafttretens automatisch in der gesamten EU. Der Abstimmungsprozess und die Ratifizierung durch alle EU-Mitgliedstaaten nimmt voraussichtlich noch mehrere Jahre in Anspruch, weshalb die deutsche Gesetzgebung mit der StVG-Novelle die Entwicklungen im Bereich AVF durch nationale Regelungen schneller voranzubringen versucht. In diesem Zusammenhang muss beobachtet werden, ob die zukünftige "EU-ADS-Verordnung" genügend Flexibilität aufweist, um die Abweichungen der deutschen Rechtsprechung zu berücksichtigen bzw. diese dann ersetzt.

1.2.4 Verkehrlicher Status Quo

Eine wichtige Frage zur Einschätzung der verkehrlichen Schlussfolgerungen ist, welche Anwendungsfälle die größte Routenvielfalt bieten, um die Integration des AVF in die Metropolregion Hamburg zu beschleunigen und die Verkehrssituation zu verbessern. Im Bereich des motorisierten Individualverkehrs wird keine Verbesserung der Verkehrsbelastung für die MRH erwartet, da durch automatisierten MIV vermutlich keine Bündelung des Verkehrs bewirkt wird, sondern ggf. sogar Mehrverkehr entsteht. Fahrzeugherstellende fokussieren sich in diesem Bereich auf die Themen Parken und Autobahnpilot, um den Fahrkomfort zu erhöhen. Eine Einführung dieser Level 4 Funktionen wird in Europa 2025 erwartet.[3] Eine Bündelung des Verkehrs kann durch Robotaxi- und Ridepooling-Dienste über Punkt-zu-Punkt Verbindungen erfolgen. Erste Anwendungsfälle wurden durch Mobileye/Sixt in München (2022) MOIA/Argo AI Hamburg (2025) angekündigt. Welche Wirkung diese Anwendungsfälle für die Metropolregion entfalten können, ist zum jetzigen Zeitpunkt nicht absehbar. Automatisiertes bzw. autonomes Fahren bringt das Potenzial, dass diese Dienste, die bisher mit einem Fahrer aus wirtschaftlicher Sicht nur in urbanen Regionen betrieben werden können, durch die Reduktion der Betriebskosten (bezogen auf Personenkilometer) auch in die Randbereiche der Metropolregion übertragen werden können.

Mit Blickwinkel auf den ÖPNV, wie bereits im Abschnitt 1.2.2 eingeführt, führt der gewählte Ansatz des Fahrsystems zu unterschiedlichen Einschränkungen der Routenvielfalt der Fahrzeuge. 2getthere/ZF setzt zum Beispiel mit der aktuellen Technologiereife des Fahrzeugs auf segregierte Fahrspuren (Passau) und sieht Potenzial auf stillgelegten Gleisen, die teilweise in Fahrradwege umgewandelt werden. Die Integrationsmöglichkeit dieses Ansatzes für die MRH kann geprüft werden, wenn entsprechende Informationen zu

[1] *White Paper Hogan Lovells: "The Road to Autonomous Vehicles" Seite 12ff (Abgerufen 28.03.2022)*
[2] *White Paper Hogan Lovells: "The Road to Autonomous Vehicles", Seite 11 (Abgerufen 28.03.2022)*
[3] *Studie McKinsey, Dezember 2021: "What's next for autonomous Vehicles?" (Abgerufen am 28.03.2022)*

stillgelegten Bahnstrecken vorliegen. Auch Fahren im Mischverkehr oder Überlandbetrieb wird durch diesen Fahrzeugtyp adressiert, wobei der Testbetrieb in Mannheim/ Friedrichshafen frühestens im Jahr 2023 erwartet wird.
Um eine tatsächliche verkehrliche Wirkung und Routenvielfalt durch das AVF zu entfalten, wird eine Erhöhung der Technologiereife auf Level 4 mit Integration eines Leitstandes unter technischer Aufsicht notwendig. In den Interviews wurde darauf hingewiesen, dass in den bisherigen Projekten in der Metropolregion diverse Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen im ÖPNV bereits durchgeführt wurden, allerdings noch einige Fragen offengeblieben sind.

Für die weitere Betrachtungen sind folgende Herausforderungen zu lösen:

- Fahrzeuge erreichen nicht die Zuverlässigkeit für den normalen Busbetrieb
- Geschwindigkeit der Fahrzeuge muss erhöht werden, um eine Alternative für klassischen ÖPNV zu bieten (30 km/h wird als eine Mindestgeschwindigkeit gesehen)
- Betrieb ohne Fahrzeugbegleiter mit der Technischen Aufsicht muss erreicht werden
- Mit gegenwärtiger Technologiereife sind kleine AVF-Fahrzeuge im urbanen Bereich nicht wirtschaftlich; wesentlicher Kostenpunkt sind die Infrastrukturkosten an der Strecke (z. B. Roadside-Units an den LSA) und die benötigten größeren Gefäße, um Beförderungsspitzen abzufangen
- Betreuungsschlüssel für den fahrerlosen Betrieb mittels technischer Aufsicht und Qualifikationsanforderungen müssen auf Wirtschaftlichkeit ausgelegt sein

Ein weiterer wichtiger Schritt für die Einführung von AVF in den ÖPNV der Metropolregion Hamburg wären großangelegte Anwendungsfälle mit Flotten, um intermodale Angebote mit Umsteigebeziehungen, Einbindung in Verkehrsleitsysteme, infrastrukturseitige Barrierefreiheit und kundenseitige Anforderungen zu entwickeln und zu erproben. Diese Erfahrungen gibt es in der Metropolregion im Zusammenhang mit automatisierten oder autonomen Fahrzeugflotten noch nicht. Da die Einrichtung eines Leitstandes ein wesentlicher Kostenfaktor ist, wird die Einführung und der Betrieb eines Leitstandes erst bei höheren Fahrzeugflotten wirtschaftlich sinnvoll sein. Zudem müssen fahrzeugseitige Schnittstellen für die Integration mehrerer Fahrzeugherstellender harmonisiert werden. In den Interviews wurden Größenordnungen von 20 Fahrzeugen genannt. Allerdings ist es derzeit für ÖPNV-Betreibende nur bedingt attraktiv, ein autonomes Fahrzeug zu kaufen, da die Kosten der häufig noch prototypischen Fahrzeuge verglichen zu Standardfahrzeugen zwei bis dreimal teurer in der Anschaffung und wesentlich teurer im Betrieb wg. Lizenzen zur automatisierten Fahrfunktion sind. Durch die hohe Entwicklungsdynamik, regelmäßige Software-Updates, die das Fahrzeugverhalten und Anwendung beeinflussen, sind die technischen Risiken für bisher eingesetzte Fahrzeugmodelle in der Beschaffung so nicht tragbar. Vor diesem Hintergrund müssen industriepolitische Anreize geschaffen werden, da es gegenwärtig keinen wirklichen Markt für solche Fahrzeuge außerhalb von geförderten Projekten gibt. Diese Anreize könnten in Form von Beschaffungsförderung, wie es mit der Einführung von E-Fahrzeugen im Rahmen des Sofortprogramms Saubere Luft geschehen ist, oder über Berücksichtigung von Boni im Rahmen von Verkehrsverträ-

gen, wenn ein Verkehrsunternehmen z. B. einen Teil der Leistung über autonome Fahrzeuge realisiert, geschaffen werden.
Als Voraussetzung für die Integration des AVF in den ÖPNV der MRH müssen zudem einige Grundvoraussetzungen geschaffen werden. Dazu gehören zum Beispiel die Abschaffung des Ticket-Barverkaufs in den ÖPNV-Fahrzeugen und die weitere Digitalisierung der Vertriebsprozesse. Ein weiterer in den Interviews thematisierter Punkt war die Fragestellung nach der richtigen Fahrzeuggröße. Der ÖPNV in Deutschland hat einen durchschnittlichen Kostendeckungsgrad von 70-80%.[1] Gegenwärtig werden die Fahrleistungen daher aus wirtschaftlichen Gründen über etablierte Standardgrößen (z .B. 12 m, 18 m Gelenkzug) realisiert. Ein wesentlicher Faktor sind die Kosten für das Fahrpersonal der Fahrzeuge. Durch den fahrerlosen Betrieb können auch kleinere Fahrzeuggrößen Kosten pro Sitzplatzkilometer erreichen, die einen Einsatz wirtschaftlich machen würden. Welche Fahrzeuggröße aber die richtige für die Integration des AVF in den ÖPNV ist, müsste je nach Anwendungsfall zwischen Fahrzeugherstellenden und Verkehrsunternehmen erörtert werden. Erste größere Fahrzeuge mit einer Länge von 8,3 Metern werden von dem türkischen Unternehmen KARSAN angeboten und im Rahmen von Projekten in Norwegen und Rumänien erprobt.
Was die verkehrliche Wirkung im Bereich Güterverkehr angeht, sind keine übereinstimmenden Aussagen aus den Interviews möglich, da bisher nur wenige Erfahrungen z. B. auf dem Betriebsgelände bestehen. In der MRH wurden in diesem Zusammenhang die Anforderungen an die Integration von autonomen Fahrzeugen in die Betriebsprozesse eines Logistikterminals in Altenwerder untersucht. Mit der Einführung von Level 4 Fahrzeugen für den Güterverkehr ist laut der Studie von McKinsey in Europa ab 2027 zu rechnen.[2]

1.3 Schlussfolgerungen zur Ausgangslage der MRH

Auf Basis der in Abschnitten 1.1 und 1.2 durchgeführten Datenerhebung können folgende Schlussfolgerungen für die Ausgangslage der MRH getroffen werden.
Autonome und vernetzte Fahrzeuge werden mittelfristig einen Automatisierungsgrad von SAE2016J Level 4 erreichen. Damit werden straßengebundene Anwendungsszenarien sowohl im motorisierten Individualverkehr, öffentlichen Nahverkehr und Güterverkehr technisch verfügbar. Auf der anderen Seite wird die 2021 gesetzlich umgesetzte Novellierung des Straßenverkehrsgesetztes auch regulatorisch eine Typgenehmigung und Einführung von solchen Fahrzeugen in den straßengebundenen Verkehr erlauben.
Eine gegenwärtige Hürde zur Einführung des automatisierten und vernetzten Fahrens in der MRH ist eine fehlende gemeinsame Strategie.
Im Bereich des motorisierten Individualverkehrs wird durch die fehlende Bündelung des Straßenverkehrs keine Verbesserung der Verkehrsbelastung für die MRH zu erwarten sein. Es könnten aber positive Effekte für den Parkraumbedarf durch die Ausweitung von Sharing-Angeboten erzielt werden. Bei der Erarbeitung einer gemeinsamen Strategie zum

[1] *Statista: Verteilung der Kostendeckung im ÖPNV in Deutschland (Abgerufen am 31.03.2022)*
[2] *Studie McKinsey, Dezember 2021: "What's next for autonomous Vehicles?" (Abgerufen am 28.03.2022)*

automatisierten Fahren wären aus diesem Blickwinkel die öffentlichen Verkehrsmittel, Schienenverkehre und Güterverkehre zu priorisieren.
Der Einsatz von automatisiert verkehrenden Shuttles im ÖPNV dürfte nach Einschätzung der Gutachter eines der ersten Anwendungsszenarien darstellen. Aus Sicht der für die Angebotsgestaltung und Vergabe und den Betrieb verantwortlichen Stakeholder wären mit einem Einsatz große Vorteile verbunden, sofern deren Anforderungen an eine ÖPNV-Tauglichkeit und an eine Akzeptanzfähigkeit seitens der potenziellen Fahrgäste erfüllt werden. Die technische Entwicklung ist zwar in den letzten Jahren weit fortgeschritten, eine Marktreife dürfte aber erst in der zweiten Hälfte des 20er-Jahrzehnts entstehen. Auch weitere Verkehrsmittel auf der Straße, Schiene und Wasser sowie im Bereich der Güterverkehre werden von der Akzeptanz dieser Entwicklung profitieren. Wann und wie sich die Einsätze entwickeln, hängt von vielen Parametern ab: Marktreife, Akzeptanz bei Fahrgästen und Betreibenden, Anschaffungs- und Betriebskosten und Organisationsfragen. Es ist davon auszugehen, dass angesichts vieler in den letzten Jahren durchgeführter zeitlich befristeter Modellprojekte im ÖPNV mit der neuen weiterentwickelten Fahrzeuggeneration keine wieder zeitlich befristeten Projekte entwickelt werden, sondern eher echte auf längere Zeit angelegte Anwendungen. Diese müssen die beiden Kernanforderungen der Branche erfüllen: höhere Geschwindigkeiten, fahrer-/begleiterloser Betrieb). Hingegen kann aktuell noch keine Einschätzung zu den künftigen Kosten für das Gesamtsystem gegeben werden.
Eine gemeinsame Strategie mit Verkehrsunternehmen, Stadt- und Verkehrsplanung und Fahrzeugherstellenden würde das Ziel einer Verbesserung der Lebensqualität in der Metropolregion Hamburg durch das autonome und vernetzte Fahren unterstützen. Zwar findet zwischen diesen Gruppen teilweise ein Austausch im Rahmen von Projekten statt, es wird aber ein darüber hinaus gehender Weitblick benötigt, um längerfristige Ziele zu verfolgen. So erfüllen die aktuellen Fahrzeuge nicht die Anforderungen und die Zuverlässigkeitskriterien der Verkehrsunternehmen. Verkehrsunternehmen haben deswegen die Herausforderung Betriebsbereiche zu definieren, weil gegenwärtige Fahrzeugmodelle Einschränkungen in der Routenvielfalt besitzen. Die Fahrzeugherstellenden benötigen aber entsprechende Angaben zu Fahrzeugkriterien und Betriebsbereichen, um zuverlässige Fahrzeuge und Fahrfunktionen auch mit ÖPNV-Schwerpunkt zu entwickeln. Im Bereich der Stadt- und Verkehrsplanung fehlt zum Teil das Wissen, welche verkehrlichen Infrastrukturmaßnahmen eine Herausforderung für automatisierte Fahrfunktionen darstellen oder darstellen werden und dadurch die Routenvielfalt einschränken und eine Integration verlangsamen. Erschwerend kommt hinzu, dass die Stadt- und die Verkehrsplanung über längerfristige Zeithorizonte geplant wird, während die Technologieentwicklung im Bereich AVF sehr dynamisch stattfindet. Unter diesen komplexen Bedingungen lässt sich einerseits kein Angebot an Fahrzeugen und andererseits keine Nachfrage aufbauen. Daher bedarf es besonderer Anreize durch die Metropolregion und Zusammenarbeit der drei Stakeholdergruppen, um eine Integration zu ermöglichen.

Folgende Schritte könnten diese Bemühungen unterstützen:

- Betriebsbereiche (Operational Design Domain) gegenwärtiger Fahrzeugmodelle und absehbarer Weiterentwicklungen müssen durch Austausch zwischen Stadtpla-

nung/Verkehrsplanung und technologieanbietenden Unternehmen aktiv mitgestaltet werden, um Einschränkungen der Routenvielfalt dieser Fahrzeuge aktiv entgegenzuwirken.

- Entsprechende verkehrspolitische Maßnahmen sind aus diesen Gesprächen zu erörtern, um gemeinsam mit Verkehrsunternehmen Betriebsbereiche mit Verkehrsnutzen für Level 4 Fahrzeuge zu definieren.
- Die zuvor definierten Betriebsbereiche können anschließend auf die MRH umgelegt werden, um so sinnvolle Anwendungsfälle mit größter Routenvielfalt zu identifizieren und zu priorisieren.
- Flottenanwendungen für die identifizierten Anwendungsfälle in der MRH sollten durch aktive Kooperation der Stakeholder in der MRH zur Umsetzung angestoßen werden.
- Technologieanbietende (IT-Dienstleister; Herstellende von Verkehrsleitsystemen, Sensorik, automatisierten Fahrfunktionen etc.) fungieren dabei als Fachkundige an den Schnittstellen zu diesen drei Stakeholdergruppen, treten in diesem Zusammenhang als Befähigter auf und sind entsprechend einzubinden.

Abb. 1.4 Schematische Darstellung relevanter Stakeholder in der MRH bei der Einführung des AVF

2. Potenziale des autonomen Fahrens für die Verkehrsentwicklung in der MRH

Die Potenziale, Chancen und Risiken des autonomen Fahrens für die Land- und Stadtentwicklung, die unterschiedlichen Stakeholder sowie insgesamt für die Mobilität der Metropolregion werden folgend dargelegt. Es erfolgt zunächst eine allgemeine Darstellung und Diskussion für die gesamte Verkehrswirtschaft der Metropolregion.

Darauf aufbauend werden die AVF-spezifischen Potenziale, Chancen und Risiken für den Personen- und Güterverkehr sowie für intermodale Verkehre dargestellt. Es erfolgt zunächst eine Beschreibung der Ausgangslage und Potenziale je Verkehrsart. Mit Hilfe einer SWOT-Analyse[1] werden dann die wichtigsten Kernpunkte zur Berücksichtigung bei der Machbarkeits-, Konzept- und Realisierungsstudie des IAF identifiziert. Durch diese Methodik sollen Chancen für ein IAF in der MRH erkannt werden, die ermöglichen, bestehende Stärken zu nutzen, ohne die verbundenen Risiken außer Acht zu lassen. Die SWOT-Analyse stellt den gegenwärtigen Zustand dar, woraus anschließend Szenarien und Strategien für ein länderübergreifendes Innovationszentrum abgeleitet werden. Als Basis wird vorwiegend die in HAP1 durchgeführte Analyse verwendet, aber auch auf einschlägige Literatur zurückgegriffen. Vor allem die durchgeführten Interviews mit Fachkundigen sowie die Umfrage (wie in Abschnitt 1 beschrieben) bieten die Grundlage, die Potenziale des AVF in der MRH zu evaluieren.

Im nächsten Schritt werden sinnvolle Anwendungsfälle von AVF in der MRH dargelegt, um aus bisherigen Insellösungen für urbanen, suburbanen und ländlichen Raum ein ganzheitliches Mobilitätssystem zu entwickeln. Abschließend werden Handlungsempfehlungen für ein länderübergreifendes Innovationszentrum abgeleitet und priorisiert.

2.1 Allgemeine Potenziale, Chancen und Risiken des autonomen Fahrens

Jede Innovation bringt Potenziale, Chancen und Risken hervor, so auch das autonome Fahren. Folgend werden diese aus der Perspektive einer nachhaltigen Verkehrswende in der MRH und für ein mögliches IAF aufgezeigt.
In Zukunft werden große Veränderungen im Verkehrssystem durch Technologien wie autonome und vernetzte Fahrzeuge sowie ein erhöhter Anteil geteilter Mobilitätsformen erwartet.[2] Die für das Verkehrssystem entstehenden Chancen und Risiken müssen vielseitig diskutiert werden, denn augenscheinliche Chancen neuer Technologien können bei einseitiger Nutzung auch negative Folgen haben.

1 Das englische Akronym „SWOT" steht für Strengths (Stärken), Weaknesses (Schwächen), Opportunities (Chancen), Threats
2 Snelder, M., Wilmink, I., van der Gun, J., Bergveld, H. J., Hoseini, P. & van Arem, B. (2019). Mobility impacts of automated driving and shared mobility explorative model and case study of the province of north Holland. The European Journal of Transportation and Infrastructure Research (EJTIR), 2019 (4), 291-309.

Aktuelle Projekte und Entwicklungen zeigen, dass es möglich ist, autonome Fahrfunktionen ohne spezielle Anforderungen zur Unterstützung durch Infrastruktur zu realisieren (z. B. Mobileye, Argo AI). Diese Ansätze bieten Vorteile, u.a. die Möglichkeit, autonomes Fahren für eine größere Vielfalt von Anwendungen und Strecken bereitzustellen. Wie im Abschnitt 1.2.2 dargestellt, werden von einigen Fahrzeug- und Technologieanbietenden Fahrfunktionen zur Verfügung gestellt, die ohne Infrastrukturunterstützung (z. B. zum Befahren von signalisierten Kreuzungen) nicht zu realisieren sind. Der notwendige technische Infrastrukturausbau ist mit hohem Investitionsbedarf verbunden und kann durch die wirtschaftlichen Risiken zu einem untragbaren Kriterium für die Weiterentwicklung und Integration dieser Ansätze werden. Der Konsens der aktuellen straßenbasierten Forschungs- und Entwicklungsprojekte mit Infrastruktureinbindung im Bereich des AVF ist, dass die bisher untersuchten Herausforderungen in Zukunft fahrzeugseitig bewältigt werden.

Auf der anderen Seite führt dieser Entwicklungstrend zu einem Szenario, in dem eine Zusammenarbeit mit Smart-City/-Land-Projekten für die Integration des AVF in die MRH als nicht wesentlich zu erachten ist. Die Entstehung von Smart-City/Country schafft eine hochgradig vernetzte Infrastruktur, die als digitaler Layer für vielfältige Aufgaben genutzt werden kann. AVF kann zusammen mit der eingesetzten KI in den Fahrzeugen in dieser Hinsicht als Datensammler fungieren und Informationen zum Standort und Verlauf von Tagesbaustellen, DSGVO konformen Lagebildern vom Unfallort, Informationen zur straßenseitigen Infrastruktur für Prädiktive Wartung etc. bereitstellen. Eine Voraussetzung hierfür bildet die Einbindung in derzeitige Smart City/-Country, GAIA-X Mobility Communities.

Sowohl von autonomen Fahrzeugen als auch von intelligenten Städten/ländlichem Raum wird die effiziente Beförderung von Menschen, Verkehrsoptimierung bei gleichzeitiger Minimierung der Umweltauswirkungen in Angriff genommen und stellt eine wachsende Herausforderung für Stadtplaner dar. Eine gemeinhin als Chance angesehene Effizienzsteigerung im Verkehrsablauf wird sowohl von den Expertinnen und Experten der Agora Verkehrswende (2020) als auch Hartmann et al. (2017) und Lemmer (2015) als wahrscheinlich angesehen. Lemmer (2015) hebt hervor, dass durch eine Effizienzsteigerung Staus entgegengewirkt werde und Maurer et al. (2015) ergänzt dies um das Potenzial, Verlustzeiten reduzieren und so Reisezeiten verkürzen zu können, die bisher beispielsweise durch lange Wartezeiten an Knotenpunkten entstehen. Die Effizienz im Verkehrsablauf ist hierbei abhängig von der Verkehrskapazität, welche an der höchstmöglichen Verkehrsstärke eines Streckabschnitts gemessen wird.[1] Als Ursachen für eine gesteigerte Kapazität nennen Hartmann et al. (2017) und Maurer et al. (2015) im Straßenverkehr beispielsweise koordinierte Fahrmanöver sowie optimierte Fahrzeugabstände, welche erst mit zunehmender Automatisierung und der Annäherung an das SAE-Level 5 deutliche Effekte zeigen werden.[2] Somit wird zum einen potenziell weniger Verkehrsraum bei gleicher Verkehrsstärke benötigt, jedoch ist zum anderen, abhängig vom Fahrzeugsystem, ggf. eine Anpassung des Straßenverkehrsraums in den Bereichen Parkraum, Signali-

1 Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2012). Begriffsbestimmungen. Teil: Verkehrsplanung, Straßenentwurf und Straßenbetrieb. Köln: FGSV Verlag.
2 Agora Verkehrswende (2020): Die Automatisierung des Automobils und ihre Folgen. Chancen und Risiken selbstfahrender Fahrzeuge für nachhaltige Mobilität (Abgerufen am 30.12.2020).

sierung oder Mobilfunk (siehe Abschnitt 1.1.1) erforderlich. Beispielsweise die Ausstattung der Ampelanlagen oder anderer verkehrsregelnder Systeme wie Poller und Schranken mit Kommunikationselementen könnte zu einem erhöhten Ressourcenaufwand führen. Weiterhin könnten einige Technologien heute unübliche Anforderungen an den Straßenraum mit sich bringen, wie beispielsweise Lokalisierungselemente zur Orientierung und Erfassung durch Sensoren oder die strenge Einhaltung eines zur Verfügung stehenden Lichtraumprofils. Andererseits kann eine Effizienz im Verkehrsablauf auf der Straße auch zu einer Steigerung der Fahrtenzahl führen, daher sollte in selbem Zuge der Schwerpunkt der verkehrspolitischen Aktivitäten auf einer Bündelung von Fahrten gelegt werden.

Auf der Schiene bieten eine automatisierte Betriebssteuerung und Streckenüberwachung eine Grundlage für automatisiertes und vernetztes Fahren im Schienenverkehr.[1] Der Vorteil besteht in der damit erhöhten Leistungsfähigkeit des Systems, der Nachteil besteht in einer weiteren Steigerung der technischen Komplexität des Systems. Voraussetzung für die Einführung im Eisenbahnverkehr ist der geplante Ausbau des Europäischen Zugbeeinflussungssystems ETCS (European Train Control System) in Deutschland, um die Netzkapazität und die Effizienz des Schienennetzes zu erhöhen.[2]

Verkürzte Reisezeiten führen zu einer allgemeinen Attraktivitätssteigerung des motorisierten Verkehrs. Dies kann dem Umweltverbund (ÖV, Rad, Fuß, Carsharing) und somit einer nachhaltigen Verkehrswende zugutekommen, wenn Fahrzeiten verkürzt werden, Verspätungen seltener auftreten und dies zu einer vermehrten Nutzung des öffentlichen Nahverkehrs führt. Dies würde sich vor allem in einer Verschiebung des Modal Splits (Anteil eines Verkehrsmittels am Gesamtaufkommen) zeigen, da eine abnehmende Verkehrsstärke nicht nur Folge, sondern auch Voraussetzung für solch eine Entwicklung ist. Eine geringere Verkehrsstärke wäre einerseits im Sinne einer nachhaltigen Verkehrswende positiv zu bewerten und könnte zu mehr Lebensqualität durch Umnutzung des Verkehrsraums führen.[3] So besteht das Potenzial für eine nachhaltige Steigerung der Lebensqualität durch veränderte Land- und Stadtentwicklung. Vor allem der Parkraum und versiegelte Flächen können durch Grünflächen oder Naherholung ersetzt bzw. diese Räume erhalten werden. Die Ressourcenschonung durch weniger Fahrzeugbesitz führt außerdem zu einem verbesserten Umgang mit dem Lebensraum. Aus den gleichen Gründen könnte andererseits jedoch der MIV an Attraktivität gewinnen und somit zu einer Steigerung der Verkehrsstärke beitragen. Hinzu kommt eine gesteigerte Attraktivität des MIV durch mehr Komfort und der damit möglicherweise einhergehenden Verlagerung von Rad-, Fuß- und öffentlichem Nahverkehr auf den MIV.[4] Das Eintreten dieses Rebound-Effektes würde einer nachhaltigen Verkehrswende entgegenwirken.

Auch neue Mobilitätsangebote mit dem Grundsatz der gemeinschaftlichen Nutzung autonomer Fahrzeuge (Carsharing) und die damit verbundene Bereitschaft, keinen eigenen Personenkraftwagen (Pkw) mehr zu besitzen, könnten sich positiv auf eine nachhaltige

1 Allianz pro Schiene: ATO over ETCS-Chancen durch höhere Automatisierung (Abgerufen am 07.06.2022)
2 BMVI, Masterplan Schienenverkehr, Juni 2020, Seite 23 (Abgerufen am 07.06.2022)
3 Agora Verkehrswende (2020): Die Automatisierung des Automobils und ihre Folgen. Chancen und Risiken selbstfahrender Fahrzeuge für nachhaltige Mobilität (Abgerufen am 30.12.2020).
4 Agora Verkehrswende (2020): Die Automatisierung des Automobils und ihre Folgen. Chancen und Risiken selbstfahrender Fahrzeuge für nachhaltige Mobilität (Abgerufen am 30.12.2020); Zhang, W., Guhathakurta, S.& Khalil, E. B. (2018). The impact of private autonomous vehicles on vehicle ownership and unoccupied VMT generation. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2018 (90), 156–165.

Verkehrswende auswirken.[1] Hervorzuheben ist, dass diese Angebote einen vereinfachten Zugang und niedrigere Kosten als der eigene Pkw erfordern, um eine wettbewerbsfähige Alternative darzustellen. Modellrechnungen prognostizieren, dass jedes Carsharing-Fahrzeug bei gleichem Mobilitätsbedarf und -zugang bis zu elf private Pkw ersetzen könnte.[2] Auf der Annahme aufbauend, dass so die Auslastung eines Fahrzeugs steigt und sich die Standzeiten verringern, kann von einer generellen Kosteneinsparung je Kilometer sowohl für Carsharing als auch für geteilte Fahrdienste (Ridepooling) ggü. Privatfahrzeugen ausgegangen werden. Auch für konventionelle Ö(PN)V-Angebote werden langfristig positive Effekte erwartet, beispielsweise infolge einer Kostenreduzierung durch Wegfall des Fahrpersonals.[3] Aktuell macht das Fahrpersonal im klassischen Busverkehr circa 45 Prozent der Betriebskosten aus, bei kleineren Gefäßgrößen noch mehr. Der Personalkostenanteil bei Taxidiensten liegt zwischen 50 und 60 Prozent. So schlussfolgern Grote und Röntgen (2021), dass besonders kleine Gefäßgrößen im öffentlichen Verkehr interessante Anwendungsfälle für eine Automatisierung sind. Weiterhin werden Einsparungen wie z. B. Folgen aus Unfallgeschehen erwartet.[4] Zudem verursacht das Fahrverhalten des autonomen Fahrzeugs einen geringeren Energieverbrauch als ein menschlicher Fahrender.[5] Dem Wegfall des Fahrpersonals steht eine Erhöhung des Personals in der Leitstelle und höhere Nebenkosten gegenüber. Ziel des Einsatzes von autonomen Fahrzeugen ist es letztendlich, den Personalschlüssel je Fahrzeug zukünftig abzusenken oder zumindest auf dem heutigen Niveau zu belassen, um trotz Mangels an Fachkräften/Fahrpersonal das Angebot auszuweiten. Diese Kosten lassen sich heute jedoch noch nicht quantifizieren, da sie im Wesentlichen von der technologischen und gesetzlichen Entwicklung abhängen.[6] Es ist außerdem zu erwarten, dass durch autonome Fahrzeuge vermehrt Bus- und Taxidienste im suburbanen und ländlichen Raum übernehmen können und so ebenfalls den Bedarf an Fahrzeugen im privaten Besitz reduzieren.[7]

Auch die Chance einer Reduzierung der gesamten zugelassenen Fahrzeuganzahl führt nicht automatisch zu einer Reduzierung der Verkehrsstärke oder Verschiebung des Modal Splits hin zum Umweltverbund. Reduzierte Kosten führen zu einer allgemeinen Attraktivitätssteigerung des motorisierten Verkehrs[8] und können aber andererseits dem Umweltverbund und somit einer nachhaltigen Verkehrswende zugutekommen, weil Fahrten mit dem Bus oder anderen Ridepooling-Diensten günstiger sind als den eigenen Pkw zu nutzen oder der eigene Pkw für mehrere Fahrzwecke und Personen genutzt wird und kein Zweitwagen notwendig ist. Auf der anderen Seite bedeutet dies auch, dass auch der MIV

---

1 Agora Verkehrswende (2020): Die Automatisierung des Automobils und ihre Folgen. Chancen und Risiken selbstfahrender Fahrzeuge für nachhaltige Mobilität (Abgerufen am 30.12.2020); Harper, C. D., Hendrickson, C. T., Mangones, S. & Samaras, C. (2016): Estimating potential increases in travel with autonomous vehicles for the non-driving, elderly and people with travel-restrictive medical conditions. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2016 (72), 1–9.; Ross (2014)

2 Bischoff & Maciejewski (2016): Autonomous Taxicabs in Berlin – A Spatiotemporal Analysis of Service Performance. International Scientific Conference on Mobility and Transport Transforming Urban Mobility, mobil.TUM 2016, 6-7 June 2016, Munich, Germany.

3 Agora Verkehrswende (2020): Die Automatisierung des Automobils und ihre Folgen. Chancen und Risiken selbstfahrender Fahrzeuge für nachhaltige Mobilität (Abgerufen am 30.12.2020); Nationale Plattform Zukunft der Mobilität (2020). SCHWERPUNKT-ROADMAP AUTOMATISIERTES UND VERNETZTES FAHREN (Abgerufen am 06.12.2020).

4 Grote, M & Röntgen, O. (2021): Kosten autonom fahrender Minibusse. Literaturanalyse ergänzt um Erfahrungen aus dem betrieb des Testprojektes und den Ergebnissen einer Expert: innenbefragung. ECTL WORKING PAPER, Band 54, 2021.

5 Milakis, van Arem & van Wee (2017): Policy and society related implications of automated driving: A review of literature and directions for future research. Journal of Intelligent Transportation Systems. Technology, Planning, and Operations.

6 Grote, M & Röntgen, O. (2021): Kosten autonom fahrender Minibusse. Literaturanalyse ergänzt um Erfahrungen aus dem betrieb des Testprojektes und den Ergebnissen einer Expert: innenbefragung. ECTL WORKING PAPER, Band 54, 2021.

7 Trommer, S. & Kolarova, V. & Fraedrich, E. & Kröger, L. & Kickhöfer, B. &Kuhnimhof, T. & Lenz, B. & Phe-leps, P. (2016). Autonomous Driving: The Impact of Vehicle Automation on Mobility Behaviour. In ifmo (Hrsg.). (Abgerufen am 06.12.2020).

8 Agora Verkehrswende (2020): Die Automatisierung des Automobils und ihre Folgen. Chancen und Risiken selbstfahrender Fahrzeuge für nachhaltige Mobilität (Abgerufen am 30.12.2020).

in Form von Carsharing aus den gleichen Gründen an Attraktivität gewinnt und sich der Modal Split entsprechend verschieben könnte woraufhin auch die Verkehrsstärke ansteigt. Die Schlussfolgerung wäre dieselbe wie im obigen Abschnitt und es würde ein Rebound-Effekt eintreten. Eine aktive Regulierung und somit Vermeidung von Rebound-Effekten durch aktiv regulierende oder steuernde Maßnahmen wären möglich und im Sinne einer nachhaltigen Verkehrswende notwendig. Diskutiert werden sollte zudem, ob durch das autonome Fahren die nicht geteilten Taxidienste und das Carsharing gleichgesetzt werden sollten, da sie mit Wegfall des Fahrenden in beiden Fällen prinzipiell den gleichen Zweck erfüllen und auf dieselbe Weise funktionieren (abgesehen von Zahlungsmodalitäten). Sofern sie das gleiche Angebot darstellen, ist zu hinterfragen, ob nicht geteilte Taxidienste zum Umweltverbund gezählt werden sollten, da sonst fälschlicher Weise zwar eine Verschiebung des Modal Split zum Umweltverbund erfolgen würde, aber gleichzeitig auch eine höhere Verkehrsstärke entstehen könnte und somit einer nachhaltigen Verkehrswende entgegengewirkt wird. Kritisch zu betrachten sind zudem die in beiden Fällen entstehenden Leerfahrten durch An- und Abfahrt, die auch zu einer erhöhten Verkehrsstärke führen können.[1] Dies gilt sowohl für kommerziell betriebene Fahrzeuge als auch für private Pkw. Nur vermehrt geteilte Fahrten durch Ridepooling würden in einer tatsächlich geringeren Verkehrsstärke resultieren. Nichtsdestotrotz ist die generelle Reduzierung der Fahrzeuganzahl als Chance für die nachhaltige Verkehrswende nicht zu vernachlässigen, da z. B. der wegfallende Parkraum umgenutzt werden könnte und zu einer höheren Lebensqualität führen kann. Menon et al. (2019), weisen jedoch darauf hin, dass der tatsächliche Verzicht auf einen eigenen Pkw auch an viele andere Aspekte wie der Generationszugehörigkeit, Bewegungsmuster, Pendelwegen sowie gesellschaftlichen Trends geknüpft sei. Ferner kann durch die Kostenreduzierung des konventionellen Ö(PN)V sowie von Sharing- und Poolingdiensten auch eine Nachfrageverschiebung vom Bus-, Fuß- und Radverkehr hin zu diesen erfolgen und so ein zusätzlicher Rebound-Effekt eintreten.[2]

Die durch autonome Fahrzeuge entstehende Steigerung der Flexibilität sowie der Zugang zur Mobilität für bisher benachteiligte Personen, wie beispielsweise Jugendliche ohne Fahrerlaubnis oder mobilitätseingeschränkte Menschen, stellen enorme Chancen im Sinne der Daseinsvorsorge durch den Ö(PN)V und einer nachhaltigen Verkehrswende dar. Unter der Annahme, dass autonome Fahrzeugsysteme (im Zusammenspiel mit infrastruktureller Ausstattung und Kommunikationsmitteln) inklusiv konzipiert werden, wird neuen Nutzergruppen Zugang zu Mobilität geboten. Trotzdem sollte nicht vergessen werden, dass der Zugang zur Mobilität für bisher nicht versorgte Gruppen auch zu einer gleichzeitigen Steigerung der zu befördernden Personenanzahl führt. Dies könnte einerseits dem Umweltverbund zugutekommen, aber andererseits auch eine Erhöhung des MIV bedeuten und so einer Verringerung der Verkehrsstärke entgegenwirken. Nicht zu vernachlässigen ist die für jegliche Nutzergruppen steigende Flexibilität und somit auch Attraktivität des MIV durch die Möglichkeit, Tätigkeiten wie Schlafen, Arbeiten etc. während der Fahrt mit

1 Zhang, W., Guhathakurta, S.& Khalil, E. B. (2018). The impact of private autonomous vehicles on vehicle ownership and unoccupied VMT generation. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2018 (90), 156–165.

2 Fraedrich, E., Kröger, L., Bahamonde-Birke, F., Frenzel, I., Liedtke, G., Trommer, S., Lenz, B. & Heinrichs, D. (2017): Automatisiertes Fahren im Personen- und Güterverkehr. Auswirkungen auf den Modal-Split, das Verkehrssystem und die Siedlungsstrukturen. Stuttgart: e-mobil BW GmbH.; Grote, M & Röntgen, O. (2021): Kosten autonom fahrender Minibusse. Literaturanalyse ergänzt um Erfahrungen aus dem betrieb des Testprojektes und den Ergebnissen einer Expert: innenbefragung. ECTL WORKING PAPER, Band 54, 2021.

dem autonomen Fahrzeug nachzugehen. Dies könnte zu höherem Reisebedarf und steigender Verkehrsstärke führen.[1]

Allgemein lässt sich sagen, dass die zuvor aufgezeigten Chancen des autonomen Fahrens vielen Herausforderungen der Verkehrswirtschaft begegnen können. So kann beispielsweise eine Chance der fahrerlosen Systeme darin liegen, der aktuell am Personen- und Güterverkehrsmarkt vorliegenden Herausforderung des extremen Fachkräftemangels oder des hohen Durchschnittsalters zu begegnen.[2]

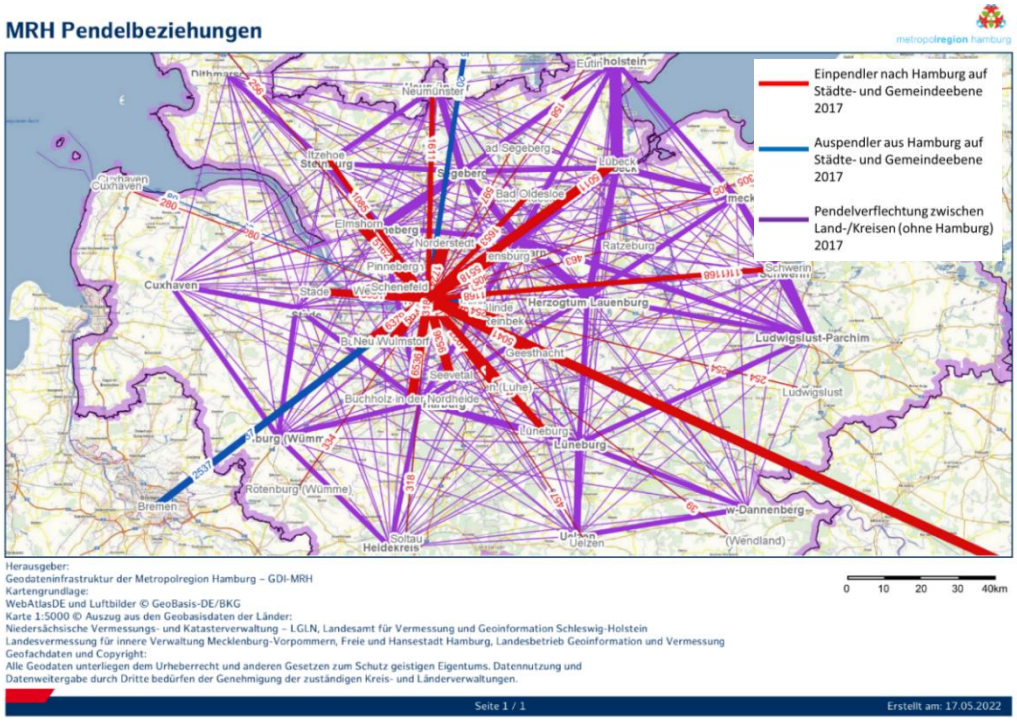

Abb. 2.1 MRH-Pendelbeziehungen

Eigene Darstellung nach Geodateninfrastruktur der Metropolregion Hamburg (2022)

Verkehrsträgerübergreifend bietet die Automatisierung des Verkehrs das Potenzial, den verkehrlichen Herausforderungen in der MRH zu begegnen. Dazu gehören beispielsweise die starken Verkehrsströme in Richtung Hamburg (siehe Abb. 2.1), die im straßengebundenen Verkehr zu häufigen Staus und einer gesteigerten Umweltbelastung führen und auf der Schiene die Kapazitätsgrenzen erreichen, vor allem im Knoten Hamburg. Aber auch außerhalb dieser radial ausgerichteten Ströme sind die Belastungen hoch: wie aus der nachfolgenden Grafik ersichtlich, sind die tangential ausgerichteten Relationen ebenfalls stark ausgeprägt, auch hier stößt die vorhandene Infrastruktur sowohl auf der Straße als auch auf der Schiene an Grenzen. Potenziale zur Steigerung der Leistungsfähigkeit durch (ggf. ergänzende) Automatisierung von Systemen dürften auch hier vorhanden sein. Ge-

1 Agora Verkehrswende (2020): Die Automatisierung des Automobils und ihre Folgen. Chancen und Risiken selbstfahrender Fahrzeuge für nachhaltige Mobilität (Abgerufen am 30.12.2020); Nationale Plattform Zukunft der Mobilität (2020). SCHWERPUNKT-ROADMAP AUTOMATISIERTES UND VERNETZTES FAHREN (Abgerufen am 06.12.2020); Lemmer, K. (2015). Neue autoMobilität. Automatisierter Straßenverkehr der Zukunft (acatech STUDIE). München: Herbert Utz Verlag; Trommer, S. & Kolarova, V. & Fraedrich, E. & Kröger, L. & Kickhöfer, B. &Kuhnimhof, T. & Lenz, B. & Phe-leps, P. (2016). Autonomous Driving: The Impact of Vehicle Automation on Mobility Behaviour. In ifmo (Hrsg.). (Abgerufen am 06.12.2020).

2 Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2020). Fahrermangel im deutschen Straßengüterverkehr – Strukturelle Treiber und verkehrspolitischer Handlungsbedarf. (Abgerufen am 16.05.2022); Schierge, F. (2014). Wer fährt die Trucks von morgen? Berufskraftfahrermangel in der Bundesrepublik Deutschland: Status quo und Maßnahmen. (Abgerufen am 16.05.2022).

mäß Agora Verkehrswende (2020) besteht durch Automatisierung die Chance der Steigerung der Verkehrskapazität und damit Steigerung der Effizienz des Verkehrssystems. So kann nicht nur zur Vermeidung von Staus[1] beigetragen werden, sondern auch Verlustzeiten z. B. durch weniger Staus[2] auf der Straße und Automatisierung auf der Schiene reduziert werden. Durch die Chance einer Flexibilitätssteigerung durch neue und zeitunabhängige Angebote wie autonome Carsharing-, Taxi- und Ridepoolingdienste können auch auf diesen Querverbindungen und im ländlichen sowie suburbanen Raum attraktive Angebote durch autonomes Fahren geschaffen werden.[3]

Um auch in Zukunft den Potenzialen, Chancen und Risiken des automatisierten und vernetzten Fahrens zu begegnen und die Entwicklungen der Verkehrswirtschaft in der MRH zu begleiten, mitzugestalten und mit innovativen Ansätzen voranzubringen, werden diese folgend für den Personen- und Güterverkehr sowie für inter- und multimodale Verkehre aufgezeigt und Strategien abgeleitet.

Eine Automatisierung des Verkehrs wird schrittweise erfolgen. Erwartet wird, dass eher mittelfristig die ersten leistungsfähigen Systeme für den öffentlichen Personenverkehr auf den Markt gebracht werden. Den Anfang dürften kleinere Fahrzeuge machen, da hier die größten Marktpotenziale und die größten Kosteneffekte erwartet werden. Die Anforderungen im ÖPNV sind zudem aus Sicht der Herstellenden beherrschbarer, die Geschwindigkeiten sind relativ niedrig, die örtliche Einsatzbereich eng begrenzt.

Dies führt auch zu der Einschätzung, dass aufgrund der aus technischer Sicht hochanspruchsvollen Anforderungen im ländlichen Raum zunächst der Schwerpunkt der Einsätze automatisierter Fahrzeugsysteme auf Autobahnen und städtische Gebiete mit relativ niedrigen Geschwindigkeiten konzentriert bleibt und der Einsatz im ländlichen Raum mit höheren Geschwindigkeiten eher längerfristig erwartet werden kann. Aber gerade in diesen Räumen ließen sich dennoch ggf. passfähige Anwendungsfälle und Konzepte entwickeln.

2.2 Potenziale, Chancen und Risiken im Bereich des Ö(PN)V und MIV

Um die Potenziale, Chancen und Risiken von AVF im Personenverkehr darzulegen, wird folgend zunächst die allgemeine Ausgangslage im Ö(PN)V und MIV der MRH grob beschrieben. Anschließend werden allgemeine Potenziale im Personenverkehr der MRH durch Automatisierung aufgezeigt. Darauf aufbauend wird mit Hilfe einer SWOT-Matrix auf besonders relevante Stärken und Schwächen der MRH sowie auf Chancen und Risiken des Marktes eingegangen, aus denen Handlungsoptionen zur Ausschöpfung der Potenziale abgeleitet werden.

---

[1] Lemmer, K. (2015). Neue autoMobilität. Automatisierter Straßenverkehr der Zukunft (acatech STUDIE). München: Herbert Utz Verlag
[2] Friedrich, B. (2015): Verkehrliche Wirkung autonomer Fahrzeuge. In Maurer, M., Gerdes, J.C., Lenz, B., and Winner, H. (Hrsg.), Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte (S. 331-351), Vieweg, Berlin, Heidelberg: Springer.
3 Agora Verkehrswende (2020): Die Automatisierung des Automobils und ihre Folgen. Chancen und Risiken selbstfahrender Fahrzeuge für nachhaltige Mobilität (Abgerufen am 30.12.2020); Lemmer, K. (2015). Neue autoMobilität. Automatisierter Straßenverkehr der Zukunft (acatech STUDIE). München: Herbert Utz Verlag; Friedrich, B. (2015): Verkehrliche Wirkung autonomer Fahrzeuge. In Maurer, M., Gerdes, J.C., Lenz, B., and Winner, H. (Hrsg.), Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte (S. 331-351), Vieweg, Berlin, Heidelberg: Springer.

2.2.1 Ausgangslage

Das **Ö(PN)V-Angebot** in der MRH ist sehr breit aufgestellt. Der klassische Busverkehr wird als Linienverkehr im Sinne der Daseinsvorsorge angeboten. Dabei wurden zuletzt je Einwohner der MRH 6.316 Platzkilometer im Jahr 2018 zurückgelegt, welche sich aus Fahrleistung und Platzangebot zusammensetzt, und 656 Millionen Menschen befördert[1]. Der schienengebundene Nahverkehr in den MRH-Trägerländern findet auf 7.420 Kilometern Schienen statt, wovon 3.185 Kilometer mehrgleisig ausgebaut sind. Dabei wurden insgesamt 10.167 Millionen Personenkilometer von den in den Trägerländern ansässigen VDV-Unternehmen zurückgelegt.[2]

Im ländlichen und suburbanen Raum wird das Fahrtenangebot im ÖPNV vor allem zeitlich am Schülerverkehr ausgerichtet und bietet im Alltag daher in vielen ländlichen Regionen keine praktikable Alternative zum eigenen Pkw. Die Anzahl der Abfahrten in der MRH im ÖPNV unterscheidet sich somit räumlich (siehe Abb. 2.2). Das bestehende Angebot im ländlichen Raum wird häufig am Wochenende weiter ausgedünnt. Die Abb. 2.2 zeigt die Häufigkeiten der Abfahrten wochentags und am Wochenende als Heatmap. Dabei ist die größte Anzahl an Abfahrten an dunkelroten Punkten zu verorten und keine an den grauen.

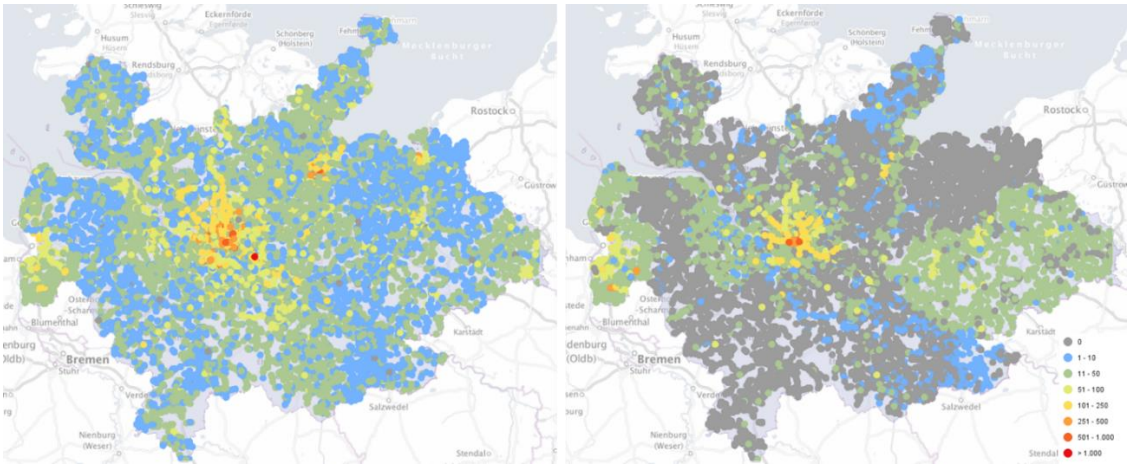

Abb. 2.2 Anzahl der Abfahrten im ÖPNV in der MRH

Anzahl der Abfahrten im ÖPNV je Haltestelle am Montag (links) und Anzahl Abfahrten je Haltestelle am Sonntag (rechts); Eigene Darstellung nach Metadatenverbund (2022)

Weiterhin werden neben Linien- und Schülerverkehren auch Anruf-Sammel-Taxen oder On-Demand-Verkehre angeboten. Diese werden im straßengebundenen Verkehr ergänzt durch Taxi- und Pooling-Dienste wie ioki, MOIA, LÜMO oder klassische Taxiunternehmen. Doch nicht alle Angebote werden flächendeckend angeboten, was nicht zuletzt durch unterschiedliche Nahverkehrspläne, Mobilitätskonzepte oder -strategien und vor allem der Finanzierung der Angebote begründet ist. Vor allem im ländlichen und suburbanen Raum dünnt sich das Angebot der öffentlichen Verkehrsmittel aus. Ein attraktives flächendeckendes öffentliches Mobilitätsangebot liegt in der gesamten MRH aktuell also nicht vor.

[1] *VDV (2019): Statistik (Abgerufen am 09.06.2022).*
[2] *Deutscher Bundestag (2018): Sachstand. Elektrifizierungsgrad der Schieneninfrastruktur. WD 5 - 3000 - 027/18 (Abgerufen am 09.06.2022).*

Hinsichtlich des **MIV** in der MRH kann gesagt werden, dass die Pkw-Dichte 541 Pkw auf 1000 Einwohner beträgt, fast identisch mit dem bundesdeutschen Durchschnitt von 545.[1] Darüber hinaus werden motorisierte Sharing-Angebote für Pkw und Roller in der MRH als mobiles oder stationsbasiertes Carsharing angeboten. Beispiele sind Cambio, Emmy, Flinkster, ShareNow, StattAuto oder YourCar. Diese Angebote werden häufig im urbanen Raum und selten in Stadtrandlagen etabliert und somit nicht flächendeckend angeboten. In einer 2019 veröffentlichten Studie des Bundesverband CarSharing e.V. ist der Besitz von privaten Pkw zum Beispiel unter den Nutzenden in Berlin nach zwölf Monaten CarSharing-Nutzungszeit um 53 % zurückgegangen.[2] Carsharing kann somit theoretisch dazu beitragen, den Parkraumbedarf und den privaten PKW-Bestand zu reduzieren. Die Sharing-Economy im Mobilitätssektor ist im Zusammenhang mit dem AVF von Relevanz, weil sie ein Wegbereiter für autonomen MIV sein kann, der auf Carsharing-Geschäftsmodellen aufbauen würde.

Im Personenverkehr der MRH bestehen in weiten Teilen zwischen Ö(PN)V und MIV Diskrepanzen in der Nutzbarkeit. So zeigt Abb. 2.3 die in 30 Minuten mit dem ÖV erreichbaren Arbeitsplätze (links) und die mit dem Pkw in 30 Minuten erreichbaren Arbeitsplätze (rechts). Die beiden Grafiken sind als Heatmap konzipiert, wobei die Anzahl an erreichbaren Arbeitsplätzen in 30 Minuten an dunkelroten Punkten am höchsten ist und Punkte entlang der Farbskala hin zu gelb und grau die abnehmende Anzahl darstellen. Es wird deutlich, dass die Erreichbarkeit der Arbeitsplätze innerhalb von 30 Minuten mit dem Pkw besser ist, da die rechte Karte im Vergleich mehr rote Bereiche aufweist. Auch in und um Hamburg ist die Erreichbarkeit der Arbeitsplätze in der Regel mit dem Pkw mindestens gleich oder besser als mit dem ÖPNV. Vor allem werden die Unterschiede der Erreichbarkeit jedoch in den suburbanen und ländlichen Gebieten der MRH deutlich.

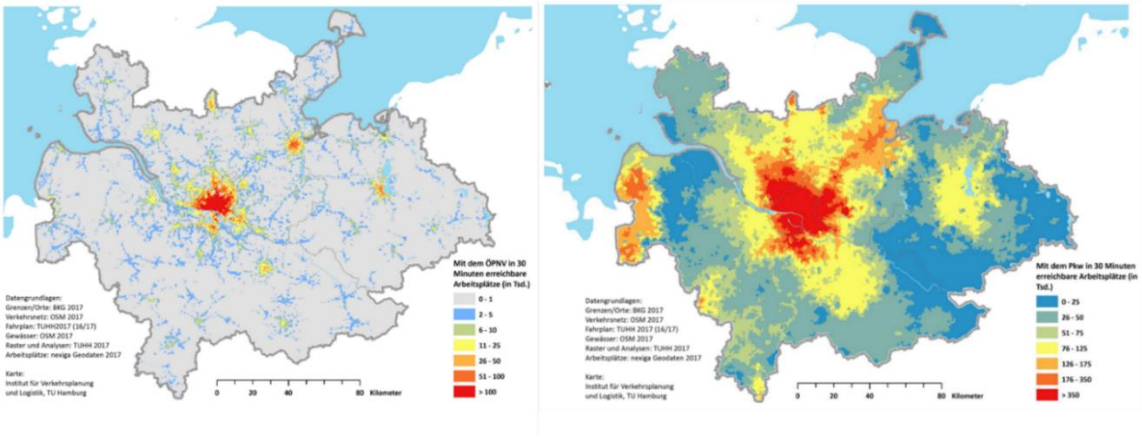

Abb. 2.3 **Regionale Erreichbarkeit in der MRH.**

Eigene Darstellung nach Metropolregion Hamburg (2017): Leitprojekt Regionale Erreichbarkeitsanalysen. Abschlussbericht und Erreichbarkeitsatlas. (Abgerufen am 03.06.2022).

[1] *Destatis (2020). Pressemitteilung Nr. N 055 vom 11. September 2020. (Abgerufen am 03.06.2022).*
[2] *Bcs Studie 2019: Entlastungsleistung von stationsbasiertem CarSharing und Homezone-CarSharing in Berlin (Abgerufen am 17.05.2022)*

2.2.2 Potenziale AVF für den Personenverkehr in der MRH

Nachdem in der Einleitung des Abschnitts 2.1 die allgemeinen Potenziale des AVF für die Verkehrswirtschaft in der MRH aufgezeigt wurden, werden folgend kurz diejenigen für den Personenverkehr aufgezeigt. Es werden beispielhaft diejenigen Potenziale genannt, die sich auch auf den Personenverkehr der MRH übertragen lassen.

Wie bereits im Abschnitt 2.2.1 beschrieben, werden sowohl die Ö(PN)V, als auch die MIV-Angebote nicht flächendeckend in der MRH angeboten. Die Gründe sind vielseitig, doch der Hauptgrund für die zuvor aufgezeigten Unterschiede zwischen Stadt und Land ist die fehlende Wirtschaftlichkeit der ländlichen Verkehre. Die Wahlmöglichkeit zwischen Ö(PN)V und eigenem Pkw besteht im ländlichen und suburbanen Raum häufig nicht. Durch autonomen oder SAE–Level-4-Betrieb im ÖPNV könnte mit dem Wegfall des Fahrpersonals und dem flexibleren Einsatz der Fahrzeuge sowie der Fahrwege die Wirtschaftlichkeit gesteigert werden und so das Angebot im ländlichen und suburbanen Raum sowohl im Ö(PN)V als auch MIV-Sharing-Angeboten erhöht werden. So bietet der Ausbau flexibler Systeme (Ridepooling, On-Demand-Services, autonome Taxidienste oder Sharing) die Möglichkeit, Mobilität flächendeckend verfügbar zu machen. Neben der Erhöhung der grundsätzlichen Verfügbarkeit der Angebote in der gesamten MRH, besteht das Potenzial auch die Bedienzeiten zu erhöhen, sodass auch in Tagesrandzeiten, an Wochenenden und in den Ferien attraktive Angebote betrieben werden können. So können POI besser verknüpft werden, beispielsweise auch Mobilitätsangebote wie Flughäfen, Fähranleger, Bahnhöfe oder Busknoten und Parkhäuser oder -plätze. Dies trägt zu einer guten Erreichbarkeit des bestehenden Ö(PN)V für die Bevölkerung der MRH bei. Der Zugang zum Ö(PN)V durch Zubringerverkehre (flexibel oder Linie) zum Nah- und Fernverkehr tragen zur Daseinsvorsorge bei.

Auch die Diskrepanzen in der Erreichbarkeit einzelner POI in der MRH, wie Arbeitsplätze oder Freizeitangebote, können durch die potenzielle Angebotsausweitung in Zusammenhang mit dem autonomen Fahren im SAE-Level-4 überwunden werden. Durch die Attraktivierung und die Verbesserung des Zugangs zum Ö(PN)V besteht beispielsweise das Potenzial einer Verlagerung des Berufspendelverkehrs. So können räumliche und zeitliche Unterschiede der Erreichbarkeit /Mobilität in der MRH überwunden werden.

Die Automatisierung des Schienenverkehrs kann dessen Leistungsfähigkeit erhöhen und damit langwierige bauliche Erweiterungen der Infrastruktur ergänzen oder überflüssig machen. Dies gilt insbesondere für die Knoten im Eisenbahnsystem und deren Zulaufstrecken wie auch für z. B. teils eingleisige Strecken. Besonders geeignet hierfür sind Strecken auf eigener Infrastruktur wie z. B. die Hamburger S-Bahn, deren Betriebsdurchführung mittels einer Automatisierung und entsprechend aufgerüsteter Betriebsleittechnik, Infrastruktur und Fahrzeugtechnik effizienter und leistungsfähiger ausgestaltet werden kann.

Bewertend kann gesagt werden, dass automatisiertes und vernetztes Fahren im Ö(PN)V eine wichtige Rolle im Sinne einer nachhaltigen Verkehrswende einnehmen kann, sofern den oben benannten Rebound-Effekten durch Attraktivitätssteigerung des MIV aktiv gegengesteuert wird. Beispielhafte Maßnahmen zur restriktiven Steuerung des Rebound-Effektes wären gezielte Verkehrsberuhigung, Parkraumreduktion oder Mautgebühren. Der Ö(PN)V kann insbesondere im suburbanen und ländlichen Raum zur Feinverteilung

und Anbindung an zentrale Knoten sowie für Querverbindungen wichtige Rollen übernehmen. Vor allem in heterogenen Räumen, wie der MRH, kann so ein weiträumiger Zugang zu Ö(PN)V geboten werden. Der Attraktivitätssteigerung des Ö(PN)V wird bei der Vermeidung der Rebound-Effekte zum MIV eine große Rolle beigemessen.

Autonome Fahrzeuge sind auch in der MRH im Carsharing-Bereich eine sinnvolle Ergänzung zu einem integrativen flächendeckenden Verkehrssystem. Der Einsatz von (teil)automatisierten Fahrzeugen bietet die Möglichkeit, Carsharing-Angebote wirtschaftlich sinnvoll zu erweitern, die Mobilitätsverfügbarkeit zu erhöhen und die PKW-Anzahl zu reduzieren. Fahrzeuge können durch die Verwendung von autonomen Fahrfunktionen effizienter ausgelastet werden, während die Nutzungsbarriere geringer wird. Dieser Effekt entsteht durch die Vermeidung von Wartezeiten und Wegen. Die Nutzenden müssen nicht mehr den Weg zum Fahrzeug antreten, sondern werden unmittelbar vom nächsten verfügbaren Fahrzeug angesteuert. Dies ist insbesondere für Zielgruppen relevant, die z. B. aus Gründen des Komforts auf die Nutzung von Ö(PN)V-Diensten verzichten möchten. Wie zuvor erwähnt ist es möglich, dass die vermehrte Nutzung von Carsharing-Angeboten zu keiner Reduktion der Verkehrsstärke führt. Der positive Effekt ist dementsprechend durch die Reduktion der Fahrzeuge insgesamt und geringerem Parkraumbedarf bestimmt.

Handlungsfelder bestehen insbesondere im Schaffen rechtlicher und technischer Grundlagen für fahrerlose Systeme sowie der erforderlichen flächendeckenden infrastrukturellen und betrieblichen Voraussetzungen. Möglichkeiten zur Ausweitung des Ö(PN)V im ländlichen Raum können in der Umsetzung flexibler oder liniengebundener On-Demand-Verkehre zu zentralen Knoten oder auf Querverbindungen bestehen. Die öffentliche Hand hat im Ö(PN)V die Möglichkeit, aufgrund ihrer Rolle als ÖPNV-Aufgabenträger eine entsprechend aktive, steuernde und rahmengebende Rolle einzunehmen. Der Einsatz von autonomen Fahrzeugen im Bereich des Carsharings erfordert nutzungsorientierte Konzepte. Der Roll-Out von allgemeingültigen und kommerziell in der Fläche betriebenen Angeboten ist derzeit wirtschaftlich nicht sinnvoll. Aus diesem Grund ist es ratsam, dass die öffentliche Hand auch im Bereich des MIV eine Steuerungsfunktion übernimmt. Denkbar sind kommunal initiierte Angebote oder (teil-)privates Carsharing.

Um aufzuzeigen, wie diese allgemeinen Potenziale ausgeschöpft und genutzt werden können, werden im nächsten Schritt mit Hilfe der SWOT-Analyse Handlungsoptionen für die MRH abgeleitet.

2.2.3 SWOT-Analyse und Handlungsoptionen

Um konkrete Handlungsoptionen für die MRH abzuleiten, stellt die Abb. 2.4 die SWOT-Matrix für den Personenverkehr in der MRH dar. Diese beinhaltet die wichtigsten Stärken und Schwächen der MRH im Hinblick auf die Einführung von AVF sowie die größten Potenziale bzw. Chancen und Risiken des Marktes rund um AVF.

Stärken der MRH	Schwächen der MRH
• MRH als Zusammenschluss inkl. Netzwerk • Knowhow (Genehmigung, Testfelder, Ö(PN)V, IV, Straße, Wasser; Schwerpunkt Nutzfahrzeuge)	• Zuständigkeiten für Genehmigungen sind Ländersache, Bestellung des ÖPNV Kreissache • Kapazitäten ÖPNV-Angebot im urbanen Zentrum (HH) sind ausge-

• Aktiver Gestaltungswille Betreiber
• Zukunftsagenda der MRH
  ○ Räumliches Leitbild
  ○ Koordinierungskreis Raumentwicklung
  ○ Kompetenzcentrum Mobilität
• Hamburg-Takt
• Akzeptanz und Begeisterung der Bevölkerung
• Etablierte Angebote als Wegbereiter (Shuttles, Linien, On-Demand im ÖPNV & Carsharing im MIV)
	schöpft
	• ÖPNV-Angebot stellt häufig keine Alternative zum Pkw dar (ländl. und suburban)
	• Keine Kapazität bei Betreibern für Beschaffung und Finanzierung AVF-Fahrzeuge (Fokus Elektrobusse)
	• Kostendeckungsgrad Ö(PN)V
	• Fehlende gemeinsame Strategie AVF-Einführung
	• Hohe Verkehrsbelastung urbane Knotenpunkte

Chancen und Potenziale des Marktes	Risiken und Herausforderungen des Marktes
• Kompetenz-Cluster • interdisziplinäre Kooperationsvorhaben • Aufbau einer Koordinierungsstelle (Technik, Finanzen, Integration) • Ganzheitliche Lösung verkehrlicher Probleme durch städtebauliche Integration • Anforderungen der Stadt- und Raumplanung durch Definition von ODD • Kapazitätserhöhung durch AVF auf der Schiene • Weiterentwicklung Geschäftsmodell und Digitalisierung Betreibende • Gemeinsame „Projektwerkstatt“ • Kostenersparnis im Nutzfahrzeugbereich • Leitstellen der Verkehrsunternehmen bieten Potenzial für die Technische Aufsicht • Übertragungsmöglichkeiten ÖPNV auf Nutzfahrzeuge (Lkw über eingemessene Strecken fahren). • Flottenbetriebe und übergreifende Zusammenarbeit der Stakeholder aus ÖPNV, IV, Güterverkehr auf Straße, Schiene, Wasser und Luft • Spin-Offs durch Acceleratoren o.ä. • Interoperabilität (Fähigkeit unterschiedlicher Systeme, möglichst	• Unkoordinierte und nicht in städtebaulichen Kontext eingeordnete Entwicklung des Marktes • Betrieb von AVF-Fahrzeugen nicht regulatorisch geregelt → Folgen: Mehrverkehr, Kannibalisierung, keine Kooperation • Hoher Investitionsbedarf und wirtschaftliches Risiko wg. techn. Fortschritts (Fahrzeuge und Infrastruktur) → Fördermittelbedarf • Lange Beschaffungszyklen Fahrzeuge und Technik • Einige Szenarien noch nicht gelöst, wie Baustellen und Einsatzfahrzeuge • Leitstand/technische Aufsicht • Rechtsrahmen ist komplex und unklar • Skalierung und Übertragung Betrieb durch Zulassung in begrenzter ODD erschwert • Keine „Task-Forces“ in Behörden • Absatzmarkt für AVF-Fahrzeuge noch nicht vorhanden, daher Anforderungen unklar • Knowhow ist nicht gebündelt/gesammelt/gesichert, sondern liegt bei den einzelnen Stakeholdern oder Einzelpersonen • Herausforderungen Betreibende:

nahtlos zusammenzuarbeiten) • Reduzierung des Parkraumbedarfes im urbanen Raum durch AVF Sharing-Economy	Kosten, Personal, Integration in konventionelle Flotte, Geschäftsmodell, marktreife Fahrzeuge, Digitalisierung, Infrastruktur noch nicht für AVF (-Zubringer) ausgelegt

Abb. 2.4 SWOT-Matrix für Personenverkehr

Aus der SWOT-Matrix in Abb. 2.4 lassen sich folgende Handlungsoptionen ableiten, die für eine Ausrichtung des IAF Rückschlüsse zulassen.

Handlungsoptionen	Wirkung
MRH als Zusammenschluss inkl. Netzwerk in Richtung AVF ausbauen, …	…um Partner in interdisziplinären Kooperationsvorhaben zusammenzubringen. …um eine Koordinierungsstelle für Technik, Finanzierung und Integration zu schaffen.
	…um Wirtschaftsförderungsmaßnahmen wie Accelerator-Programme, Ideenwettbewerbe, Förderungen o.ä. zu entwickeln und durchzuführen.
	…um gemeinsame „Projektwerkstatt" zu entwickeln und zu betreiben.
Knowhow (Genehmigung, Testfelder, Ö(PN)V, IV, Straße, Wasser; Schwerpunkt Nutzfahrzeuge) nutzen, …	…um diese in einem Kompetenz-Cluster zu bündeln und gemeinsam auszubauen.
	…um Interoperabilität sicherzustellen und so auf ein Gesamtsystem einzuzahlen.
	…um Potenzial der Kostenersparnis von AVF-Systemen im Nutzfahrzeugbereich zu maximieren.
Hamburg-Takt erreichen (ÖPNV innerhalb von 5 min für jede/n zugänglich), …	…indem durch Automatisierung eine Kapazitätserhöhung im SPNV erzielt wird.
Aktiven Gestaltungswillen der Betreiber nutzen, …	…um Weiterentwicklung von Geschäftsmodell und Digitalisierung voranzubringen.
	…um das Potenzial der Leitstellen der Verkehrsunternehmen für die Technische Aufsicht durch Kompetenzen und permanente Verfügbarkeit zu evaluieren und voranzubringen.
Projekte der Zukunftsagenda der MRH miteinander verschneiden (Räumliches Leitbild, Koordinierungskreis Raumentwicklung, Kompetenzcentrum Mobilität), …	…um eine ganzheitliche Lösung verkehrlicher Probleme durch städtebauliche Integration von AVF sowie die Formulierung von Anforderungen der Stadt- und Raumplanung durch eine gemeinsame Definition von ODDs zu ermöglichen.

Handlungsoptionen	Wirkung
Akzeptanz und Begeisterung der Bevölkerung nutzen, ...	...um Flottenbetriebe und übergreifende Zusammenarbeit der Stakeholder aus ÖPNV, IV, Güterverkehr auf Straße, Schiene, Wasser und Luft gewinnbringend voranzubringen und zu entwickeln.

Tab. 2.1 Personenverkehr SO-Strategie (Matching-Taktik)

Stärken nutzen, um Chancen zu maximieren; Ziel: Ausbauen

Handlungsoptionen	Wirkung
Die regionalen Zuständigkeiten für Genehmigungen (Länder) und Bestellung des ÖPNV (Kreis) über ein Kompetenz-Cluster der MRH so abstimmen, ...	...dass ein gemeinsames Vorgehen bzw. Strategie verfolgt wird und beispielsweise auch das Thema der technischen Aufsicht gemeinsam bearbeitet werden kann.
Die Kapazitätsgrenzen des ÖPNV-Angebotes im urbanen Zentrum (HH), ...	...durch ganzheitliche Lösung verkehrlicher Probleme durch städtebauliche Integration, eigene Definition von ODD ausweiten und Automatisierung auf der Schiene voranbringen.
Die Herausforderung, dass das ÖPNV-Angebot häufig im ländlichen und suburbanen Raum keine Alternative zum Pkw darstellt, ...	...durch eine ganzheitliche Lösung verkehrlicher Probleme durch städtebauliche Integration angehen.
	...durch Kosteneinsparungen des AVF das bestehende ÖPNV-Angebot im ländlichen Raum erweitern.
	...durch einen gemeinsam koordinierten Flottenbetrieb in der MRH und übergreifende Zusammenarbeit der Stakeholder aus ÖPNV, IV, Güterverkehr auf Straße, Schiene, Wasser und Luft angehen.
	...durch den MRH-weiten Aufbau einer Koordinierungsstelle, insbesondere in technischer, finanzieller und integrativer Hinsicht in eine Stärke umwandeln, indem die Beschaffung dann in einer Gemeinschaft erfolgt.
Den Herausforderungen des geringen Kostendeckungsgrades im ländlichen und suburbanen Ö(PN)V und der Wirtschaftlichkeit verschiedener Fahrzeuggrößen...	...durch Kostenvorteile der AVF-Nutzfahrzeuge begegnen, wie wegfallende Kosten für Fahrpersonal, höhere Auslastung der Fahrzeuge etc.
Die hohe Verkehrsbelastung und hohen Parkraumbedarf im urbanen Raum ...	...durch kombinierte Sharing-Economy- und ÖPNV-Angebote langfristig verringern.

Tab. 2.2 Personenverkehr WO-Strategie (Umwandlungstaktik)

Schwächen minimieren durch Nutzung von Chancen und zu Stärken umwandeln; Ziel: Aufholen

Handlungsoptionen	Wirkung
MRH als Zusammenschluss inkl. Netzwerk nutzen, …	…um das Risiko des nicht regulierten Betriebes von AVF-Fahrzeugen und folglich Mehrverkehr, Kannibalisierung des ÖPNV sowie fehlende Kooperation zu vermeiden.
	…um das bisher nicht gebündelte Knowhow zu sammeln und sichern, um so die Abhängigkeit einzelner Stakeholder zu verringern.
	…um den hohen Investitionsbedarf mit hohem wirtschaftlichem Risiko auf Seiten der Fahrzeug- und Infrastrukturbetreibenden und die damit zusammenhängende Abhängigkeit von Fördergeldern zu evaluieren und eine gemeinsame Lösung für eine öffentliche Finanzierung zu erlangen.
	…um über eine Beschaffungsgemeinschaft die langen Beschaffungszyklen für Fahrzeuge und Technik zu umgehen bzw. zu vereinfachen.
	…um für Stakeholder (Unternehmen, Kommunen etc.) eine Unterstützung bzgl. Rechtsrahmen zu bieten und eine „Task-Force" zu AVF-Themen zu bilden.
Knowhow (Genehmigung, Testfelder, Ö(PN)V, IV, Straße, Wasser; Schwerpunkt Nutzfahrzeuge) nutzen, …	… um Anforderungen an AVF-Fahrzeuge zu definieren und so den Absatzmarkt besser einzugrenzen.
Aktiven Gestaltungswillen der Betreibenden nutzen, …	…um noch nicht gelöste Szenarien gemeinsam in F&E-Projekten zu thematisieren (wie Baustellen und Einsatzfahrzeuge).
	…um das Thema Leitstand/technische Aufsicht gemeinsam zu bearbeiten.
	…um gemeinsam die Herausforderungen für ÖPNV-Betreibende zu thematisieren und eine gemeinsame Lösung oder Ansätze zu evaluieren und erproben.
Projekte der Zukunftsagenda (Räumliches Leitbild, Koordinierungskreis Raumentwicklung, Kompetenzcentrum Mobilität) der MRH nutzen, …	…um zu verhindern, dass eine unkoordinierte und nicht in städtebaulichen Kontext eingeordnete Entwicklung des Marktes stattfindet.
	…um dem Fahrzeugmarkt eindeutige Anforderungen an die ODD darzulegen und somit die Skalierung der Fahrzeuge zu beschleunigen.

Tab. 2.3 Personenverkehr ST–Strategie (Neutralisierungstaktik)

Stärken nutzen, um Risiken zu minimieren; Ziel: Absichern

Handlungsoptionen	Wirkung
Kapazitätsengpass für Beschaffung und Finanzierung bei den Betreibenden abbauen, …	… um Risiko der langen Beschaffungszyklen zu vermeiden.
Gemeinsame Strategie für AVF-Einführung erarbeiten, …	… um eine unkoordinierte und städtebaulich nicht eingegliederte Entwicklung des Marktes zu vermeiden.
	… um das Risiko der fehlenden Regulierung von AVF-Verkehr und deren Folgen, wie Mehrverkehr, Kannibalisierung und fehlende/keine Kooperation zu vermeiden.

Tab. 2.4 Personenverkehr WT–Strategie (Vermeidungstaktik)

Schwächen abbauen, um Risiken zu vermeiden; Ziel: Vermeiden

Die Vorteile durch die Etablierung eines IAFs wären nicht nur, dass die oben benannten Handlungsoptionen verfolgt werden können, sondern vor allem, dass öffentliche Aufgabenträger, Betreibende und Regulierende bei der Innovation im ÖPNV personell und ggf. auch finanziell unterstützt werden. Die Innovationskraft aller Stakeholder wird dadurch vergrößert. So können gemeinsame Synergien geschaffen werden, wodurch Ressourcen gespart und gemeinsame Wege und Prozesse etabliert werden können. Weiterhin wird auf ein, über die Daseinsvorsorge hinausgehendes, Mobilitätssystem eingezahlt. So können ÖPNV, MIV und alle weiteren Verkehrsarten in einem Gesamtsystem betrachtet werden und so mögliche Negativeffekte einseitiger Entwicklungen identifiziert und ihnen ggf. entgegengesteuert werden.
Nachteile, wenn kein IAF: Alle öffentlichen Träger müssen eigene Ressourcen aufwenden, um einen eigenen Weg zu finden, haben keinen zentralen Ansprechpartner und haben ggf. keine Ressourcen diesen Weg zu gehen. Dadurch eine Einschränkung der Innovation im Sinne eines ganzheitlichen Mobilitätssystems als Konkurrenz zum motorisierten MIV.

2.3 Potenziale, Chancen und Risiken für Güterverkehr in der MRH

2.3.1 Ausgangslage

Der Güterverkehr in den Trägerländern der MRH ist breit aufgestellt. Er umfasst Güterverkehr auf der Straße, Schiene, in der Luft und auf dem Wasser.
Der **straßengebundene Güterverkehr** in den Trägerländern der MRH umfasste 2020 insgesamt 46 Mio. Fahrten, auf denen 571 Mio. Tonnen Güter befördert wurden. Dabei wurde 73 % der Fahrten innerhalb der gleichen Bundesländer zurückgelegt, 26 % zwischen Bundesländern und nur 1 % international. Somit wurden im straßengebundenen Güterverkehr in den Trägerländern der MRH 55.510 Mio. Tonnenkilometer zurückgelegt. 35% wurden dabei innerhalb der Bundesländer, 59 % in andere Bundesländer und 5 % international transportiert.[1]

[1] *KBA (2022): Güterbeförderung 2020. Zahlen, Daten, Fakten. (Abgerufen am 30.05.2022)*

Im **schienengebundenen Güterverkehr** der MRH Trägerländer wurden im Jahr 2020 rund 150 Mio. Tonnen Güter in der MRH umgeschlagen, wobei die Verteilung zwischen Wareneingang und -ausgang gleichmäßig ist. Die Schieneninfrastruktur der MRH ist im Bundesvergleich gut. Vor allem im Bereich des Hamburger Seehafens nimmt der Verkehrsträger Schiene in Bezug auf den Seehafenhinterlandverkehr eine bedeutende Rolle ein.[1]
In der **Güterschifffahrt** in den MRH-Trägerländern wurden im Jahr 2020 in der Binnenschifffahrt 33 Mio. Tonnen und in den Seehäfen insgesamt rund 250 Mio. Güter umgeschlagen. Dabei nehmen Hamburg 45 %, Niedersachsen 33 %, Schleswig-Holstein 13 % und Mecklenburg-Vorpommern 9 % ein. Auch hier geht ein Großteil der Güterumschläge auf den Hamburger Hafen zurück, der nicht nur als bedeutendster Seehafen Deutschlands gilt, sondern auch einer der größten Binnenhäfen ist. Vor allem international ist der Seehafen ein bedeutender Umschlagplatz und macht die MRH so zu einem wichtigen Logistikstandort in Europa.[2] Im Hamburger Hafen wird der Umschlag von Seeschiff auf Binnenschiff kaum durchgeführt. Dadurch wird die Wettbewerbsfähigkeit des Binnenschiffs insbesondere gegenüber Güterbeförderung mit dem Lkw eingeschränkt.[3]
Insgesamt wurden 2020 rund 1.035 Mio. Tonnen Güter in der MRH transportiert.
Neben dem regulären Straßennetz, auf dem vor allem auf Autobahnen und Landstraßen der Güterverkehr stattfindet, verfügt die MRH zudem über ein breites Lang-Lkw-Netz, welches die wichtigsten POI und internationalen Verkehre in Richtung Skandinavien umfasst. Dies ist in der Abb. 2.5 dargestellt.

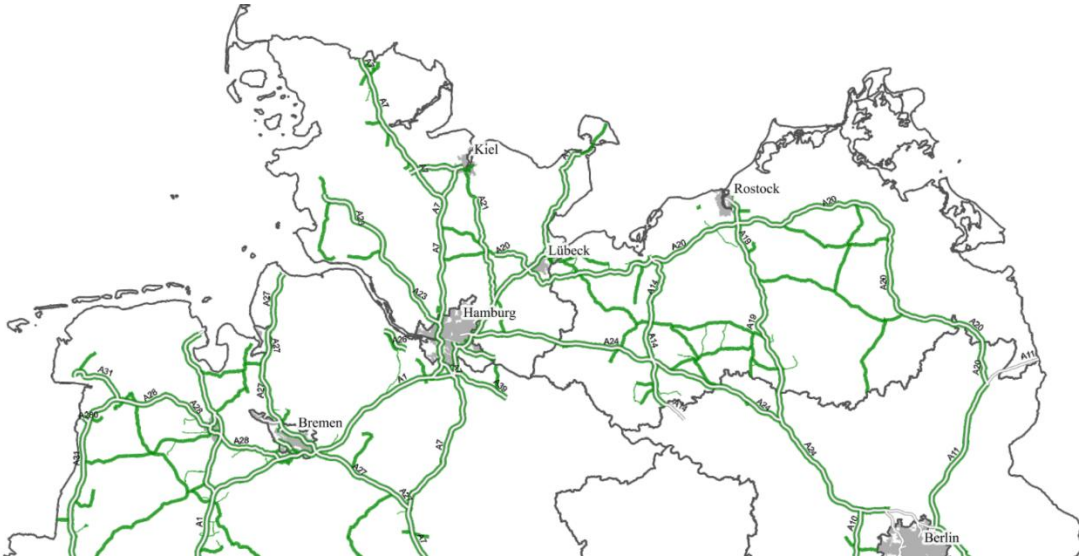

Abb. 2.5 Auszug aus dem norddeutschen Streckennetz für Lang-Lkw

Eigene Darstellung nach BASt (2021): Überblick über das Streckennetz für Lang-Lkw (Stand. 10. Änderungsverordnung). (Abgerufen am 09.06.2022)

Umschlagplätze und Verteilzentren werden größtenteils durch Häfen und GVZ abgebildet. In der MRH gibt es sechs Häfen mit Güterumschlag, wobei einer in Mecklenburg-

[1] *Holtermann, L., Jahn, M. Otto, A. H. & Wedemeier, J. (2015): Metropolregion Hamburg 2020: Verkehrsinfrastruktur und ihre Auslastung. (Abgerufen am 01.05.2022).*
[2] *Holtermann, L., Jahn, M. Otto, A. H. & Wedemeier, J. (2015): Metropolregion Hamburg 2020: Verkehrsinfrastruktur und ihre Auslastung. (Abgerufen am 01.05.2022).*
[3] *Holtermann, L., Jahn, M. Otto, A. H. & Wedemeier, J. (2015): Metropolregion Hamburg 2020: Verkehrsinfrastruktur und ihre Auslastung. (Abgerufen am 01.05.2022).*

Vorpommern (Wismar), drei in Schleswig-Holstein (Lübeck-Travemünde, Puttgarden, Brunsbüttel), einer in Hamburg (Altenwerder) und einer in Niedersachsen (Bützfleth) liegen. In den Trägerländern angrenzend an die MRH sind weitere Häfen in Brake, Bremerhaven, Rostock, Wilhelmshaven zu finden. Ferner gibt es in der MRH nur ein GVZ (Lübeck), in den Trägerländern weitere sieben (Rostock, Kiel, Wilhelmshaven, Dörpen [Emsland], Coevorden-Emlichheim, Osnabrück, Lehrte). Diese Verteilung weist räumliche Unterschiede auf, die sich auch in den oben benannten Zahlen der umgeschlagenen Tonnen je Bundesland widerspiegeln.[1]

Kleingütertransport und Speditionstransporte an Endkunden werden vorwiegend über KEP-Dienste und Speditionen abgedeckt. Erste Pilotvorhaben zu innovativen Liefermöglichkeiten von Kleingütern wurden in der MRH ebenfalls bereits erprobt. So wurden in dem Projekt TaBuLa-LOG in Schleswig-Holstein und durch Auslieferung der Firma Starship in Hamburg die Lieferung mit Transportrobotern erprobt. Im Projekt TaBuLa-LOG wurde darüber hinaus auch die Kombination des Personen- und Warentransportes durch Mitnahme der Roboter im ÖPNV erprobt. Diese Angebote sind bzw. waren Pilotvorhaben in begrenzten Gebieten. Bei der erprobten Kleingütermitnahme im ÖPNV ist ein mögliches zukünftiges Angebot von den zuvor thematisierten ÖPNV-Strukturen abhängig. Automatisierte Logistik auf Privatgelände oder innerhalb von Gebäuden wird beispielsweise im Universitätsklinikum Schleswig-Holstein angewandt.[2]

Im Bereich der Warenauslieferung an Endkunden werden zudem vermehrt Paketstationen an zentralen POI eingesetzt.[3]

2.3.2 Potenziale des AVF im Güterverkehr in der MRH

Nachdem in der Einleitung des Abschnittes 2 die allgemeinen Potenziale des AVF für die Verkehrswirtschaft aufgezeigt wurden, werden folgend kurz diejenigen für den Güterverkehr aufgezeigt. Dazu werden beispielhaft diejenigen Potenziale genannt, die sich auch auf den Güterverkehr der MRH übertragen lassen.

Durch autonomen oder SAE-Level-4-Betrieb im Güterverkehr könnte mit dem Wegfall des Fahrpersonals dem Fahrpersonalmangel als einer der größten Herausforderungen der Branche begegnet werden.[4] Bei der erwarteten Kosteneinsparung durch den Einsatz von AVF-Fahrzeugen stehen vor allem Betriebs- und Personalkosten und damit Transportkosten für Güter im Vordergrund und gelten als entscheidender Wettbewerbsfaktor. Automatisierung bietet außerdem das Potenzial, auch Kosten im Warenumschlag oder Wareneingang und -ausgang senken zu können, da erwartet wird, dass automatisierte Systeme in Kombination mit begleitenden digitalen Prozessen viele im manuellen Ablauf erforderliche Schritte vereinfachen und beschleunigen und schlussendlich auch zu einer stärkeren Bündelung der Verkehre führen können.

Viele Logistikprozesse bauen direkt aufeinander auf. So besteht eine starke Abhängigkeit zwischen den Prozessen. Kommt es zu einem Ausfall, können Stillstandzeiten auftreten und zu ökonomischen Verlusten führen. Deswegen liegen aktuell noch nicht genutzte

[1] *Deutsch GVZ-Gesellschaft mbH (2022): GVZ Standorte (Abgerufen am 10.05.2022); Logivest GmbH (2022): GVZ Lübeck (Abgerufen am 10.05.2022).*
[2] *UKSH (2022): Logistik. (Abgerufen am 10.05.2022)*
[3] *Deutsche Post DHL Group (2021). DHL baut Packstationen weiter aus: 15.000 bis 2023.(Abgerufen am 10.05.2022); PARCEL LOCK (2022). Moin Moin! Hamburg Box. Deine Abholstation – flexibler und grüner Paketempfang. (Abgerufen am 10.05.2022)*
[4] *Flämig, Heike; Lunkeit, Sandra; Fieltsch, Patrick; Müller, Stephan; Thaller, Carina; Liedtke, Gernot; Voigtländer, Felix; Janke, Christian (2020): Automatisiertes und vernetztes Fahren in der Logistik - Chancen für mehr Wertschöpfung (Schlussbericht zum Projekt ATLaS). Technische Informationsbibliothek (TIB).*

Wertschöpfungspotenziale vor allem in der Automatisierung und Standardisierung des Waren- und Informationsflusses. Erforderlich hierfür ist eine deutlich intensivere Digitalisierung der in der Logistik üblichen Prozesse und eine deutlich intensivere anbieter- und auch verkehrsträgerübergreifende Nutzung der Systeme und Infrastrukturen.

Anders als beim Personenverkehr, bei dem vor allem die Automatisierung flexibler Systeme als Chance gesehen wird, wird in der Logistik der Vorteil der Automatisierung vor allem bei standardisierten Logistikprozessen gesehen, um so Systemverkehre effizienter zu gestalten. Ferner werden die größten Potenziale im B2B-Bereich gesehen, wie beispielsweise zwischen Depots, GVZ und Begegnungspunkten, da in der ersten und letzten Meile der Servicegedanke an den Endkunden eine große Rolle spielt.[1] Besonders dem Einsatz von automatisierten Lang-Lkw sowie Konvoifahrten durch Platooning, bei denen ein Konvoiführender mehrere Transportfahrzeuge gekoppelt bewegt, besteht großes Potenzial. So wäre eine wechselhafte Nachfrage an Transportkapazität abfangbar.[2] Zwischen der Einführung des Streckennetzes für Lang-Lkw und automatisierten, straßengebundenem Güterverkehr bestehen dabei Synergiepotenziale, weil die Strecken des Positivnetzes als Teststrecken für AVF-Güterverkehr zwischen Depots und GVZs fungieren könnten. Diese bieten realistische Einsatzszenarien für AVF-Fahrzeuge in der Logistik und reduzierte Komplexität im Gegensatz zum Einsatz in urbanen Räumen. Auch in Teilen der Endkunden-Auslieferung, die entweder ohne direkten Kundenkontakt oder im Kundenkontakt, bei dem der menschliche Service nicht im Vordergrund steht, sehen einige Expertinnen und Experten Chancen durch Automatisierung, z. B. durch Transportroboter. Das Ziel ist hierbei die Eindämmung der steigenden Anzahl von Lieferfahrzeugen in den Straßen.

Neben der Erhöhung der grundsätzlichen Verfügbarkeit von Logistikprozessen besteht das Potenzial die Standzeiten der Fahrzeuge zu reduzieren, sodass auch in Pausenzeiten des Fahrpersonals die Fahrzeuge betrieben werden können. So können POI des Güterverkehrs besser verknüpft werden, wie beispielsweise GVZ, Häfen und andere Umschlagpunkte. Dies trägt zu Erhöhung der Auslastung und somit erweiterten Skalierungseffekten bei. Dies wiederum bietet das Potenzial, die Wirtschaftlichkeit zu erhöhen und die regionale Wirtschaft zu stärken.

Für den Verkehrsträger Schiene wird die Umsetzung der Ausbau- und Neubauvorhaben in der MRH und den Trägerländern auch weiterhin eine wesentliche Voraussetzung für die Kapazitätserhöhung sein. Doch die Automatisierung des Schienenverkehrs kann mittelfristig zu einer Leistungssteigerung und einer effizienteren Auslastung bestehender Netzkapazitäten führen. Als Beispiel sei die reduzierte Streckenblockung genannt, welche das physische Blockieren von Streckenabschnitten für folgenden Schienenverkehr darstellt. Diese als Blockverdichtung bezeichnete Maßnahme kann durch das sich derzeit im Aufbau befindliche ETCS effizienter als mit konventioneller Technik realisiert werden.[3] Da der logistische und verkehrliche Knoten Hamburg bereits heute seine Kapazitätsgrenzen

---

[1] Flämig, Heike; Lunkeit, Sandra; Fieltsch, Patrick; Müller, Stephan; Thaller, Carina; Liedtke, Gernot; Voigtländer, Felix; Janke, Christian (2020): Automatisiertes und vernetztes Fahren in der Logistik - Chancen für mehr Wertschöpfung (Schlussbericht zum Projekt ATLaS). Technische Informationsbibliothek (TIB).

[2] Flämig, Heike; Lunkeit, Sandra; Fieltsch, Patrick; Müller, Stephan; Thaller, Carina; Liedtke, Gernot; Voigtländer, Felix; Janke, Christian (2020): Automatisiertes und vernetztes Fahren in der Logistik - Chancen für mehr Wertschöpfung (Schlussbericht zum Projekt ATLaS). Technische Informationsbibliothek (TIB).

[3] BMVI, Masterplan Schienenverkehr, Juni 2020, Seite 23 (Abgerufen am 07.06.2022)

erreicht, kann eine Digitalisierung der Schieneninfrastruktur dem langwierigen Ausbau der Schiene begegnen, indem das bestehende Schienennetz grundsätzlich effizienter genutzt werden kann.

In der Güterschifffahrt besteht, neben den zuvor genannten allgemeingültigen Potenzialen wie Kosteneinsparung und der Begegnung des Fachkräftemangels, vor allem das Potenzial kleinere Schiffe als Feeder-Schiff zu größeren Güterschiffen und damit die Binnenwasserstraßen vermehrt zu nutzen, insbesondere für den Transport von Rohstoffen.

Auch im Güterverkehr könnte ein Rebound-Effekt eintreten, wenn der straßengebundene Güterverkehr noch attraktiver als der wasser- oder schienengebundene Güterverkehr wird. Hier sind entsprechende regulatorische Vorgaben zu formulieren.

Bewertend kann gesagt werden, dass automatisiertes und vernetztes Fahren im Güterverkehr eine wichtige Rolle im Sinne einer nachhaltigen Verkehrswende einnehmen kann, sofern den oben benannten Rebound-Effekten durch Attraktivitätssteigerung des straßengebundenen Güterverkehrs aktiv gegengesteuert wird. Der automatisierte Güterverkehr kann insbesondere in der Feinverteilung eine wichtige Rolle übernehmen (siehe oben: 73 % der Fahrten im gleichen Bundesland). Handlungsfelder wären insbesondere das Schaffen rechtlicher und technischer Grundlagen für fahrerlose Systeme sowie von flächendeckenden infrastrukturellen, betrieblichen und organisatorischen Voraussetzungen wie z. B. der Aufbau von anbieterneutralen Hubs, einer hierfür nutzbaren neutralen digitalen Plattform[1] und ggf. auch das Verbinden mit Gebietskonzessionen im Güterverkehr, um ein Bündeln von Verkehren ordnungsrechtlich zu erzwingen. Die aktive Steuerung der öffentlichen Hand wäre durch fehlende direkte Einwirkungsmöglichkeiten eingeschränkt. Eine Einführung von AVF in den Güterverkehr ist dadurch vermutlich langwieriger als im ÖPNV.

Um aufzuzeigen, wie diese allgemeinen Potenziale ausgeschöpft und genutzt werden können, werden im nächsten Schritt mit Hilfe der SWOT-Analyse Handlungsoptionen für die MRH abgeleitet.

2.3.3 SWOT-Analyse und Handlungsoptionen

Um konkrete Handlungsoptionen für die MRH abzuleiten, stellt die Abb. 2.6 die SWOT-Matrix für den Güterverkehr in der MRH dar. Diese Matrix beinhaltet die wichtigsten Stärken und Schwächen der MRH in Hinblick auf die Einführung von AVF im Bereich Güterverkehr sowie die größten Potenziale bzw. Chancen und Risiken des Marktes rund um das AVF.

Stärken der MRH	Schwächen der MRH
• HH-Hafen als internationaler Umschlagpunkt • MRH als Zusammenschluss inkl. Netzwerk • Knowhow (Anforderung und Handlungsbedarfe an Umschlagsterminals & GVZ; AVF zwischen Verteillagern (Autobahnen), Zufahrts-, Stadtstraßen & Privatgelände; Konstruktion,	• Systeme auf Terminals und GVZ erfüllen noch nicht die Anforderung für autonome Fahrzeuge oder Systeme • Zuständigkeiten für Genehmigungen bei Ländern • Kapazitäten auf der Schiene im urbanen Zentrum (HH) sind ausgeschöpft

[1] *wie z. B.: https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/mfund-projekte/cargosurfer.html*

Programmierung & Betrieb von Transportrobotern; Automatisierung von Hafenanlagen (Lübeck & Hamburg); Lkw auf SAE 3 (Autobahn); Genehmigung, Testfelder, Straße; Schwerpunkt Nutzfahrzeuge)
• Zukunftsagenda der MRH
  ○ Räumliches Leitbild
  ○ Koordinierungskreis Raumentwicklung
  ○ Kompetenzcentrum Mobilität
	• Kleine und mittlere Betreiber haben keine Kapazitäten für Beschaffung und Finanzierung von AVF-Fahrzeugen
	• Fehlende gemeinsame Strategie zur Einführung von AVF
	Hohe Verkehrsbelastung an urbanen Knotenpunkten zu Stoßzeiten

Chancen und Potenziale des Marktes	Risiken und Herausforderungen des Marktes
• Vorbereitung Logistik-Industrie auf AVF • interdisziplinäre Kooperationsvorhaben • Koordinierungsstelle (Technik, Finanzen, Integration) • Ganzheitliche Lösung verkehrlicher Probleme durch städtebauliche Integration • Anforderungen Raumplanung (Definition ODD) • Kapazitätserhöhung auf der Schiene • Weiterentwicklung Geschäftsmodell und Digitalisierung Speditionen, Betreibende, Häfen, Depots • Gemeinsame „Projektwerkstatt“ • Kostenersparnis und gesteigerte Wettbewerbsfähigkeit • Lang-Lkw-Einführung hat Synergiepotenziale zur Einführung von AVF (Begrenzte und definierte ODD) • 73 % aller Fahrten im selben Bundesland • Interoperabilität • Flottenbetriebe u. Zusammenarbeit ÖPNV, IV, Güterverkehr auf Straße, Schiene, Wasser und Luft • Lieferketten sind schneller, günstiger, verlässlicher, Reduktion Lieferfahrzeuge	• Entwicklung der Region u. des Welthandels deuten auf stärkere Auslastung bestehender Strukturen hin • Leitstand/Technische Aufsicht für öffentlichen Raum, Verteiler, GVZ und Terminals fehlt • Fehlende AVF-Schnittstellen zwischen den Verkehrsträgern • Schiene erreicht Kapazitätsgrenzen • Betrieb nicht regulatorisch geregelt, Folgen: Mehrverkehr, Kannibalisierung, keine Kooperation • Hoher Investitionsbedarf u. wirtschaftliches Risiko • Lange Beschaffungszyklen Fahrzeuge und Technik • Einige Szenarien noch nicht gelöst, wie Baustellen • Rechtsrahmen ist komplex und unklar • Absatzmarkt für AVF-Fahrzeuge unklar • Herausforderungen für Güterverkehrs-Betreibende: Kosten, Fachkräfte, Integration und Marktreife der AVF-Fahrzeuge, Geschäftsmodell, Digitalisierung bestehender Infrastruktur und Prozesse • Änderungen bestehender Prozesse in der Logistik treffen auf geringe Akzeptanz

	• Logistikmanagement nicht in Zuständigkeit der öffentlichen Verwaltung u. wenig Handlungsdruck • Automatisierter Warenumschlag

Abb. 2.6 SWOT-Analyse für den Güterverkehr in der MRH

Aus der SWOT-Matrix in Abb. 2.6 lassen sich folgende Handlungsoptionen ableiten, die für eine Ausrichtung des IAF Rückschlüsse zulassen.

Handlungsoptionen	Wirkung
Hamburger Hafen als international bedeutenden Umschlagpunkt nutzen, ...	... um die Chance zu maximieren, dass Betreibende von Terminals, GVZ und Verteilern sich auf autonome Fahrzeuge vorbereiten, indem eine aktive Mitgestaltung von Prozessen, Abläufen und Standards erfolgt.
	... um die Chance ein interoperables Gesamtsystem (Fähigkeit unterschiedlicher Systeme, möglichst nahtlos zusammenzuarbeiten) zu schaffen, zu maximieren.
MRH als Zusammenschluss inkl. Netzwerk in Richtung AVF ausbauen, ...	...um Partner in interdisziplinären Kooperationsvorhaben zusammenzubringen.
	...um eine Koordinierungsstelle für Technik, Finanzierung und Integration zu schaffen.
	...um Wirtschaftsförderungsmaßnahmen wie Accelerator-Programme, Ideenwettbewerbe, Förderungen o.ä. zu entwickeln und durchzuführen.
	...um gemeinsame „Projektwerkstatt" zu entwickeln und zu betreiben.
Knowhow (Anforderung und Handlungsbedarfe an Umschlagsterminals und GVZ; autonome Verkehre zwischen Verteillagern auf Autobahnen, Zufahrtsstraßen und Stadtstraßen sowie Privatgelände; Konstruktion, Programmierung und Betrieb von Transportrobotern; Automatisierung von Hafenanlagen in Lübeck und Hamburg; Lkw auf SAE Level 3 auf der Autobahn; Genehmigung, Testfelder, Straße; Schwerpunkt Nutzfahrzeuge) nutzen, ...	...um diese in einem Kompetenz-Cluster zu bündeln und gemeinsam auszubauen.
	...um Interoperabilität sicherzustellen und so auf ein Gesamtsystem einzuzahlen.
	...um Potenzial der Kostenersparnis von AVF-Systemen im Bereich Güterverkehr zu maximieren.

Handlungsoptionen	Wirkung
Projekte der Zukunftsagenda der MRH miteinander verschneiden (räumliches Leitbild, Koordinierungskreis Raumentwicklung, Kompetenzcentrum Mobilität), …	…um eine ganzheitliche Lösung verkehrlicher Probleme durch raumplanerische oder städtebauliche Integration von AVF sowie die Formulierung von Anforderungen der Stadt- und Raumplanung durch eine gemeinsame Definition von ODDs zu ermöglichen.
Den Ausbau der Logistik-Infrastruktur gezielt steuern, …	…um Flottenbetriebe und übergreifende Zusammenarbeit der Stakeholder aus ÖPNV, IV, Güterverkehr auf Straße, Schiene, Wasser und Luft gewinnbringend voranzubringen und zu entwickeln.

Tab. 2.5 Güterverkehr SO-Strategie (Matching-Taktik)

Stärken nutzen, um Chancen zu maximieren; Ziel: Ausbauen

Handlungsoptionen	Wirkung
Systeme auf Terminals und GVZ so weiterentwickeln, dass sie die Anforderung für autonome Fahrzeuge oder Systeme erfüllen, …	…indem Chancen von interdisziplinären Kooperationsvorhaben genutzt werden.
	…indem aktiver Gestaltungswille der Betreiber von Terminals, GVZ und Verteilern genutzt werden.
Die regionalen Zuständigkeiten für Genehmigungen (Länder) über ein Kompetenz-Cluster der MRH so abstimmen, …	…dass ein gemeinsames Vorgehen bzw. Strategie verfolgt wird und beispielsweise auch das Thema der technischen Aufsicht gemeinsam bearbeitet werden kann.
Die Kapazitätsgrenzen des Verkehrsträgers Schiene im urbanen Zentrum (HH) …	…durch ganzheitliche Lösung verkehrlicher Probleme durch städtebauliche Integration, Digitalisierung der Infrastruktur und Automatisierung auf der Schiene voranbringen.
Hohen Transportkosten im Güterverkehr…	…durch Kostenvorteile der AVF-Nutzfahrzeuge, wie wegfallende Kosten für Fahrpersonal, höhere Auslastung der Fahrzeuge, verkehrsträgerübergreifende Optimierung der Transportketten begegnen.

Tab. 2.6 Güterverkehr WO-Strategie (Umwandlungstaktik)

Schwächen minimieren durch Nutzung von Chancen und zu Stärken umwandeln; Ziel: Aufholen

Handlungsoptionen	Wirkung
MRH als Zusammenschluss inkl. Netzwerk nutzen, …	…um das Risiko des nicht regulierten Betriebes von AVF-Fahrzeugen und folglich Mehrverkehr, Kannibalisierung des ÖPNV sowie fehlende/keine Kooperation zu vermeiden.
	…um das bisher nicht gebündelte Knowhow zu sammeln und sichern, um so die Abhängigkeit einzelner Stakeholder zu verringern
	…um den hohen Investitionsbedarf mit hohem wirtschaftlichem Risiko auf Seiten der Fahrzeug- und Infrastrukturbetreibenden zu evaluieren und die damit zusammenhängende Abhängigkeit von Fördergeldern zu verringern und eine gemeinsame Lösung für eine Finanzierung zu entwickeln.
	…um noch nicht gelöste Fragestellungen und Szenarien gemeinsam in F&E-Projekten zu thematisieren.
	…um das Thema Leitstand/technische Aufsicht gemeinsam zu bearbeiten.
	…um für Stakeholder (Unternehmen, Kommunen etc.) eine Unterstützung bzgl. Rechtsrahmen zu bieten und eine „Task-Force“ zu AVF-Themen zu bilden.
	… um Akzeptanz für Änderungen bestehender Prozesse in der Logistik bei der Einführung von AVF zu schaffen.
Knowhow (Genehmigung, Testfelder, Ö(PN)V, IV, Straße, Wasser; Schwerpunkt Nutzfahrzeuge) nutzen, …	… um Anforderungen an AVF-Fahrzeuge zu definieren und so den Absatzmarkt besser einzugrenzen.
	… um gemeinsame und allgemeingültige Schnittstellen zu definieren und so dem Risiko fehlender bzw. unpassender Schnittstellen und folglich erschwerter Interoperabilität vorzubeugen.
Projekte der Zukunftsagenda (Räumliches Leitbild, Koordinierungskreis Raumentwicklung, Kompetenzcentrum Mobilität) der MRH nutzen, …	…um zu verhindern, dass eine unkoordinierte und nicht in städtebaulichen Kontext eingeordnete Entwicklung des Marktes stattfindet.

Handlungsoptionen	Wirkung
	...um dem Fahrzeugmarkt eindeutige Anforderungen an die ODD darzulegen und somit den Technologiefortschritt der Fahrzeuge zu beschleunigen.
	...um auf die regionale und weltweite Entwicklung der Logistikbedarfe zu reagieren.

Tab. 2.7 Güterverkehr ST–Strategie (Neutralisierungstaktik)

Stärken nutzen, um Risiken zu minimieren; Ziel: Absichern

Handlungsoptionen	Wirkung
Kompatibilität der bestehenden Systeme auf Terminals und GVZs mit AVF-Fahrzeugen schaffen, ...	... um das Risiko der geringen Akzeptanz bzgl. Änderungen bestehender Prozesse in der Logistik zu vermeiden.
	... um Risiken rund um einen automatisierten Warenumschlag zu vermeiden.
Kapazitätsengpass für Beschaffung und Finanzierung bei den Betreibenden abbauen,...	... um die langen Beschaffungszyklen und die verzögerte Operationalisierung von Prozessen im Güterverkehr zu vermeiden.

Tab. 2.8 Güterverkehr WT–Strategie (Vermeidungstaktik)

Schwächen abbauen, um Risiken zu vermeiden; Ziel: Vermeiden

Vorteile eines IAF für den Güterverkehr sind neben den zuvor benannten Handlungsoptionen, dass Betreibende und Regulierende bei der Innovation im Güterverkehr personell und ggf. auch finanziell unterstützt werden. So können gemeinsame Synergien geschaffen werden, wodurch Ressourcen gespart und gemeinsame Wege und Prozesse etabliert werden können. Ferner kann ein ganzheitliches Personen- und Güterbeförderungssystem betrachtet werden und verkehrsträgerübergreifende Innovation gefördert werden. Durch eine zentrale Koordination kann die Innovationsfähigkeit aller Akteure angehoben werden.

Sofern kein IAF initiiert würde, müssten die Betreibenden vermehrt eigene Ressourcen aufwenden oder haben ggf. die Ressourcen nicht, um einen individuellen Weg zur Innovation zu gehen. Außerdem haben die Betreibenden der Verkehre und Umschlagsanlagen keine zentralen Ansprechpartner. Dadurch folgt eine Verlangsamung der Innovation im Sinne eines ganzheitlichen Systems.

2.4 Ausblick inter- und multimodale Verkehre in der MRH

Im folgenden Abschnitt werden inter- und multimodale Verkehre[1] gleichermaßen betrachtet. Dabei wird zwischen den beiden Formen nicht differenziert.

2.4.1 Ausgangslage

Eine intermodale Nutzung entsteht nur dann, wenn für einen Teil eines Weges keine den Anforderungen entsprechende umsteigefreie Verbindung genutzt werden kann. Dann entsteht Bedarf für einen Zu- oder Abbringerdienst oder eine Aufteilung relevanter Wegstrecken auf verschiedene Verkehrsmittel. Der Umstieg muss zuverlässig nutzbar sein, unabhängig von den Verkehrsmitteln. Für intermodalen Personenverkehr kann sowohl auf bestehendem Ö(PN)V als auch IV aufgebaut werden.

Das intermodale Angebot im Personenverkehr der Trägerländer der MRH lässt sich schwerlich in Zahlen ausdrücken, da jede Haltestelle im ÖPNV oder jeder Haltepunkt im SPNV oder jede zwischen Bahn, Schiff und Lkw umlade fähige Anlage für Personen- und für Güterverkehre intermodale Potenziale bietet, die auch bereits heute für konventionellen Verkehr genutzt werden.

Im Personenverkehr gibt es heute verschiedene Gegebenheiten, die eine intermodale Reisekette unterstützen. Hierzu zählen beispielsweise Park and Ride- oder Bike- and Ride-Anlagen, Pendelparkplätze, Fahrradabstellanlagen an Knotenpunkten oder Mobilitätsstationen. Vor allem digitale Hilfsmittel erleichtern heute die Intermodalität. So gibt es beispielsweise die hvv switch-App, welche bei der Planung von intermodalen Wegeketten unterstützt, und eine direkte Buchung ermöglicht – unabhängig, ob das Verkehrsmittel Bus, Bahn, Carsharing, E-Scooter oder On-Demand-Ridepooling ist.

2.4.2 Potenziale des AVF im inter- und multimodalen Verkehr in der MRH

Nachdem in der Einleitung im Abschnitt 2 die allgemeinen Potenziale des AVF für die Verkehrswirtschaft skizziert wurden, werden folgend kurz diejenigen für den inter- und multimodalen Verkehr aufgezeigt.

Wie oben bereits beschrieben, liegen sowohl für Personen- als auch Güterverkehr die Strukturen und Angebote in der MRH nicht flächendeckend vor. Die Gründe sind vielseitig, doch der Hauptgrund für die zuvor aufgezeigten Unterschiede zwischen Stadt und Land ist die Wirtschaftlichkeit dieser Verkehre. Das größte und nennenswerteste Potenzial liegt darin, diese Angebote zu verbinden.

Die Potenziale des Personen- und Güterverkehrs wurden bereits oben benannt und sind somit auch auf inter- und multimodale Verkehre übertragbar. Durch die Verknüpfung von verschiedenen Verkehrsmitteln im multi- und intermodalen Verkehr werden auch die Potenziale, Chancen und Risiken dieser kombiniert und führen mit Blick auf den gesamtheitlichen Mobilitätsgedanken zu einem verbesserten Zugang zur Mobilität. Beispielsweise wird der MIV bei der Nutzung von Park and Ride oder das Fahrrad bei der Nutzung von Bike and Ride die Feinerschließung eingesetzt. Für die Personenbeförderung auf den nachfragestarken Teilen der Wegekette kommen die öffentlichen Verkehrsmittel mit größeren Beförderungskapazitäten wie Bus oder Bahn zum Einsatz. Im Güterverkehr ist es ähnlich – die Güterbeförderung auf den nachfragestarken Achsen mit langen Distanzen

[1] *Definition hier: https://www.zukunft-mobilitaet.net/144710/analyse/intermodalitaet-multimodalitaet-intermodaler-verkehr-multimodal-kombiniert/*

sollten zu Lande über Güterzüge abgewickelt werden. Auf dem Seeweg werden lange Distanzen mit Containerschiffen abgewickelt. Zum Transport von Gütern mit der Eisenbahn oder dem Containerschiff erfolgt eine Zubringung und ein Umschlag der Güter bzw. derer Transporteinheiten wie Container. Die Feinverteilung erfolgt mit Lkw über die Straße, der aufgrund der oben benannten Herausforderungen (wie Fachkräftemangel etc.) häufig aufwändig zu organisieren und mit höheren Kosten pro Ladung verbunden ist. Automatisierte Verkehre können besonders in der Feinerschließung und somit Schaffung von intermodalen Wegeketten einen wichtigen Baustein zu einer nachhaltigen Verkehrswende darstellen.

Allgemein kann gesagt werden, dass im Personenverkehr die Zubringerwege im Verhältnis zur Gesamtdistanz mehr Zeit in Anspruch nehmen. Eine Attraktivitätssteigerung der Zubringerverkehre durch z. B. geringere Reisezeit kann zu einer bedeutenden Qualitätssteigerung im Umweltverbund und einem vereinfachten Zugang zu Mobilität führen. Automatisiertes und vernetztes Fahren kann aufgrund der erhofften Kosteneinsparung die Zubringerverkehre durch ein verbessertes und flexibleres Angebot attraktiver gestalten. Vor allem attraktive und verlässliche Umstiege sind dabei essenziell. Dafür wird vor allem der Vernetzung eine gesteigerte Rolle beigemessen. Die Verbesserung der intermodalen Wegeketten trägt bei Nutzung von Verkehrsmitteln des Umweltverbundes zu einer klimagerechteren Mobilität bei. Die Steigerung der Attraktivität intermodaler Reiseketten bietet das Potenzial, mehr Umsteiger vom MIV auf den Umweltverbund zu erhalten und so das Mobilitätsverhalten zu ändern.[1] Apps wie „switch" bieten die Möglichkeit, die kommerziellen Angebote zu vernetzen und intermodale Wegeketten zu planen und zu buchen. Die steigende Anzahl an Angeboten vernetzter Mobilität, Echtzeitinformationen, Automatisierung und weiterer digitaler Angebote erleichtert grundsätzlich die Etablierung und Veranschaulichung intermodaler Wegeketten, erschwert aber aufgrund potenzieller Unübersichtlichkeit dennoch den Zugang. Somit kommen vor allem bei Zubringerverkehren durch automatisierte Fahrzeuge den digitalen Hilfsmitteln und der Vernetzung eine gesteigerte Wichtigkeit bei.

Die nationale Plattform Zukunft der Mobilität[2] zählt zu den grundlegenden Eigenschaften zukunftsfähiger Mobilitätssysteme: Verfügbarkeit, Erreichbarkeit, Verlässlichkeit, Flexibilität und Komfort. Dabei bedeutet die Verfügbarkeit, dass jegliches Reiseziel durch intermodale Angebote erreichbar ist und der Startpunkt in der Nähe der Nutzenden liegt. Weiterhin sagen die Expertinnen und Experten der Nationalen Plattform Zukunft Mobilität, dass Eigenschaften wie Geschwindigkeit, Komfort und Verfügbarkeit, aber vor allem Digitalität, Vernetzung und Intermodalität entscheidende Faktoren zukunftsfähiger Mobilitätssysteme sind. Die oben aufgezeigten Potenziale durch automatisierte und vernetzte Angebote den Zugang zu Mobilität sowohl zu Tagesrandzeiten als auch in suburbanen und ländlichen Räumen zu verbessern, bietet ein großes Potenzial digitale und intermodale Wegeketten für viele Menschen zu ermöglichen.[3] Multi- und intermodale Mobilität er-

---

[1] Berger, M. (2019): Das Potential der intermodalen Wegekette Rad und Bahn im Pendlerverkehr am Beispiel des Wiener Südraums.

[2] Die Nationale Plattform Zukunft der Mobilität (NPM) basiert auf dem Koalitionsvertrag von CDU, CSU und SPD für die 19. Die NPM bindet zu Themen rund um die Mobilität der Zukunft relevante Stakeholder, sowie Fachexpertise und Politik ein. Aufbauend auf den Diskussionsergebnissen in der NPM werden Handlungsempfehlungen an Politik, Wirtschaft und Gesellschaft ausgesprochen. In insgesamt sechs Arbeitsgruppen setzen sich Expertinnen und Experten verschiedener Fachbereiche mit den zentralen Entwicklungen im Verkehrsbereich auseinander.

[3] Willand, M., Priemer, B., Schaupensteiner, N. Krug, N., Lorenz, N. Müller, M. Axtmann, N., Markoc, S. (2021): MOBILITY.OS. Wer baut das Betriebssystem der Mobilität? (Abgerufen am 25.05.2022).

möglichen eine vielfältige, attraktive und umwelt- sowie klimafreundliche Mobilitätslösung und eine bessere Versorgung. Die Umstiegshürden werden durch Vernetzung und Digitalisierung abgebaut.[1]

Bewertend kann gesagt werden, dass die Integration automatisierter Fahrzeuge sowohl im Personen- als auch Güterverkehr in multi- und intermodale Wegeketten inkl. manueller Fahrzeuge eine hohe Komplexitätsstufe darstellt. Die Umsetzung ist zwar essenziell, wird sicherlich jedoch mehrere Jahre in Anspruch nehmen. Grundlage sind funktionierende Einzelsysteme und passende Schnittstellen sowie klare Rollen der Betreibenden. Eine aktive Steuerung dieser intermodalen Ketten kann im ÖPNV nur durch die öffentliche Hand erfolgen und im Güterverkehr durch die Industrie oder industriepolitische Anreize.

2.4.3 SWOT-Analyse und Handlungsoptionen

Um konkrete Handlungsoptionen für die MRH abzuleiten, stellt die Abb. 2.7 die SWOT-Matrix für den inter- und multimodalen Verkehr in der MRH dar. Diese beinhaltet die wichtigsten Stärken und Schwächen der MRH in Hinblick auf die Einführung von AVF sowie die größten Potenziale bzw. Chancen und Risiken des Marktes rund um AVF.

Stärken der MRH	Schwächen der MRH
• Vielfältiges, aber oft räumlich begrenztes Personenmobilitätsangebot vorhanden → große Ausbaupotenziale • Knowhow zu einzelnen Angeboten vorhanden (Planung, Konzeption, Genehmigung, Recht) • Knowhow zu intermodalen Reiseketten in Hamburg vorhanden (hvv switch) • Knowhow zu geteilter Personen- und Gütermobilität vorhanden (Starship, TaBuLa-LOG) • Knowhow zu Mobilitätsstationen vorhanden (Piloten wie ÖVer.KAnT oder in der Kielregion) • Knowhow im Bereich intermodaler oder kombinierter Güterverkehr vor allem durch Häfen in der MRH vorhanden	• Verknüpfung bestehender Angebote fehlt weitestgehend (aufzeigen Wegeketten) • Verkehrsraumübergreifendes Ticketing ist im ÖPNV nicht vorhanden (über HVV-Raum hinausgehend) • Häufig muss jede Teilstrecke aufwendig organisiert werden (suchen/buchen/an-/abmelden, bezahlen, …), die Nutzung nur eines (eigenen) Verkehrsmittels ist deutlich weniger aufwendig • Interdisziplinäre Verknüpfung von Angeboten MRH-weit noch nicht vorhanden • Software für intermodale Ketten der ganzen MRH nicht vorhanden
Chancen und Potenziale des Marktes	**Risiken und Herausforderungen des Marktes**
• Automatisierte Shuttles zur Feinerschließung im Personenverkehr • Automatisierte Feinerschließung in der Güterbeförderung • Digitale Anwendungen leisten Hilfe-	• Große Menge an Schnittstellen für Einführung von AVF in intermodale Ketten erforderlich und so große Abhängigkeit von vielen verschiedenen Systemlieferanten

[1] *Nationale Plattform Zukunft der Mobilität (2021). Daten und Vernetzung – Standards und Normen für intermodale Mobilität. (Abgerufen am 25.05.2022).*

stellung zur Nutzung multi- und intermodaler Ketten • Attraktivierung Umstiegspunkte durch gesteigerte Aufenthaltsqualität und Verknüpfung mit Orten alltäglichen Bedarf • ÖPNV bietet freie Kapazitäten zum Gütertransport • Offenheit der ÖV-Branche gegenüber Kombination mit Kleingütertransport • Vernetzung bietet Potenzial für multi- und intermodale Ketten/Intermodale Ketten durch Vernetzung schaffen • Multi- und intermodale Verkehre ermöglichen Bündelungseffekte	• Keine Standards und Normen für Schnittstellen zwischen AVF, aber auch konventionelle Verkehre vorhanden • Viele beteiligte Akteure verfügen nicht über das Knowhow und die Ressourcen, um multi- und intermodale Angebote inkl. AVF zu schaffen • Prozesse und Motivation für intermodale Ketten sind zwischen Logistik und Personenverkehr unterschiedlich; Logistik: Standardisierung und Skalierung standarisierter Prozesse; Personenverkehr: Schaffung neuer und flexibler Angebote

Abb. 2.7 SWOT-Analyse für den inter- und multimodalen Verkehr in der MRH

Aus der SWOT-Matrix in Abb. 2.7 lassen sich folgende Handlungsoptionen ableiten, die für eine Ausrichtung des IAF Rückschlüsse zulassen.

Handlungsoptionen	Wirkung
Vielfältiges, aber oft räumlich begrenztes Personenmobilitätsangebot ergänzen und vernetzen, …	… indem automatisierte Shuttles zur Feinerschließung im Personenverkehr genutzt werden.
	… indem Hilfestellung durch digitale Anwendungen zur Nutzung multi- und intermodaler Ketten angeboten wird.
	… indem eine Attraktivierung der Umstiegspunkte durch eine gesteigerte Aufenthaltsqualität und Verknüpfung mit Orten alltäglichen Bedarfs erfolgt.
	… indem Kosteneinsparungen genutzt werden, um das Angebot im ländlichen Raum zu verbessern.
Knowhow zu intermodalen Reiseketten in Hamburg (hvv switch) nutzen, …	… um weitere Verkehrsmittel in der MRH durch AVF zu vernetzen.
	… um Bündelungseffekte in der gesamten MRH durch AVF zu erzielen.

Handlungsoptionen	Wirkung
Knowhow zu geteilter Personen- und Gütermobilität (Starship, TaBuLa-LOG) teilen, …	… um automatisierte Shuttles zur Feinerschließung im geteilten Personen- und Güterverkehr zu nutzen.
	… um Offenheit der Branche ÖV gegenüber Kombination mit Gütertransport hin zu mehr Anwendungen zu lenken.
Knowhow im Bereich intermodaler oder kombinierter Güterverkehr vor allem durch Häfen in der MRH nutzen, …	…um die automatisierte Feinerschließung in der Güterbeförderung zu ermöglichen.

Tab. 2.9 Inter- und multimodale Verkehre SO-Strategie (Matching-Taktik)

Stärken nutzen, um Chancen zu maximieren; Ziel: Ausbauen

Handlungsoptionen	Wirkung
Fehlende Verknüpfungen bestehender Angebote (aufzeigen Wegeketten) schaffen, …	… indem automatisierte Shuttles zur Feinerschließung im Personenverkehr genutzt werden.
	… indem eine automatisierte Feinerschließung in der Güterbeförderung genutzt wird.

Tab. 2.10 Inter- und multimodale Verkehre WO-Strategie (Umwandlungstaktik)

Schwächen minimieren durch Nutzung von Chancen und zu Stärken umwandeln; Ziel: Aufholen

Handlungsoptionen	Wirkung
Knowhow zu einzelnen Angeboten in der MRH v (Planung, Konzeption, Genehmigung, Recht) nutzen, …	…um das fehlende Knowhow der beteiligten Akteure und die Ressourcen, um multi- und intermodale Angebote zu schaffen/auszugleichen.
Vorhandenes Knowhow zu intermodalen Reiseketten in Hamburg (hvv switch) und Knowhow zu AVF nutzen und kombinieren, …	… um die große Menge an Schnittstellen zu identifizieren und gemischte (AVF und manuell) inter- und multimodale Reiseketten zu planen.
	…um das fehlende Knowhow der beteiligten Akteure und die Ressourcen, um multi- und intermodale Angebote zu schaffen, auszugleichen.

Tab. 2.11 Inter- und multimodale Verkehre ST-Strategie (Neutralisierungstaktik)

Stärken nutzen, um Risiken zu minimieren; Ziel: Absichern

Handlungsoptionen	Wirkung
Interdisziplinäre Verknüpfung von MRH-weiten Angeboten schaffen, …	… um das Risiko fehlender Schnittstellenstandards zwischen konventionellen Angeboten und AVF-Angeboten zu vermeiden.

Tab. 2.12 Inter- und multimodale Verkehre WT–Strategie (Vermeidungstaktik)

Schwächen abbauen, um Risiken zu vermeiden; Ziel: Vermeiden

Vorteile eines IAF für den Intermodalen Verkehr wären somit nicht nur die Adressierung der zuvor benannten Handlungsoptionen, sondern vor allem die Möglichkeit ein gesamtheitliches Mobilitätssystem für Personen und Güter im Blick zu halten, egal ob aktiv steuernd oder passiv unterstützend. Nachteilig wäre somit ein Ausbleiben.

2.5 Anwendungsfälle für ein länderübergreifendes Reallabor in der MRH

Nachdem in Abschnitt 2.2, 2.3 und 2.4 die Potenziale, Chancen und Risiken für AVF in der Metropolregion Hamburg aufgezeigt wurden, erfolgt im Folgenden die Beschreibung von potenziellen länderübergreifenden Anwendungsfällen in der MRH. Als Maßstab für die Formulierung von Anwendungsfällen wurden die bisher beschriebene Ausgangslage der MRH (siehe Abschnitte 1.1.3.1, 1.1.3.3 und 1.2), die aus empirischen Untersuchungen identifizierten strategischen Bedarfe für die MRH sowie die SWOT-Analysen und die daraus abgeleiteten Handlungsoptionen (siehe Abschnitte 2.2.3, 2.3.3 und 2.4.3) herangezogen. Der Fokus wird in den folgenden Betrachtungen insbesondere auf den gewerblichen Personen- und Güterverkehr gelegt und mit dem übergeordneten Ziel versehen, wegen zu erwartender großer Hebeleffekte für das Mobilitätssystem in der MRH hier Kompetenz auf- bzw. auszubauen. Für den MIV stehen in den Trägerländern bereits umfassend ausgestattete Testfelder (AIM, Testfeld Niedersachen, TAVF etc.) zur Verfügung. Für den Bereich MIV sollte deswegen auch in Zukunft darauf geachtet werden, dass die Rahmenbedingungen und die Ausstattung der Testfelder (z. B. mit den neuesten V2X- und Mobilfunktechnologien) ausreichend Raum für technologischen Fortschritt bieten, denn die automobilen OEM sind durch Ihre Innovationsinvestitionen in vielen Bereichen ursächlich für die Weiterentwicklung des AVF. Diese Weiterentwicklungen sind sowohl für den MIV als auch für den gewerblichen Personen- und Güterverkehr von entscheidender Bedeutung, da Technologiesprünge in den Fahrzeugen nutzungsunabhängig umgesetzt werden können. Fortschritte im Bereich des MIV haben deshalb eine direkte Auswirkung auf alle Formen des AVF. Diese Fortschritte können das optimale Sensorsetup für bestimmte Anwendungsfälle, standardisierte Prozesse und Tools sowie Aufbau von technologischen Ökosystemen zur Entwicklung von AVF-Fahrzeugen sein. Wenn die MRH es schafft, die Testfelder mittel- bis langfristig auf dem neuesten Stand zu halten, könnten innovative OEMs und Startups in die Region gelockt werden, was zu 1) einem technologischen Vorsprung durch die Tatsache, dass die MRH im Zentrum der Erprobung von innovativen Technologien und Fahrfunktionen steht und somit Knowhow aufgebaut wird, führt 2) einem Ökosystem aus Technologieanbietenden, Fahrzeugherstellenden und Anwenden-

den führt, 3) einer steigenden Reputation der MRH im Bereich des autonomen Fahrens und daraus resultierenden positiven Effekten für das IAF führen wird.

Länderübergreifende Anwendungsfälle im Bereich ÖPNV

Die folgenden Szenarien zeigen auf, wie aus bisherigen Insellösungen für urbanen, suburbanen und ländlichen Raum ganzheitlichen Lösungen und Mobilitätsketten (IV und ÖV) entwickelt werden können.

Im Bereich des ÖPNV wurden folgende strategische Bedarfe aus den bisherigen empirischen Ergebnissen in Abschnitt 1 betrachtet und anhand der SWOT-Analysen priorisiert. Maßgebend für die Priorisierung waren insbesondere die in der SO-Strategie (Matching-Taktik), der WO-Strategie (Umwandlungstaktik) und der ST–Strategie (Neutralisierungstaktik) genannten Handlungsoptionen. Diese können kurz- bis mittelfristig realisiert werden und zur weiteren Integration des AVF beitragen.

- **Kompetenzaufbau:** Die Erfahrungen mit autonomen Systemen sind noch nicht flächendeckend in der MRH vorhanden. Durch die bisher umgesetzten Projekte konnte lokal Erfahrung in Hamburg, Niedersachsen und Schleswig-Holstein generiert werden. Dieser Kompetenzaufbau ist aber in Mecklenburg-Vorpommern noch nicht vorhanden und in den Trägerländern auf wenige Beteiligte begrenzt. Vor diesem Hintergrund sollte insbesondere in den Flächenländern eine Strategie zur Verbreiterung der Erfahrungs- und Kompetenzbasis interessierter ÖPNV-Unternehmen und Kommunen angestrebt werden.

- **Kompetenzausbau:** Ein wesentlicher Schritt für den Kompetenzausbau wäre es die neuen geltenden regulatorischen Rahmenbedingungen, gemäß novelliertem StVG (2021) und der damit verbundenen AFGBV in weiterführenden Aktivitäten technologisch im Realbetrieb umzusetzen.

- **Ökonomischer Nutzen:** Die Steigerung der Wirtschaftlichkeit des ÖPNV durch AVF kann dazu eingesetzt werden, das Angebot zu verbessern. Dazu sollte der ÖPNV-Betrieb ohne Fahrzeugführende- bzw. Aufsichtsperson im Fahrzeug mit Leitstandintegration für Level-4-Verkehre Berücksichtigung finden. Eine Strategie zur Untersuchung wirtschaftlicher Hebepotenziale sollte sowohl im urbanen als auch im suburbanen und ländlichen Raum angestrebt werden.

- **Kooperation und Interoperabilität:** Interoperabilität ist ein wichtiger Baustein, um das Mobilitätssystem in der MRH insgesamt zu verbessern. Eine Standardisierung der Schnittstellen, Bezahlprozesse, technischen Ausrüstung (Leitstand-, Fahrzeugkommunikation) zwischen den Trägerländern sollte angestrebt werden. Eine gezielte Begleitung von AVF-Projekten durch das IAF zur Steigerung der Interoperabilität und Kooperation der Mobilitätssysteme in den Trägerländern der MRH erleichtert die Einführung automatisierter Fahrzeuge als Teil eines leistungsfähigen Verkehrssystems. Auf diese Weise können potenzielle Nutzer und Technologieanbieter die Vorteile der entstehenden Ökosysteme nutzen, ohne mit großen zusätzlichen Investitionen und Herausforderungen konfrontiert zu werden. Dies erhöht tendenziell die Akzeptanz und Integrationsfähigkeit von Innovationen. Darüber hinaus dient die Standardisierung von Schnittstellen, Bezahlverfahren und technischer Ausstattung der Steigerung der Gesamteffizienz.

Die erarbeiteten länderübergreifenden Anwendungsfälle im Personenverkehr konzentrieren sich deshalb auf die folgenden drei Fälle, die in der Tab. 2.13 zusammengefasst sind. Diese sollen die identifizierten Bedarfe und Potenziale in der MRH adressieren.

	Vision	Potenziale	Strategische Bedarfe
Leitstand für Level-4-Fahrzeuge mit intermodalem ÖPNV Großversuch >10 Fahrzeuge	• Interoperablen Leitstand zwischen mehreren ÖV-Betreibern in der MRH sowie einen skalierbaren Anwendungsfall anstoßen • Rolle: IAF fungiert als Wegbereiter und Koordinator	• Weitere Skalierung basierend auf bestehenden Erfahrungen und nächste Schritte gemäß neuem regulatorischem Rahmen • Potenzialanalyse bestehender Zubringer- und Umsteigebeziehungen durch/für AVF-Fahrzeuge (Blaupause für die MRH)	• Integration des AVF in den ÖPNV (Umsteigebeziehungen, Anforderungen an Verkehrsinfrastruktur und Betriebsprozesse) • Länderübergreifend übertragbaren Anwendungsfall mit Schnittstellendefinition für Leitstand-Kommunikation zwischen verschiedenen Fahrzeugherstellenden/-entwickelnden
Sharing von AVF-Fahrzeugen im ÖPNV	Einsatz in interessierten Kommunen der MRH: • Ein oder mehrere Fahrzeuge, die zentral beschafft und über Leasing an die Betreiber weitergegeben werden • Rolle: IAF fungiert als Beschaffer und Leasinggeber	Senkung der Barrieren bei der Inbetriebnahme durch: • Gebündeltes Knowhow und schnellere Prozesse zur Inbetriebnahme • Attraktives Betriebsmodell und Kostenvorteile für die Erprobung neuer Technologien	• Kompetenzaufbau in Mecklenburg-Vorpommern • Kompetenzausbau in SH, NI, HH • Steigerung der Technologie- und Nutzendenakzeptanz • Sensibilisierung für Technologiepotenziale
Intermodale autonome ÖPNV-Wegekette	• Straße-Schiene-Wasser-Letzte-Meile, Verbindung zwischen ländlichem und suburbanem Raum und urbanen Oberzentren/Kern der MRH • Rolle: IAF fungiert als Initiator und Wegbereiter	• Intermodaler Kompetenzaufbau an Schnittstellen Schiene, Wasser, Straße • Automatisierung von Schienenverkehren und Fährverbindungen	• Formulieren von Anforderungen und Rollen des Leitstandes bei intermodalen Wegeketten • Harmonisierung von Schnittstellen • Ziehen von Schlussfolgerungen zur Interoperabilität und gesellschaftlichem sowie ökonomischem Nutzen

Tab. 2.13 **Übersicht der Anwendungsfälle im Bereich ÖPNV**

Länderübergreifende Anwendungsfälle im Bereich Güterverkehr

Im Bereich des Güterverkehrs wurden folgende strategische Bedarfe aus bisherigen empirischen Ergebnissen in Abschnitt 1 betrachtet und anhand der SWOT-Analysen priorisiert. Die Priorisierung erfolgte anhand der in der SO-Strategie (Matching-Taktik), der WO-Strategie (Umwandlungstaktik) und der ST–Strategie (Neutralisierungstaktik) genannten Handlungsoptionen. Diese können mittel- bis langfristig realisiert werden und zur weiteren Integration des AVF im Güterverkehr beitragen.

- **Kompetenzaufbau:** Die Metropolregion Hamburg und ihre Trägerländer sind mit ihren Häfen und Logistik-Hubs ein wesentlicher Knotenpunkt für den Güterverkehr in Deutschland. Erfahrungen mit automatisierten Systemen im Güterverkehr sind aber bisher wenig vorhanden. Vor diesem Hintergrund sollte durch die Trägerländer eine Strategie zur Automatisierung im Güterverkehr und deren Schnittstellen zur Kapazitätssteigerung verfolgt werden.
- **Ökonomischer Nutzen:** Eine Strategie zur Untersuchung gesellschaftlicher und ökonomischer Hebepotenziale durch automatisierten Güterumschlag, eine Verlagerung von straßengebundenem Güterverkehr auf die Schiene und eine Reduktion des Verkehrsaufkommens durch AVF (Effizienzsteigerung) sollte angestrebt werden. Die Kapazitätssteigerung des schienengebundenen Güterverkehrs kann zusammen mit automatisiertem Güterumschlag in Logistikzentren und Häfen zu einer Reduzierung des Straßenverkehrsaufkommens und erhöhter Wettbewerbsfähigkeit in der MRH führen.
- **Interoperabilität:** Interoperabilität zwischen straßengebundenem und schienengebundenem AVF-Güterverkehr ist ein wichtiger Baustein, um den Modal-Split im Güterverkehr in der MRH insgesamt zugunsten der Schiene erhöhen zu können. Dazu sind ein aufeinander angepasster Technologiefortschritt, die Operationalisierung von automatisierten Umschlagsprozessen, die Entwicklung von Anforderungen zur Integration von AVF-Fahrzeugen in Betriebsprozesse von Logistikzentren und Häfen und der Infrastrukturausbau insbesondere bei der Eisenbahn erforderlich.
- **Infrastrukturaufbau:** Ein Ausbau von Zugbeeinflussungssystemen auf ETCS[1] wird als Grundbaustein für den Betrieb von Automatic Train Operations (ATO) verstanden. Ein nationaler Umsetzungsplan dazu wurde zuletzt 2017 veröffentlicht und sah keine Streckenabschnitte in der MRH vor.[2] In der MRH ist bisher ein 23 Kilometer langer Streckenabschnitt der S-Bahn Hamburg im Rahmen des ITS-Weltkongresses entsprechend umgerüstet worden und soll in den nächsten Jahren auf das gesamte S-Bahn-Streckennetz erweitert werden. Für den straßengebundenen Verkehr spielt die Infrastruktur eine insgesamt geringere Rolle (siehe dazu Abschnitt 1.2.2).

Die erarbeiteten Anwendungsfälle im Güterverkehr konzentrieren sich deshalb auf die folgenden drei Fälle, die in der Tab. 2.14 zusammengefasst dargestellt sind. Diese sollen die identifizierten Bedarfe und Potenziale in der MRH adressieren.

[1] *ETCS steht für European Train Control System (deutsch Europäisches Zugbeeinflussungssystem) ist ein Zugbeeinflussungssystem und im Aufbau befindlicher grundlegender Bestandteil des zukünftigen einheitlichen europäischen Eisenbahnverkehrsleitsystems*
[2] *Nationaler Umsetzungsplan ETCS (Abgerufen am 03.06.2022)*

	Vision	Potenziale	Strategische Bedarfe
Länderüber-greifender straßenge-bundener, logistischer Hub-2-Hub Verkehr (Großgüter)	• Realisierung eines AVF-Verkehrs (Level 4) zwischen zwei autobahnnahen Logistik-Hubs oder Verteilzentren (< 300 km) • Operationalisierung von automatisierten Umschlagsprozessen in Logistik-Hubs • Rolle: IAF fungiert als Initiator	• Operationalisierung AVF-Güterverkehr in Deutschland und Automatisierung von Güterumschlagsprozessen • Verschiebung der Verkehre auf Tagesrandzeiten und Verkehrsentlastung zu Hauptverkehrszeiten	• Anforderungen zur Integration von AVF-Fahrzeugen in Betriebsprozesse von Logistik-Verteilzentren • Definieren von ODD-Anforderungen an AVF-Nutzfahrzeuge • Kompetenzaufbau in den Trägerländern
Länderüber-greifender schienenge-bundener logistischer Hub-2-Hub Verkehr (Großgüter)	• Realisierung eines ATO (Level 4) zwischen Binnen-, Seehäfen und Logistik Hubs • Operationalisierung von automatisierten Umschlagsprozessen in Häfen oder GVZs • Rolle: IAF fungiert als Initiator	• Kapazitätssteigerung des Gütertransports auf der Schiene in der MRH durch Automatic Train Operations • Automatisierung von Güterumschlagsprozessen in der MRH	• Infrastrukturausbau auf ETCS-Standard • Weiterentwicklung regulatorischer Rahmenbedingungen für ATO[1] • Definieren von ODD zur Integration von ATO
Last Mile Delivery KEP-Dienste (Kleingut-Logistik)	• Realisierung von anbieterübergreifend integrierten AVF-KEP-Diensten in urbanen Mittel-, Oberzentren oder ländlichem Raum • Rolle: IAF als Wegbereiter	• Serviceverbesserung (Time-Slot-Lieferung) durch optimierte Prozesse der KEP-Dienste • Reduzierung des Halteflächenbedarfs und der Beeinträchtigung des Verkehrsflusses durch Zustellfahrzeuge	• Analyse des gesellschaftlichen und ökonomischen Nutzens von KEP Zustell-Robotern • Formulierung von ODD-Anforderungen an AVF-Zustellroboter

Tab. 2.14 **Übersicht der Anwendungsfälle im Bereich des Güterverkehrs**

[1] *ATO steht für Automatic Train Operations*

2.6 Formulierung und Priorisierung von Handlungsempfehlungen für die MRH

In diesem Abschnitt werden die zuvor aufgezeigten Ergebnisse kurz zusammengefasst und Handlungsempfehlungen dazu ausgesprochen, welche der zuvor dargelegten Potenziale erschlossen werden sollten. Die Empfehlungen adressieren neben den klimapolitischen Zielen auch die „Strategie automatisiertes und vernetztes Fahren" der Bundesregierung und unterstützen damit vorrangig die Gestaltung einer MRH-weiten Strategiefindung zur Einführung von AVF im Regelbetrieb, die aktuell noch nicht vorhanden ist (siehe Abschnitt 1.3).

Die Einführung des AVF in der MRH beinhaltet Potenzial für eine verbesserte Mobilität, eine gestärkte Wirtschaft sowie insgesamt für die Verbesserung der Lebensqualität in der MRH. So könnte der lt. OECD-Bericht nicht ausgeschöpften Wirtschaftsleistung der MRH (siehe Abschnitt 1) begegnet werden und die Zielerreichung der Zukunftsagenda unterstützt werden. Besonders der „Think Big"-Gedanke kann durch einen verbesserten Zugang zur Mobilität, eine verbesserte Erreichbarkeit alltäglicher POI und eine verbesserte Lebensqualität in der gesamten MRH verfolgt werden und so können auch die dispersen Raumstrukturen über die Ländergrenzen hinweg abgebaut werden.

Für die Region würde ein IAF vor allem den Vorteil einer Kräftebündelung bringen, statt einer Reihe von parallelen und ggf. nicht abgestimmten Aktivitäten, die mit Reibungsverlusten, hohem Ressourcenaufwand und höherem Finanzaufwand verbunden wären. Allerdings ist darauf zu achten, dass diese Prozesse in der MRH und den zugehörigen Trägerländern nicht zu großen und komplexen Abstimmungsprozessen führen, die die Bündelungsvorteile wieder zunichtemachen.

Die folgenden Handlungsempfehlungen werden nach priorisierter Reihenfolge dargelegt. Die Handlungs- und Anwendungsfelder zur Implementierung und Integration von automatisierten und vernetzten Verkehren in das bestehende Verkehrssystem sind sowohl inhaltlich als auch zeitlich dispers. Daher werden Zeithorizonte und Aufgabenbereiche angegeben. Dabei besteht ein Fokus auf projektunabhängigen Handlungsfeldern, die durch die öffentliche Hand und ein mögliches IAF bearbeitet werden können.

Handlungsempfehlungen zur Einführung von AVF in der MRH

1. **Entwicklung eines Leitbildes und einer darauf ausgerichteten Strategie** für eine abgestimmte Entwicklung des Verkehrs in der MRH

   Innerhalb der MRH bedarf es der Formulierung eines Leitbildes zur Verkehrsentwicklung unter Einbeziehung der Chancen und Risiken des automatisierten Fahrens. Damit würde ein Zielzustand beschrieben, der mittels geeigneter Strategie erreicht werden soll. Leitbild und darauf aufbauende Strategie sollte alle Verkehrsträger einbeziehen, insbesondere aber die Verschneidung und Ergänzung des bestehenden Angebotes mit automatisierten Angeboten und hierfür erforderlicher verkehrsträger- und auch anbieterübergreifender Ansätze. Das wesentliche Element muss im Bündeln von Verkehren liegen, dies gilt für konventionell manu-

elle und insbesondere aber auch für automatisierte Verkehre. Die Entwicklung des Leitbildes sollte dabei ein aktives Handeln vor ein reaktives Handeln stellen.
Rollen: Der Zusammenschluss der Trägerländer der MRH dient als zentrale Einheit, denn dies bietet die Möglichkeit zum Schaffen von Synergien, zum Bündeln von Kompetenzen und zur Formulierung einer, durch themenzentrierte Arbeitsgruppen erarbeiteten, Gesamtstrategie. Dem Netzwerk der MRH aus Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und weiteren wichtigen Stakeholdern ist dabei ein besonderer Stellenwert beizumessen. Die Einbindung der Herstellenden, Betreibenden, Anwendenden und Nutzenden ist unerlässlich bei der Entwicklung eines allgemein akzeptierten Leitbildes. Nur so kann automatisiertes und vernetztes Fahren in das Verkehrssystem in der MRH integriert werden und zur Verbesserung der Lebensqualität beitragen. Zentrale Stakeholder stellen die ÖPNV-Aufgabenträger, Verkehrsverbünde und Betreibenden verschiedener Angebote und Infrastrukturen dar.
Zeithorizont: der hier beschriebene Prozess dürfte viel Zeit beanspruchen, daher wäre er kurzfristig anzustoßen, um die Ausgangsbasis für die weiteren nachfolgend beschriebenen Aufgaben zu bilden. Konzeptionelle Überlegungen dazu werden in Abschnitt 3 diskutiert.

2. **IAF als Netzwerk** für alle Stakeholder rund um AVF-Systeme, um Interoperabilität sicherzustellen

   In einem Netzwerk, in Arbeitskreisen und auf Testfeldern sollten jegliche Stakeholder der MRH direkt in den Lern- und Veränderungsprozess eingebunden werden, um den angestrebten Regelbetrieb des AVF im Personen- und Güterverkehr zu realisieren. Um die Entwicklung von einem zukunftsträchtigem Verkehrssystem zu unterstützen, sollte ein Netzwerk geschaffen werden, das über die isolierte Demonstration von Technologien auf Testfeldern hinaus geht und das bestehende Knowhow so bündelt, dass Anforderungen an AVF-Fahrzeuge definiert werden können und den Absatzmarkt für die Herstellenden besser abzugrenzen. Um eine ganzheitliche Betrachtung des Verkehrssystems und die Einführung von AVF zu ermöglichen, sollten die Anforderungen aller Akteure entlang der Prozesse im Personen- und Güterverkehr identifiziert und integriert werden. Das bisher ungebündelte Knowhow einzelner Akteure kann so zusammengeführt und Synergiepotenziale genutzt werden. Zwar findet zwischen diesen Gruppen teilweise Austausch im Rahmen von Projekten statt, es wird aber ein darüber hinaus gehender Weitblick benötigt, um längerfristige Ziele zu verfolgen. Zudem sollte sichergestellt werden, dass die Projekte der Zukunftsagenda der MRH inhaltlich und kommunikativ miteinander verschnitten werden. Eine ganzheitliche Lösung verkehrlicher Probleme durch eine städtebauliche Integration von AVF sowie die Formulierung von Anforderungen durch die Stadt- und Raumplanung ergänzt dies durch eine gemeinsame Definition von ODD. Hilfestellung bzgl. des Rechtsrahmens und der Einführung von AVF-Systemen sollten ein Baustein für das IAF sein.
   Rollen: Ein IAF nimmt in der MRH die Rolle eines Netzwerkkoordinators für alle Stakeholder rund um das automatisierte und vernetzte Fahren ein. Dabei bildet es

die Schnittstelle zwischen den einzelnen Stakeholdern und themenzentrierten Gruppen, schafft verkehrsträgerübergreifende Transparenz (Stand der Technik, Regulatorik, Knowhow) und dient als Kompetenz-Cluster. Weiterhin übernimmt es die Rolle der Ermittlung von Schnittstellen zwischen den Verkehrsträgern im Sinne des definierten Leitbildes ebenso wie die Öffentlichkeitsarbeit und Wissensverbreitung zum Thema AVF.
Zeithorizont: aufgrund der schnellen technischen Entwicklung empfiehlt es sich, hier zeitnah Grundsatzentscheidungen zu fällen. Hierfür ist es zwar sinnvoll, auf die vorstehend beschriebene Aufgabe 1 zu warten, dies ist jedoch nicht zwingend erforderlich.

3. **Konzentration auf Nutzfahrzeuge**
Im Sinne einer nachhaltigen Mobilitätswende wird eine Konzentration auf Nutzfahrzeuge und hier insbesondere den ÖV empfohlen, da dort die größten Hebeleffekte zu erwarten sind und zudem in den anderen Bundesländern außerhalb der MRH-Trägerländer andere Schwerpunkte bearbeitet werden (siehe Abschnitt 1.1.3.3). Vor allem im ÖV kann die öffentliche Hand aus ihrer Eigenschaft als ÖPNV-Aufgabenträger heraus eine aktive Steuerung und Koordination der Aktivitäten zur Einführung von AVF übernehmen. Im Güterverkehr kann zwar eine koordinierende Rolle aus wirtschaftspolitischer Sicht eingenommen werden, jedoch ist der Hebeleffekt geringer zu erwarten. Hier liegt ein wesentlicher Einfluss in regulatorischen Themen. Übertragungsmöglichkeiten vom ÖPNV auf den Güterverkehr lassen große Synergiepotenziale erwarten, auch in der Kombination beider Bereiche. Der MIV sollte dennoch vor allem im suburbanen und ländlichen Raum im Sinne des Leitbildes als ein Baustein in einem inter- und multimodalen Verkehrssystem mitgedacht werden. Der aktiven Vermeidung von Rebound-Effekten wird ebenfalls eine wichtige Rolle beizumessen sein.
Rollen: Das IAF sollte eine aktive Steuerung der Aktivitäten übernehmen, auch international auf dem neuesten Stand sein und gemeinsame Forschungs- und Entwicklungsvorhaben aktiv steuern. Die Einbindung der ausführenden Stakeholder in der ÖV-Vergabe, Verkehrsunternehmen, Logistikunternehmen und andere Flottenbetreiber im Personen- und im Güterverkehr ist dabei essenziell.
Zeithorizont: sinngemäß analog zu vorstehender Aufgabe 2.

4. **Stakeholder bei der Innovation unterstützen**

Der Einsatz von AVF ist zunächst mit Mehraufwendungen bei allen Stakeholdern verbunden. Zum einen sind dies hohe Investitionsleistungen im monetären und zeitlichen Sinne, zum anderen aber auch hohe betrieblichen Risiken. Vor allem kommunale sowie klein- und mittelständische Unternehmen werden ohne finanzielle und organisatorische Unterstützung vom Innovationsprozess ausgeschlossen und so blieben Nutzen und ggf. politisch gewünschte Effekte aus. Eine Koordinierungsstelle für Technik, Finanzierung und Integration kann die Stakeholder bei der Einführung von AVF unterstützen. Im Hinblick auf die Finanzierung kann das hohe wirtschaftliche Risiko auf Seiten der Fahrzeug- und Infrastrukturbetreiber

und die damit zusammenhängende Abhängigkeit von Fördergeldern evaluiert und eine gemeinsame Lösung für eine öffentliche Finanzierung erlangt werden. Weiterhin könnte auch eine Beschaffungsgemeinschaft eine Option sein, den langen Beschaffungszyklen für Fahrzeuge und Technik zu begegnen. Im Hinblick auf Technik und Integration kann so eine aktive Steuerung der Aktivitäten erfolgen, um anspruchsvolle Szenarien gemeinsam in F&E-Projekten zu thematisieren (wie das Reagieren auf Tagesbaustellen und Einsatzfahrzeuge).
Rollen: Das IAF kann bei der Finanzierung und beim Projektmanagement unterstützen, ggf. auch Fahrzeuge oder andere Ressourcen beschaffen und den jeweiligen Akteuren für Projekte zur Erprobung zur Verfügung stellen.
Zeithorizont: mittelfristig, da hierfür zunächst Kompetenzen aufgebaut und systematisiert werden sollten.

5. Aktive Steuerung Leitbild und Vermeidung von Rebound-Effekten

Die Effizienzvorteile des fahrerlosen Fahrens könnten sowohl im Straßenpersonen- als auch Straßengüterverkehr zu Kostensenkungen führen. Der Schienenverkehr könnte so unattraktiver werden und die Nachfrage entsprechend sinken. So könnten politische Zielkonflikte zwischen Straßen- und Schienenverkehr entstehen, genauso zwischen MIV und Ö(PN)V. Diesem gilt es entgegenzuwirken, indem der Fokus auf den intermodalen und gebündelten Verkehr gesetzt wird und sowohl Schienenverkehrsunternehmen als auch Straßenverkehrsunternehmen bei Innovationsprojekten gefördert werden und der Fokus auf eine nachhaltige Verkehrswende gelegt wird.
Rolle: Die MRH und das IAF kann und sollte bei der Formulierung eines Leitbildes und der Übertragung in eine operative Umsetzung die inhaltliche Federführung übernehmen und so für die Berücksichtigung übergeordneter verkehrs- und wirtschaftspolitischer Ziele sorgen.
Zeithorizont: eher mittelfristig und auch nach Abschluss Aufgabe 1 und Aufgabe 4, da es hierfür erforderlich ist, das Zielsystem (= Leitbild) zu kennen und hierzu kompetent agieren zu können.

6. Zusammenarbeit mit Smart-City /-Country-Projekten

Die Entstehung von Smart Cities schafft eine hochgradig vernetzte Infrastruktur, die bestimmte Funktionen verbessern könnte. Analysen zeigen, dass intelligente Städte/ ländlicher Raum und autonome Fahrzeuge unabhängige Zukunftstrends sind. Daher wird es wichtig sein, diese beiden Trends zu kombinieren und Synergien zu nutzen. Diese müssen nicht unbedingt in der direkten Einbeziehung der Infrastruktur zur Weiterentwicklung/Integration von automatisierten Fahrfunktionen liegen. Einem Bericht von Navigant Research (Smart City Tracker) aus dem Jahr 2019 zufolge konzentriert sich jedes fünfte der 443 aufgelisteten Smart-City-Projekte auf die Mobilität. Aus diesem Grund ist die Zusammenarbeit mit Smart-City-/Land-Projekten vielleicht nicht unbedingt notwendig, um AVF selbst in der MRH weiter zu implementieren, kann aber Potenziale und Synergien auf dem Weg in eine vernetzte Zukunft aufzeigen. Zudem stellt eine enge Zusammen-

arbeit sicher, dass die verfolgten Ansätze nicht in Konkurrenz zueinanderstehen oder unnötige Investitionen getätigt werden.
Rolle: Das IAF sollte das Monitoring der Aktivitäten übernehmen, auch international auf dem neuesten Stand sein, um gemeinsame Forschungs-, Entwicklungsvorhaben und Studien in der MRH zu initiieren und so für die Berücksichtigung regionaler, wirtschaftspolitischer Ziele sorgen.
Zeithorizont: eher mittelfristig und nach Abschluss Aufgabe 1, da es hierfür erforderlich ist, das Zielsystem (= Leitbild) zu kennen und hierzu kompetent agieren zu können.

3. Konzeptentwicklung für ein modulares IAF in der MRH

Für die Entwicklung des Konzeptes für das IAF werden zunächst die strategische und operative Ausrichtung betrachtet und anschließend für die konzeptionelle Überlegung zusammengeführt. Die strategische Ausrichtung umfasst dabei die Entwicklung von Alleinstellungsmerkmalen anhand eines Vergleichs nationaler Innovationszentren. Parallel dazu wird aufbauend auf den Ergebnissen des Abschnitts 2 und dem Lastenheft „Machbarkeits-, Konzept- und Realisierungsstudie für ein Innovationszentrum Autonomes Fahren (IAF) in der Metropolregion Hamburg (MRH)“ das Leitbild formuliert, um verkehrs- und wirtschaftspolitische Entwicklungsziele für die MRH abzuleiten. Die Betrachtung der operativen Ausrichtung basiert auf Ergebnissen eines halbtägigen Workshops mit Stakeholdern der MRH, um so die Perspektive potenziell Nutzender einzubeziehen. Anschließend wurden die Ergebnisse der strategischen und operativen Ausrichtung zur Herleitung der möglichen Tätigkeitsschwerpunkte des IAF zusammengeführt und zur Erarbeitung eines modularen Aufbaus des Konzeptes des IAF herangezogen.

3.1 Strategische Ausrichtung

3.1.1 Alleinstellungsmerkmale

Eine mögliche strategische Ausrichtung des IAF inkl. Alleinstellungsmerkmalen wird im Folgenden anhand der deutschlandweit ähnlich angelegten Vorhaben betrachtet und evaluiert.

In den letzten Jahren haben die Aktivitäten bezüglich des AVF im bundesweiten Vergleich zugenommen. Dies umfasst unter anderem die Gründung von Innovationszentren, Kompetenzhubs, Smart Mobility Campus und Forschungszentren. Das Spektrum der Zielstellungen dieser initiierten Einrichtungen reicht dabei von der Intensivierung der Forschung und Entwicklung in Kernbereichen des AVF, Bündelung von Kompetenzen an einem Standort, Schaffung von räumlicher Nähe zu Testfeldern bis hin zum Anbieten von Co-Working-Arbeitsumgebungen.

Die folgende Tabelle schafft dabei einen Überblick über die im deutschen Raum vorhandenen Einrichtungen zur Thematik AVF und stellt deren Fokus und Leistungsspektrum dar.

Name und Standort	Fokus	Leistungsspektrum
Zentrum für automatisierte Mobilität In Wuppertal https://www.camo.nrw	Zusammenschluss der Bergischen Universität Wuppertal, der Hochschule Ruhr West und der Bergischen Gesellschaft als ein anwendungsorientiertes Kompetenzzentrum, das Themen der automatisierten Mobi-	Fokus auf Kommunen: • Vermittlung von Wissen • Beratungs- und Qualifizierungsangebote • Bürgerbeteiligung und Dialog

Name und Standort	Fokus	Leistungsspektrum
	lität aufgreift, bündelt und sie in Informations-, Beratungs- und Weiterbildungsangebote für Kommunen überführt	• Vernetzung von Akteuren
Innovationszentrum der Daimler AG und der Universität Ulm Daimler Research Institute for Vehicle Environment Perception at Ulm University „driveU“ In Ulm https://www.uni-ulm.de/in/iui-drive-u/	Forschung und Entwicklung im Bereich der Fahrerassistenzsysteme, Fahrzeugsicherheit und der autonomen Fahrfunktionen. Der methodische Schwerpunkt des driveU liegt in der maschinellen Wahrnehmung und Umgebungsrepräsentation. Die Forschungsarbeiten erfolgen in bilateralen Projekten zwischen der Daimler AG und der Universität Ulm zusammen mit weiteren namhaften OEMs und Zulieferern.	Forschungstransfer: • Sensor- und Signalverarbeitung • Informations- und Sensorfusion • Multi-Objekt Tracking • Fahrumgebungsrepräsentation • Situationsverstehen • Fahrerintentionserkennung
Forschungszentrum für kooperative, hochautomatisierte Fahrassistenzsysteme und Fahrfunktionen „F3“ In Ulm https://www.uni-ulm.de/in/f3/	F3 bündelt die Kompetenzen der beteiligten Forscher der Universität Ulm rund um die Themen Fahrerassistenz, automatisiertes Fahren und kooperative Fahrfunktionen.	Forschungsschwerpunkte: • Sensorik • Umfelderkennung • Automatische Fahrfunktionen • C2X-Kommunikation • Security-Privacy • Fahrer-Fahrzeug-Interaktion • Verkehrspsychologie
Innovationszentrum LabCampus Am Flughafen München https://www.labcampus.de/de/vision	Quartier und Raum für unterschiedliche Nutzungskonzepte, bei denen das gemeinsame Entwickeln, Testen und Realisieren von Innovationen im Fokus steht. • Branchenübergreifende Kollaboration • Aktives Community-Management • Partner-Matching • Trenderkennung und -analyse	• Vermietung von Büroflächen • Vermietung von Prototyping Flächen • Unterstützende Innovation-Services • Reallabor Flughafen München

Name und Standort	Fokus	Leistungsspektrum
Kompetenzzentrum Autonomes Fahren am Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) Diverse Standorte u.a. Kaiserslautern, Saarbrücken, Bremen, Osnabrück, Oldenburg, Berlin, Darmstadt, Lübeck https://www.dfki.de/web/forschung/kompetenzzentren/autonomes-fahren	Bündelung der Forschungskompetenzen der Bereiche des DFKI. Das Kompetenzzentrum definiert und koordiniert öffentliche und industrielle Forschungsprojekte und ist zentrale Kommunikationsplattform sowie Anlaufstelle für externe Kontakte im Bereich Autonomes Fahren.	Durchführung von Forschungsarbeiten zu Themen: • Künstlichen Intelligenz • Sicherheit von KI-Systemen • Maschinelles Lernen/ Deep Learning • Trainings- und Testfahrten in virtuellen Umgebungen (Synthetische Daten) • Technologien zur Verifizierung und Evaluation von KI
Innovationszentrum efeuCampus Innovationszentrum für autonome urbane Güterlogistik In Bruchsal https://efeucampus-bruchsal.de/efeucampus-bruchsal/	Auf dem Gelände der ehemaligen Dragonerkaserne entsteht ein Testgelände und ein Stadtquartier mit Wohnraum für rund 240 Einwohnerinnen und Einwohnern sowie öffentlichen Verkehrsflächen. Dieses Testgelände soll für das LastMileCityLab (autonome urbane Güterlogistik) genutzt werden. Vor den Häusern der Anwohnerinnen und Anwohner sollen autonome Transportroboter unterschiedliche Güter abliefern und einsammeln.	Impulsgeber für die Entwicklung von Lösungen für Güterlogistik auf der letzten Meile und autonome Fahrzeugtechnik durch: • Bereitstellung eines Reallabors für das efeuLog Liefersystem • efeuAkademie als kommunikative Schnittstelle zwischen dem Projektkonsortium, der interessierten Öffentlichkeit, Fachjournalisten und Politik fungieren.

Tab. 3.1 Innovations- und Forschungszentren in Deutschland zur Thematik AVF-Mobilität

Neben den aufgeführten Zentren existieren diverse Cluster-Organisationen, die auch in den Trägerländern der MRH vertreten sind. Beispielhaft sind hier Maritimes Cluster Nord, Automotiv Agentur Niedersachsen, autOS und ITS-Mobility zu nennen, die in ihren Wirtschaftszweigen von den Akteuren getriebene Leitziele im Bereich des AVF verfolgen.
Fazit: Um eine inhaltliche Abgrenzung des IAF zu bestehenden Vorhaben vornehmen zu können, werden in der folgenden Übersichttabelle die inhaltlichen Ausrichtungen der bestehenden Innovations-, Forschungs- und Kompetenzzentren in identifizierten Kategorien dargelegt. Die wichtigsten Kategorien zu einer möglichen Abgrenzung eines IAF wurden grau gekennzeichnet.

	Anbindung an ein Reallabor	Fokus	Raumbezug[1]	Strategieentwicklung	Verkehrsträger	Zielgruppe
CAMO NRW	Nein	Beratung und Qualifizierung	regional	Nein	Straße	Kommunen
driveU	Nein	Forschungstransfer		Nein	Straße	Daimler als OEM und Zulieferer
F3	Nein	Forschung AVF		Nein	Straße	Forschung
LabCampus	Flughafen München	Kollaboration		Nein		Industrie
DFKI AF	Nein	Forschung KI		Nein	Straße	Forschung und Industrie
efeuCampus	efeuCampus	Urbane Güterlogistik	urban	Nein	Straße	Öffentlichkeit und Projektpartner

Tab. 3.2 **Merkmale zu einer möglichen Abgrenzung des Innovationszentrums Autonomes Fahren**

Erläuterungen zu den Kategorien in der Tab. 3.2:

- Die Kategorie „Anbindung an ein Reallabor" beschreibt, ob und wo eine Anbindung an ein Reallabor vorhanden ist. Unter einem Reallabor wird eine transdisziplinäre Forschungs- und Entwicklungseinrichtung verstanden, wo Wissenschaft und Gesellschaft gemeinsam an zukunftsfähigen Lösungen arbeiten.
- Unter der Kategorie „Fokus" werden die Leistungsschwerpunkte der Einrichtung verstanden.
- In der Kategorie „Raumbezug" ist der raumbezogene Wirkungsbereich für das Leistungsspektrum eines Innovation-, Forschungs- und Kompetenzzentrums gemeint.
- Unter der Kategorie „Strategieentwicklung" wird die aktive Entwicklung einer Strategie durch die Einrichtung verstanden.

[1] *Mit dem Terminus „Raumbezug" wird der raumbezogene Wirkungsbereich für das Leistungsspektrum der Innovations-, Forschungs- und Kompetenzzentren gemeint.*

- Die Kategorie „Verkehrsträger“ beschreibt die Ausrichtung der Tätigkeiten und Schwerpunkte auf einen Verkehrsträger.
- Die Kategorie „Zielgruppe“ zeigt die durch die Einrichtung adressierten Akteure auf.

Folgend werden die identifizierten Kategorien strategisch bewertet, um Alleinstellungsmerkmale für das IAF abzuleiten.
Die geringe Anbindung bisheriger Innovations-, Forschungs- und Kompetenzzentren an ein Reallabor erklärt sich durch die eigenen Unterstützungs-Services dieser Einrichtungen, um die Kunden bestmöglich zu betreuen. Umgekehrt können aus einem Testfeld heraus thematisch ausgerichtete Kompetenzzentren aufgebaut werden, wenn ein entsprechendes Netzwerk aus Akteuren und Leistungsbedarfen bestehet. Die Anbindung des IAF an ein bestehendes Reallabor kann daher zu einer inhaltlichen Ausrichtung und Fokussierung führen, welche die regionale Bedeutung für die MRH einschränken würde.
In der Kategorie „Fokus” sind die Innovations-, Forschungs- und Kompetenzzentren sehr breit aufgestellt. Dennoch finden sich die bisher in Abschnitt 2.6 Punkt 3 identifizierten Potenzialschwerpunkte der gewerblichen Personenmobilität und Gütermobilität in anderen nationalen Einrichtungen bisher nicht wieder und könnten ein entsprechendes Alleinstellungsmerkmal bieten.
In der Kategorie „Raumbezug“ stellt der durch die MRH bzw. deren Trägerländer definierte Wirkungsbereich im Kontext des länderübergreifenden Schwerpunktes ein mögliches Alleinstellungsmerkmal für das IAF mit Strahlwirkung für andere Regionen in Deutschland dar. Untersuchte Einrichtungen fokussieren sich zumeist auf lokal eingegrenzte urbane Anwendungsfälle und stellen somit eine länderübergreifende Zusammenarbeit nicht in den Vordergrund.
In der Kategorie Strategieentwicklung wird die Entwicklung, Monitoring und Fortschreibung einer regionalen Strategie für das AVF in den betrachteten Innovations-, Forschungs- und Kompetenzzentren bisher nicht bearbeitet. Maßnahmen und Projekte werden von den beteiligten Stakeholdern oder von allgemeinen behördlichen Mobilitätsstrategien auf dem Transformationspfad zur Mobilitätswende getrieben. Ein spezifischer Fokus auf das AVF, regionale Integrationspfade und abgestimmtes verkehrsträgerübergreifendes Handeln ist damit nicht sichergestellt. Damit würde dieses Themenfeld ein Alleinstellungsmerkmal für ein IAF in der MRH darstellen.
Die Kategorie „Verkehrsträger“ zeigt bei den dargestellten Vorhaben eindeutig einen auf den Straßenverkehr bezogenen Schwerpunkt. Wie in Abschnitt 2 bereits aufgezeigt, bietet die MRH eine Vielfalt an Aktivitäten rund um verschiedene Verkehrsträger sowie deren Interoperabilität und das schließlich sowohl im konventionell manuellen als auch im automatisierten Betrieb. Das IAF sollte daher verkehrsträgerübergreifende Ansätze verfolgen und Transparenz hinsichtlich gegenwärtiger Hemmnisse schaffen und verkehrsträgerübergreifende Maßnahmen und Projekte anvisieren.
Im Bereich Zielgruppe wird in den gezeigten Innovations-, Forschungs- und Kompetenzzentren ein breites Spektrum an Stakeholdern adressiert, welches sich individuell aus dem Fokus und Leistungsspektrum der Einrichtungen ergibt. Ein Alleinstellungsmerkmal zur Abgrenzung lässt sich hier nicht identifizieren.
Die identifizierten vier Alleinstellungsmerkmale (A1 bis A4) werden in der folgenden Abb. 3.1 zusammenfassend dargestellt.

- **Länderübergreifender Ansatz für ein Innovationszentrum Autonomes Fahren (A1)**
- **Entwicklung einer regionalen Strategie für die Integration des AVF in die MRH (A2)**
- **Verkehrsträgerübergreifende und auf Interoperabilität ausgerichtete Maßnahmen und Projekte (A3)**
- **Fokussierung auf gewerbliche Personen- und Gütermobilität (A4)**

Abb. 3.1 **Identifizierte Alleinstellungsmerkmale für ein IAF in der MRH**

3.1.2 Leitbild und Entwicklungsziele

Als weitere strategische Ebene für das zu entwickelnde Konzept des Innovationszentrums Autonomes Fahren wurde ein Leitbild basierend auf den Ergebnissen der Potenzialanalysen in Abschnitt 2 und dem Lastenheft der „Machbarkeits-, Konzept- und Realisierungsstudie für ein Innovationszentrum Autonomes Fahren (IAF) in der Metropolregion Hamburg (MRH)" erarbeitet. Unter dem Leitbild wurden vier zentrale Leitsätze mit vertiefenden Aussagen formuliert. Das Leitbild soll ein Grundgerüst für das abzuleitende Konzept des IAF bieten, um einerseits die Ergebnisse des OECD-Berichts zur Regionalentwicklung Metropolregion Hamburg und andererseits die strategischen Bedarfe der MRH in die konzeptionellen Überlegungen des IAF einfließen zu lassen.

Leitsatz 1) Mobilitätsgarantie durch AVF

Die Verbesserung der Erreichbarkeit in der Region zwischen den urbanen Zentren, in der Fläche, aus der Fläche in die Zentren und umgekehrt soll verbessert werden und hat höchste Priorität. Eine effizientere Nutzung und Vernetzung bestehender Verkehrsinfrastrukturen, Weiterentwicklung der Mobilitätsangebote (Attraktivitätssteigerung, ökonomischer Nutzen) und der Verkehrsmittel im Einklang mit rechtlichen Rahmenbedingungen sollen zur verkehrlichen Anbindung des ländlichen Raums (Feinerschließung) beisteuern, einen wesentlichen Beitrag zur Verkehrswende, also zu einer nachhaltigen und umweltfreundlichen Mobilität liefern und zur Verbesserung der Lebensqualität in der MRH beitragen.

Leitsatz 2) Kompetenzausbau, Vernetzung der Stakeholder und regionale Synergien

Durch bisherige Forschungsaktivitäten der Agierenden in den Trägerländern wurden umfangreiche Erfahrungen im AVF gesammelt. Die Sicherung und strategische Weiterentwicklung des Portfolios dieser Vorarbeiten durch Kooperation, Kompetenzausbau und Interoperabilität ist wesentlich, um die Innovativität und Synergiepotenziale im Verkehrsbereich zu verstärken. Hierfür gilt es die Akteurinnen und Akteure in der Region weiterhin zu vernetzen, grenzüberschreitende Zusammenarbeit zu stärken und durch gezielte Maßnahmen oder industriepolitische Anreize zur Steigerung der Innovativität anzuregen.

Leitsatz 3) Schaffung einer Wissenszentrale für AVF

Die Schaffung einer regionalen zentralen Anlaufstelle zur Vermittlung von Wissen (Kompetenzaufbau), Beratungsleistungen und Praxis-Beispielen hilft bei der Überwindung technologischer, regulatorischer sowie wirtschaftlicher Herausforderungen. Die Wissensbasis wird damit auch wesentlich zur Hebung der Transparenz in der MRH beitragen und beim Abbau der in der OECD-Studie geschilderten Fragmentierung unterstützen.

Leitsatz 4) Sogwirkung durch AVF-Rahmenbedingungen
Die Entwicklung des AVF erfolgt nicht nur regional, sondern national, europäisch und global. Neue, innovative und weiterreichende Ansätze (z. B. neue Technologien oder gesetzlicher Rahmen) sollten in die Metropolregion Hamburg getragen werden. Durch abgestimmte, gemeinschaftlich weiterentwickelte, attraktive Rahmenbedingungen soll die Attraktivitätswirkung auf Innovationstreiber im Wettbewerb mit anderen Standorten hochgehalten werden. Eine regelmäßige Eigenevaluation und verkehrsträgerübergreifende Transparenz in dieser Hinsicht haben Priorität.

3.2 Operative Ausrichtung

Im Rahmen der operativen Ausrichtung für das zu entwickelnde Konzept eines Innovationszentrums Autonomes Fahren soll der mögliche Mehrwert für die Agierenden in der MRH evaluiert und erarbeitet werden. Für diese Aufgabenstellung wurde ein halbtägiger Workshop am 28.07.2022 in Hamburg mit 19 Teilnehmenden durchgeführt. Die insgesamt 68 eingeladenen Personen verteilten sich auf folgende Bereiche: 3 Fahrzeugherstellende, 9 Güterverkehr-Betreibende, 3 Mobilitätsdienstleitende, 7 ÖV-Betreibende, 3 Regulatorik, 3 Technologieanbietende, 6 Verwaltung und Politik, 15 Wirtschaftsfördernde und 18 Wissenschaft.

Der Workshop widmete sich dabei zwei grundlegenden Fragen:

- Welchen Nutzen hätte ein Innovationszentrum Autonomes Fahren für die Akteurinnen und Akteure der MRH, bzw. hätte ein IAF grundsätzlich einen Nutzen?
- Wie müsste das IAF für diese Aufgabe aufgestellt werden?

Methodik
Für die konzeptionelle Vorbereitung auf den Workshop wurden vorläufige Schwerpunkte des IAF definiert. Ausgangspunkt für dieses Vorgehen war der Wunsch der Gutachter, sinnvolle Aktivitäten und Leistungsbausteine zur zielgerichteten Umsetzung des IAF zu finden. Die für die operative Ausrichtung relevanten Schwerpunkte entstanden direkt aus den in Abschnitt 2 getätigten Analysen und hergeleiteten Handlungsoptionen und werden folgend eingeführt.
Schwerpunkt 1 betrachtete den technologischen Ansatzpunkt, um einen Kompetenzaufbau und Skalierung des AVF in der MRH durch eine Weiterentwicklung der Technologie, Initiierung von Best-Practice Beispielen und Interoperabilität sicherzustellen.

Schwerpunkt 2 betrachtete den Mobilitätsnutzen auf Basis bisher erfolgreich durchgeführter Projekte und Erfahrungen, um die Kompetenz in der Fläche weiter auszubauen und den ökonomischen Nutzen für die Region besser zu verstehen.
Schwerpunkt 3 betrachtete schließlich die Wissensbasis in der MRH, um die Akteure besser zu vernetzen und zu beraten sowie Informationen aufzubereiten und mehr Transparenz in der MRH zu schaffen.
Damit die Intentionen der Stakeholder in diesen Schwerpunkten besser abgeschätzt werden können, wurden vier beispielhafte Szenarien entworfen, um Sie im Rahmen des Workshops zu diskutieren.

Die konzeptionelle Ausprägung der vier beispielhaften Szenarien des IAF erfolgte dabei anhand von Eigenschaftspaaren:

a) „Rahmen schaffen" steht für das Schaffen eines organisatorischen, formalen und gestalterischen Rahmens für Aktivitäten Dritter

b) „Gestalten" beinhaltet ein eigenes Ausgestalten und Ausformen von Ideen und Projekten

c) „Initiativ" steht für ein initiatives und aktives Agieren

d) "Passiv" bedeutet einen reaktiven und beobachtenden Auftritt

Dabei sind a) und b) bzw. c) und d) die jeweiligen Gegensatzpaare. Das Paar „Gestalten" und „passiv" wurde in den Szenarien nicht besetzt, da es sich inhaltlich ausschließt. Eine detailliertere Darstellung der diskutierten beispielhaften Szenarien ist im Anhang 1 zu finden.
Operativ teilte sich der Workshop in zwei Teile auf. Eingeleitet wurde mit einer offenen Diskussion über grundsätzliche Vorstellungen, Nutzen und Zwecke eines möglichen IAF aus Sicht der einzelnen Akteure, um zunächst das breite Spektrum der verschiedenen Branchen und Verkehrsträger aufzuzeigen. Im zweiten Teil wurden vier vorbereitete Szenarien eines IAF in Gruppenarbeit diskutiert und mögliche Leistungsbausteine für diese Szenarien erarbeitet. Die Diskussion erfolgte dabei in vier Sprints, um jedem Teilnehmenden die Möglichkeit zu geben, sich an jedem Szenario aktiv zu beteiligen.

Ergebnis

Das Ergebnis des Workshops und der Diskussion der potenziellen Leistungsbausteine in den vorgegebenen Szenarien lässt sich wie folgt zusammenfassen:

- Ein gemeinsames Dach zur Organisation von Querschnittsthemen in der MRH wurde als sinnvoll erachtet.
- Einen Mehrwert für die Akteurinnen und Akteure würde eine gemeinsame Plattform zur Entwicklung einer ganzheitlichen Agenda bieten, die Themen setzt und eine Strategie vorgibt.
- Eine Querschnittsausrichtung über alle Verkehrsträger und -arten ist der Einschränkung auf Personenverkehr oder Güterverkehr vorzuziehen, um ein Gesamtsystem zu entwickeln.

- Die Vernetzung der Akteurinnen und Akteure (Wirtschaft, Verwaltung, Politik, Wissenschaft) wurde als sehr wichtig erachtet, dabei sollte der Fokus so gesetzt werden, dass die operative Ebene schnell erreicht wird. Dafür ist ein aktives zusammenbringen der Stakeholder und die Initiierung von Projekten unabdingbar.
- Keines der genannten Szenarien deckt alle Anforderungen des Marktes ab, aber eine Kombination der erarbeiteten Leistungsbausteine, würde diese abdecken. Daher sollte nach sinnvollen Kombinationen gesucht werden.

Nachträglich wurden die im Rahmen der Gruppenarbeit definierten Leistungsbausteine hinsichtlich einer Bündelung zu übergeordneten Kategorien untersucht. Dabei sollte insbesondere Punkt 5 des vorangegangenen Absatzes stärker beleuchtet werden und eine mögliche Ausprägung für das Konzept des IAF gesucht werden.

Die in Arbeitsgruppen genannten Leistungsbausteine wurden zu folgenden übergeordneten Säulen eines IAF geclustert:

1) Vernetzung, Beratung, Unterstützung (insgesamt 36 Nennungen)

2) Gestalten und initiieren (insgesamt 20 Nennungen)

3.3 Zusammenführung strategischer und operativer Ausrichtungen

Die Zusammenführung der strategischen und der operativen Ebenen ist maßgebend für die erfolgreiche Ausrichtung des IAF. Die Berücksichtigung der herausgearbeiteten Alleinstellungsmerkmale sichert bei den konzeptionellen Überlegungen die Besonderheit im Vergleich zu anderen nationalen Einrichtungen auf der strategischen Ebene. Die Berücksichtigung des Leitbildes sichert auf der anderen Seite den Nutzen der definierten Maßnahmen für die MRH. Die Verschneidung dieser Perspektive mit der Perspektive der operativen Mehrwerte für die Stakeholder der MRH wird im Folgenden für die Herleitung von abgestimmten Maßnahmen genutzt. Die identifizierten Maßnahmen basieren auf den Ergebnissen der Potenzialanalysen und insbesondere auf den diskutierten Handlungsoptionen in Abschnitt 2 und sollen die dortigen Ansätze zu sinnvollen Aktivitäten für die MRH weiterführen. Als Methode wurde eine Matrixrepräsentation gewählt.
Im ersten Schritt werden dazu in der folgenden Tabelle die strategischen Alleinstellungsmerkmale betrachtet.

	Vernetzung, Beratung, Unterstützung	Gestalten und Initiieren
Länderübergreifendes Leitbild für ein Innovationszentrum Autonomes Fahren (A1)	• Vernetzung der Straßenverkehrsbehörden auf Kreis- und Landesebene in der MRH • Dialog mit Planungsbehörden zur angemessenen Berücksichtigung des AVF in der Stadt- und Raumplanung	

	Vernetzung, Beratung, Unterstützung	Gestalten und Initiieren
Entwicklung einer regionalen Strategie für die Integration des AVF in die MRH (A2)	• Schaffung einer Projektdatenbank zum Monitoring von umgesetzten sowie geplanten Vorhaben und zur Identifikation von Bedarfen • Zusammenarbeit mit Smart City/Country Projekten • Aufbereitung regionalwirtschaftlicher Effekte durch das AVF • Ökonomische Betrachtung des AVF im Bereich des Güterverkehrs	• Entwicklung einer länderübergreifenden Strategie für eine Abgestimmte Entwicklung des AVF
Verkehrsträger übergreifende und auf Interoperabilität ausgerichtete Maßnahmen und Projekte (A3)	• Koordination von vorhandenen Aktivitäten in der MRH • Verkehrsträgerübergreifende Transparenz hinsichtlich Regulatorik, Technologie erarbeiten	• Neutrale verkehrsträgerübergreifende Software-Plattform für die Integration von AVF in die Prozesse von Häfen und Logistikhubs
Fokussierung auf gewerbliche Personen- und Gütermobilität (A4)	• Qualifizierung und Beratung von Akteuren zum AVF im Güterverkehr • Qualifizierung und Beratung von Akteuren zum AVF im ÖPNV	• Prüfung verkehrspolitischer Maßnahmen zur infrastrukturellen Anpassung von Straßen- und Schienenräumen für das AVF

Tab. 3.3 Matrixrepräsentation von Maßnahmen zur Erfüllung der strategischen Alleinstellungsmerkmale

Im zweiten Schritt wurden die strategischen Leitsätze betrachtet.

	Vernetzung, Beratung, Unterstützung	Gestalten und Initiieren
Leitsatz 1) <u>Mobilitätsgarantie durch AVF</u>	• Internationale Kooperationen anbahnen • Vernetzung mit internationalen Organisationen • Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von AVF im ÖPNV und Güterverkehr • Informationsveranstaltungen vor Ort bei Kommunen • Aufbereitung von Technologie- und Innovationspotenzialen	• Definition einer regionalen ÖPNV-ODD für den Busverkehr in der MRH • Handlungsleitfaden definieren

	Vernetzung, Beratung, Unterstützung	Gestalten und Initiieren
Leitsatz 2) Kompetenzausbau, Vernetzung der Stakeholder und regionale Synergien	• Erstellung eines Katalogs/ Stakeholder-Börse mit Technologieunternehmen, wissenschaftlichen Einrichtungen und Ansprechpartnerinnen sowie Ansprechpartner in Politik und Verwaltung für AVF- Themen • Organisation von Fachworkshops für Forschungstransfer und Initiierung von Projekten • Flächendeckender Kompetenzausbau zum AVF durch praxisnahe Weiterbildung • Aufbereitung und Zusammenfassung der Ergebnisse der Pilotprojekte • Schaffung von Test- und Erprobungsmöglichkeiten	• Projekte zur Verknüpfung von Branchen, Harmonisierung von Schnittstellen und Standards zur Steigerung von Interoperabilität • Experimentelle Entwicklung von innovativen Fahrzeugkonzepten als Keimpunkt zwischen Forschung und Industrie •
Leitsatz 3) Schaffung einer Wissenszentrale für AVF	• Organisation von Pitching- und Matchmaking-Veranstaltung • Aufbereitung von Informationen und Formate zur Wissensweitergabe an Politik und Verwaltung • Bildung von Task-Forces • Potenzialanalyse von länderübergreifenden Wegeketten im ÖPNV (konventionell und AVF) • Potenzialanalyse von Reallaboren und Geschäftsmodellen für AVF im ländlichen Raum (MIV, Car-Sharing, ÖPNV, KEP-Dienste)	• Implementierung von Methoden und Werkzeugen für systematische Streckenanalysen im ländlichen Raum auf Passfähigkeit zum AVF anhand eines Kriterienkatalogs • Projekte zur Operationalisierung von automatisierten Umschlagsprozessen in Häfen oder Logistikhubs
Leitsatz 4) Sogwirkung durch AVF-Rahmenbedingungen	• Austausch zwischen Unternehmen und Landesbehörden fördern • Öffentlichkeitsarbeit zur Demonstration von Technologieprojekten und regionalwirtschaftlichen Effekten des AVF • Einbindung in Aktivitäten und Arbeitskreise auf Bundes-, Länder- und EU-Ebene • Aktive Start-Up Förderung	• Schaffung von industriepolitischen Anreizen für die Einführung des AVF • Rahmenbedingen für innovative Mobilitätsangebote in der gesamten Metropolregion ermöglichen (z. B. teleoperiertes Fahren, Autonomes Valet-

	• Unterstützung bei der Fördermittelakquise	Parken) • Entwicklung von länderübergreifenden AVF- Güterverkehrskorridoren

Tab. 3.4 **Matrixrepräsentation von Maßnahmen zur Erfüllung der strategischen Leitsätze**

3.4 Konzeptioneller Aufbau IAF

Die bisher durchgeführten Analysen und die Eindrücke aus dem durchgeführten Workshop mit Stakeholdern führten die Gutachter insgesamt zu der Erkenntnis, dass eine aktive Vernetzung der Akteurinnen und Akteure und deren Qualifizierung und Weiterbildung maßgebend für die Integration des AVF in die MRH sind. Auf der anderen Seite ist die Erarbeitung einer Agenda, die Definition eines Handlungsleitfadens und der Kompetenzausbau durch das Anstoßen von zielgerichteten Technologie- und Innovationsprozessen wesentlich, um den Ergebnishorizont nicht dem Zufall zu überlassen und von anderen Regionen in Deutschland nicht überholt zu werden. Diese zweisäulige Ausrichtung des Konzeptes erfüllt insgesamt den Eindruck der Gutachter nach Sinnhaftigkeit und Vollständigkeit für die MRH, um die heterogenen Bedarfe der Stakeholder in der MRH bedienen zu können. Innerhalb des Workshops und der Workshopnachbereitung konnten sämtliche Interessen der heterogenen Stakeholder, inklusive Leistungsbausteine, sinnvoll in zwei Säulen gegliedert werden. Dieses Vorgehen vereinfacht die spätere Umsetzung, verzichtet auf unnötige Komplexität und lässt zusätzliche Synergien entstehen.

Der Säulenaufbau für das Konzept des IAF wurde dabei wie folgt gegliedert:

- Die Säule „Technologie und Mobilität“ steht für gestalterische und initiative Maßnahmen zur Weiterentwicklung der Technologiereife und das Heben der Innovationspotenziale von AVF in der Metropolregion Hamburg. Dabei steht die Erarbeitung einer Agenda/Strategie, Realbetrieb, Skalierung und Initiierung von anwendungsbezogenen Projekten im Rahmen von Konsortien im Vordergrund. Parallel sollen Technologiebedarfe identifiziert und Kompetenzausbau bzw. Technologietransfer im Rahmen von Best-Practice Projekten gesichert werden. Die Säule ist damit eher in der Ausprägung gestalten und initiieren ausgerichtet. Wesentlich für diese Säule sind damit die zuvor in Abschnitt 3.3 in der Spalte „Gestalten und Initiieren“ definierten Maßnahmen.
- Die Säule „Information und Wissen“ steht für Maßnahmen, die die Vernetzung der Akteurinnen und Akteure und deren Beratung/Weiterbildung/Unterstützung sicherstellen. Die Aufbereitung von Informationen, das Kommunikations-/Wissensmanagement, das Heben der länderübergreifenden Transparenz im AVF (regulatorisch, ökonomisch, technologisch) und Kompetenzaufbau in der Fläche gehören zu den Schwerpunkten. Wesentlich für diese Säule sind die zuvor in Abschnitt 3.3 in der Spalte „Vernetzung, Beratung und Unterstützung“ definierten Maßnahmen.

Der ursprünglich in der Vorbereitung des Workshops definierte Schwerpunkt 2 "Mobilitätsnutzen" hat nicht an Bedeutung verloren. Im Einklang mit den konzeptionellen Arbei-

ten des Workshops wird der Mobilitätsnutzen im weiteren Verlauf als übergeordnetes Ziel des IAF verstanden und dient somit als Zwischenebene, die von den beiden Säulen "Technologie und Mobilität" und "Information und Wissen" getragen wird.

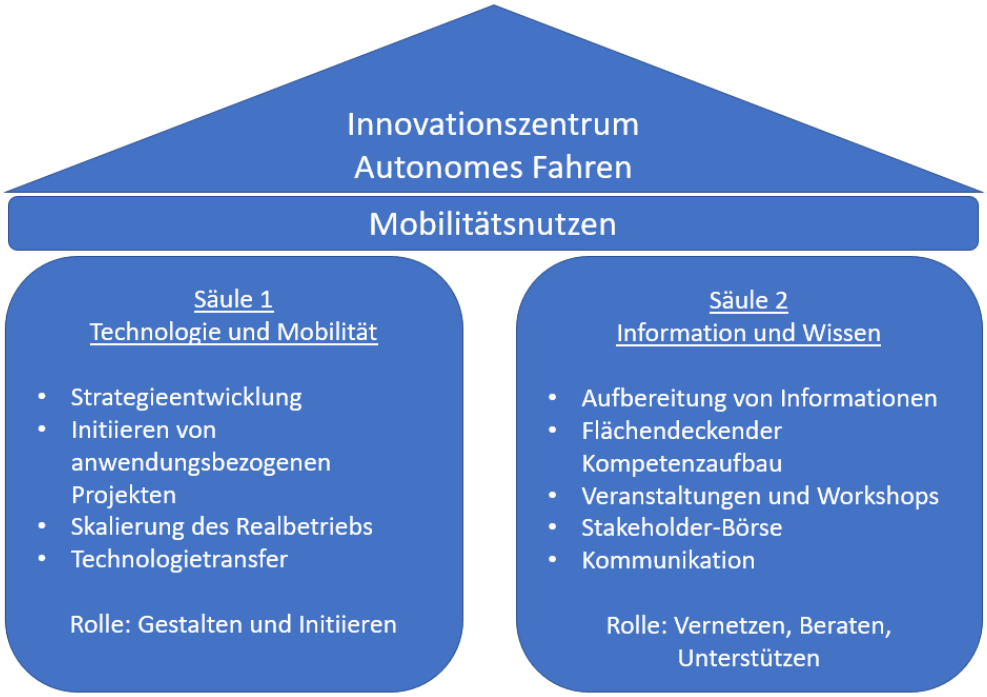

Abb. 3.2 Schematische Darstellung des Innovationszentrums Autonomes Fahren

Dargestellt sind zwei unabhängige Hauptsäulen, deren zusammengefasste Kernthemen und zugeordnete Rolle.

Die Signifikanz wird innerhalb der strategischen Ausrichtung deutlich, indem sämtliche Leistungsbausteine und die operative Umsetzung des IAF dazu dienen den Mobilitätsnutzen des AVF in der MRH zu erhöhen.

Um den Mobilitätsnutzen des AVF in der MRH im Realbetrieb skalieren zu können, sind weitere Technologiefortschritte zur Erhöhung der Technologiereife notwendig. In der Säule 1 sollen daher der technologische Ansatzpunkt mit dem Mehrwert des Mobilitätnutzens des AVF ineinandergreifen. In der Säule 2 soll der Vernetzungsgedanke und die unterstützende Wissensbasis gemeinsam zur Hebung der Synergien in der MRH beitragen und damit einen Weg für die Erhöhung des Mobilitätsnutzens durch das AVF bereiten.

Die Säulen „Technologie und Mobilität" sowie „Information und Wissen" mit ihren Kernthemen und untergeordneten Maßnahmen bilden die Umsetzungsebene. In Abb. 3.2 sind die zuvor beschriebenen Inhalte der Säulen mit Ihren Kernthemen, die aus den in Abschnitt 3.3 definierten Maßnahmen hergeleitet wurden, zusammengefasst dargestellt.

In den folgenden Abschnitten werden die Konzeptentwürfe der einzelnen Säulen des IAF beschrieben. Die zugeordneten Maßnahmen werden zunächst in einer Liste zusammengefasst und mit einer standardisierten Bewertungsmetrik durch die Gutachter qualifiziert, um eine Vergleichbarkeit mit Blick auf Quick-Wins zu ermöglichen.

Im Folgenden wird zunächst die Bewertungsmetrik zur Priorisierung der Maßnahmen in den Säulen beschrieben.

Bewertungsmetrik	
Umsetzungshorizont	■ ■ ■
Kosten	■ ■ ■
Priorität	■ ■ ■

Umsetzungshorizont: Der Umsetzungshorizont beschreibt den Zeitrahmen, in welchem die Maßnahme umgesetzt werden kann:

- 1 Punkt: die Maßnahme kann kurzfristig in einem Zeitraum von 1 Jahr umgesetzt werden
- 2 Punkte: die Maßnahme kann in einem Zeitrahmen von 1 Jahr bis zu 5 Jahren umgesetzt werden
- 3 Punkte: die Maßnahme kann in einem Zeitrahmen von 5 Jahren oder länger umgesetzt werden

Kosten: Im Rahmen dieser Studie können Kosten nicht detailliert ermittelt werden. Stattdessen wird eine Einordnung in hoch/mittel/gering vorgenommen, gültig sowohl für einmaligen Investitionsaufwand als auch für laufende Kosten:

- 1 Punkt: geringe Kosten
- 2 Punkte: mittlere Kosten
- 3 Punkte: hohe Kosten

Priorität: Mit der Priorität der Maßnahme soll im 3 Punkte System vor allem der Gesamtnutzen für die MRH in Kombination mit Umsetzungshorizont und Kosten aus Sicht der Gutachter abgeschätzt werden.

3.4.1 Säule Technologie und Mobilität

Es folgt die Auflistung der Maßnahmen in der Säule „Technologie und Mobilität". Die Auflistung enthält dabei bereits eine Priorisierung von zwölf Maßnahmen mit höchster zu niedriger Priorität.[1]

Maßnahmen	Bewertung	
Entwicklung einer länderübergreifenden Strategie für eine Abgestimmte Entwicklung des AVF	Umsetzungshorizont Kosten Priorität	■ □ □ ■ □ □ ■ ■ ■
Handlungsleitfaden definieren	Umsetzungshorizont Kosten Priorität	■ □ □ ■ □ □ ■ ■ ■
Definition einer regionalen ÖPNV-ODD für den Busverkehr in der MRH	Umsetzungshorizont Kosten Priorität	■ □ □ ■ □ □ ■ ■ ■

[1] *Die Priorisierung erfolgte von hoher zu niedriger Quersumme der Punktevergabe in den Bewertungskriterien. Die Bewertungskriterien „Umsetzungshorizont" und „Kosten" werden dabei mit einem negativen Vorzeichen reingezählt, während das Kriterium "Priorität" positiv in die Quersumme eingeht. Beispielrechnung: Umsetzungshorizont 1, Kosten 1, Priorität 3 führt zu einer Quersumme: (-1)+(-1)+3=1*

Maßnahmen	Bewertung
Prüfung verkehrspolitischer Maßnahmen zur infrastrukturellen Anpassung von Straßen- und Schienenräumen für das AVF	Umsetzungshorizont ■ □ □ Kosten ■ □ □ Priorität ■ ■ □
Implementierung von Methoden und Werkzeugen für systematische Streckenanalysen im ländlichen Raum auf Passfähigkeit zum AVF anhand eines Kriterienkatalogs	Umsetzungshorizont ■ ■ □ Kosten ■ □ □ Priorität ■ ■ ■
Schaffung von industriepolitischen Anreizen für die Einführung des AVF	Umsetzungshorizont ■ ■ □ Kosten ■ ■ ■ Priorität ■ ■ ■
Rahmenbedingen für innovative Mobilitätsangebote in der gesamten Metropolregion ermöglichen (z. B. teleoperiertes Fahren, Autonomes Valet-Parken)	Umsetzungshorizont ■ ■ □ Kosten ■ ■ ■ Priorität ■ ■ □
Entwicklung von länderübergreifenden AVF Güterverkehrskorridoren (Straße, Schiene, Wasser)	Umsetzungshorizont ■ ■ □ Kosten ■ ■ ■ Priorität ■ ■ □
Projekte zur Verknüpfung von Branchen, Harmonisierung von Schnittstellen und Standards zur Steigerung von Interoperabilität	Umsetzungshorizont ■ ■ □ Kosten ■ ■ ■ Priorität ■ ■ □
Neutrale verkehrsträgerübergreifende Software-Plattform für die Integration von AVF in die Prozesse von Häfen und Logistikhubs	Umsetzungshorizont ■ ■ □ Kosten ■ ■ ■ Priorität ■ ■ □
Projekte zur Operationalisierung von automatisierten Umschlagsprozessen in Häfen oder Logistikhubs	Umsetzungshorizont ■ ■ □ Kosten ■ ■ ■ Priorität ■ □ □
Experimentelle Entwicklung von innovativen Fahrzeugkonzepten als Keimpunkt zwischen Forschung und Industrie	Umsetzungshorizont ■ ■ ■ Kosten ■ ■ ■ Priorität ■ □ □

Tab. 3.5 Übersicht der priorisierten Maßnahmen in der Säule „Technologie und Mobilität“

3.4.2 Säule Information und Wissen

Es folgt die Auflistung der Maßnahmen in der Säule „Information und Wissen“ mit einer Priorisierung von zwölf Maßnahmen von höchster zu niedriger Priorität.[1]

Maßnahme	Bewertung
Qualifizierung und Beratung von Akteuren zum AVF im ÖPNV	Umsetzungshorizont ■ □ □ Kosten ■ □ □ Priorität ■ ■ ■

[1] *Die Priorisierung erfolgte von hoher zu niedriger Quersumme der Punktevergabe in den Bewertungskriterien. Die Bewertungskriterien „Umsetzungshorizont“ und „Kosten“ werden dabei mit einem negativen Vorzeichen reingezählt, während das Kriterium "Priorität“ positiv in die Quersumme eingeht. Beispielrechnung: Umsetzungshorizont 1, Kosten 1, Priorität 3 führt zu einer Quersumme: (-1)+(-1)+3=1*

Maßnahme	Bewertung			
Qualifizierung und Beratung von Akteuren zum AVF im Güterverkehr	Umsetzungshorizont	■	□	□
	Kosten	■	□	□
	Priorität	■	■	■
Dialog mit Planungsbehörden zur angemessenen Berücksichtigung des AVF in der Stadt- und Raumplanung	Umsetzungshorizont	■	□	□
	Kosten	■	□	□
	Priorität	■	■	■
Erstellung eines Katalogs/ Stakeholder-Börse mit Technologieunternehmen, wissenschaftlichen Einrichtungen und Ansprechpartnerinnen sowie Ansprechpartnern in Politik und Verwaltung für AVF- Themen	Umsetzungshorizont	■	□	□
	Kosten	■	□	□
	Priorität	■	■	■
Verkehrsträgerübergreifende Transparenz hinsichtlich Regulatorik, Technologie erarbeiten	Umsetzungshorizont	■	□	□
	Kosten	■	□	□
	Priorität	■	■	■
Vernetzung der Straßenverkehrsbehörden auf Kreis- und Landesebene in der MRH	Umsetzungshorizont	■	□	□
	Kosten	■	□	□
	Priorität	■	■	□
Einbindung in Aktivitäten und Arbeitskreise auf Bundes-, Länder- und EU-Ebene	Umsetzungshorizont	■	□	□
	Kosten	■	□	□
	Priorität	■	■	□
Schaffung einer Projektdatenbank zum Monitoring von umgesetzten sowie geplanten Vorhaben und zur Identifikation von Bedarfen	Umsetzungshorizont	■	□	□
	Kosten	■	□	□
	Priorität	■	■	□
Austausch zwischen Unternehmen und Landesbehörden fördern	Umsetzungshorizont	■	□	□
	Kosten	■	□	□
	Priorität	■	■	□
Organisation von Pitching- und Matchmaking-Veranstaltungen	Umsetzungshorizont	■	□	□
	Kosten	■	□	□
	Priorität	■	■	□
Informationsveranstaltungen vor Ort bei Kommunen	Umsetzungshorizont	■	□	□
	Kosten	■	□	□
	Priorität	■	■	□
Potenzialanalyse von länderübergreifenden Wegeketten im ÖPNV (konventionell und AVF)	Umsetzungshorizont	■	□	□
	Kosten	■	□	□
	Priorität	■	■	□

Tab. 3.6 Übersicht der priorisierten Maßnahmen in der Säule „Information und Wissen“

3.5 Zusammenfassung und Handlungsempfehlung

Der internationale und nationale Wettbewerb um Fachwissen zum AVF schreitet voran. Deutschland ist derzeit führend bei rechtlichen Rahmenbedingungen für autonomes Fahren. Die Heterogenität der Interessen und des Wissens der bundesweiten Akteure erfordert allerdings eine effiziente Organisationsstruktur, um in diesem Wettbewerb weiterhin zu bestehen und die MRH als Innovationsstandort für AVF zu etablieren. Deshalb ist die Schaffung eines IAF eine Chance im Hinblick auf den Innovationswettbewerb. Für die Einführung eines Innovationszentrums Autonomes Fahren ist ein Konzept notwendig, welches diese Rahmenbedingungen im deutschlandweiten Vergleich und die konkreten Bedarfe in der MRH berücksichtigt. Hierzu ist die strategische Ebene zusammen mit der operativen Ebene zu betrachten.

Um die strategische Ausrichtung des IAF zu erarbeiten, wurden im ersten Schritt ähnlich gelagerte Vorhaben, Innovationszentren und Kompetenzhubs evaluiert. Hierbei ist insbesondere auf die starken Aktivitäten in Nordrhein-Westfahlen und Baden-Württemberg zu achten. Basierend auf dem gesetzten Fokus und dem Leistungsspektrum dieser Einrichtungen wurden vier mögliche Alleinstellungsmerkmale identifiziert. Insgesamt decken sich die herausgearbeiteten Alleinstellungsmerkmale mit bisherigen Ergebnissen der Studie, welche eine übergeordnete und gesamtheitliche Strategie für die MRH, verkehrsträgerübergreifende Aktivitäten sowie eine Fokussierung auf gewerbliche Personen- und Gütermobilität ergaben. Im zweiten Schritt, als weiterer Bestandteil der strategischen Ausrichtung, wurde ein Leitbild mit vier ausgearbeiteten Leitsätzen und konkretisierenden Aussagen formuliert, um einerseits die Ergebnisse des OECD-Berichts zur Regionalentwicklung Metropolregion Hamburg und andererseits die strategischen Bedarfe der MRH in die konzeptionellen Überlegungen einfließen zu lassen.

Um die operative Ausrichtung des IAF zu erarbeiten, wurde ein halbtägiger Workshop mit Stakeholdern aus der MRH durchgeführt, mit dem Ziel den möglichen Nutzen und die dafür notwendige Aufstellung des IAF zu erörtern. Als Ergebnis wurde die Notwendigkeit einer übergeordneten Dachorganisation festgestellt, welche einer Plattform zur Entwicklung einer ganzheitlichen Agenda und einer Querschnittsausrichtung über alle Verkehrsträger gerecht werden könnte. Hierbei wurden insbesondere eine aktive Vernetzung, Wissensvermittlung zwischen Wirtschaft, Verwaltung, Politik und Wissenschaft sowie eine initiative Rolle für das IAF, um die operative Ebene des AVF schneller zu erreichen und aktiv Themen und anwendungsbezogene Projekte anzustoßen, hervorgehoben.

Die Ergebnisse der strategischen und operativen Ausrichtung wurden im Folgenden zur Herleitung der möglichen Tätigkeitsschwerpunkte (Maßnahmen) des IAF zusammengeführt und zur Erarbeitung eines modularen Aufbaus des Konzeptes des IAF herangezogen. Dabei wurde ein Aufbau mit zwei Säulen favorisiert, um der Querschnittsfunktion aus gestalterischer und initiativer Perspektive auf der einen Seite und der vernetzenden und beratenden Perspektive auf der anderen Seite gerecht zu werden. Die Säule „Technologie und Mobilität“ steht dabei für die Entwicklung einer ganzheitlichen Strategie für die MRH, Initiierung von anwendungsbezogenen Projekten, Technologietransfer in die Fläche und die Skalierung des Realbetriebs. Die Säule „Information und Wissen“ setzt die Schwerpunkte auf die Vernetzung der Stakeholder, Veranstaltungen, Aufbereitung von

Ergebnissen und deren Kommunikation sowie einen flächendeckenden Kompetenzaufbau. Abschließend erfolgte eine Bewertung von Maßnahmen anhand der Kriterien Umsetzungshorizont, Kosten und Priorität, um Quick-Wins und einen priorisierten Maßnahmenplan zu identifizieren.

Handlungsempfehlung für das Konzept des IAF

1. **Schaffung eines IAF**

Der Aufbau eines IAF stellt eine signifikante Chance für die MRH dar. Im Rahmen eines Workshops wurde ein starkes Bedürfnis der Stakeholder festgestellt, sich über die Sektoren zum AVF in der MRH zu vernetzen. In diesem Zusammenhang bietet eine zentrale Anlaufstelle für Agenda, Transparenz und Wissen das Potenzial eine bisher vorhandene Lücke zu schließen und die Interessen der MRH zum AVF sowohl nach innen als auch nach außen zu vertreten.

Zum anderen ist zu sagen, dass es ähnlich angelegte Vorhaben im nationalen Vergleich gibt, die bereits in die gleiche Richtung schauen oder die Aktivitäten zum autonomen Fahren bereits tangieren. Gemeint sind damit die ÖPNV-Digitalisierungsoffensive in NRW, die am 19.05.2022 beschlossene Entwicklung einer Landesstrategie zum autonomen Fahren in Sachsen-Anhalt[1] und das geplante „Technologie- und Transitionszentrum autonomer öffentlicher Verkehr" (TTaÖV) in Baden-Württemberg[2].

Die MRH kann sich durch das IAF gut in der Vorreiterrolle zu diesen Initiativen positionieren, indem die weiter oben dargestellte strategische und operative Ausrichtung bis 2025 konsequent umgesetzt und durch das IAF fortgeschrieben wird. Wenn es durch eine effiziente Organisationsstruktur gelingt, den Kompetenzaufbau/ -ausbau in der Fläche weiterhin zu forcieren und Integrationshürden durch praxisnahe Regulatorik sowie Interoperabilität abzubauen, können Innovationspotenziale in der MRH zielgerichtet aktiviert werden.

Zudem ist die Schaffung einer zentralen, koordinierenden Schnittstelle zu anderen ähnlich angelegten Vorhaben in Deutschland sinnvoll, um eine insgesamt abgestimmte Entwicklung zu ermöglichen und die Ergebnisse sowohl von außerhalb in die MRH als auch aus der MRH nach außen zu tragen.

Unabhängig vom gewünschten Leistungsportfolio kann ein IAF so organisiert werden, dass der Nutzen die Kosten für die MRH überwiegt, eine effiziente Organisationsstruktur und eine Leuchtturmwirkung für andere Regionen entsteht. Das bedeutet, dass das IAF sukzessive aus ineinandergreifenden und priorisierten Modulen aufgebaut werden sollte, um eine Übertragbarkeit und Skalierbarkeit sicherzustellen und Nutzen stiften zu können. Exemplarische Konzepte hierfür werden in Abschnitt 4 diskutiert. Dementsprechend sollten die kurzfristig anzustoßenden Eckpfeiler sogenannte "Quick-Wins" und strategisch priorisierte Maßnahmen sein. Diese werden im Folgenden Punkt beschrieben.

---

[1] Beschluss des Landtags von Sachsen-Anhalt 11. Sitzungsperiode am 19.05.2022 über den Antrag von CDU, SPD und FDP „Mobilität in Stadt und Land durch autonomes Fahren auch in Zukunft gewährleisten" (Abgerufen am 13.09.2022)

[2] Meldung über die Ausschreibung eines (TTaÖV) durch das Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg vom 18.07.2022 (Abgerufen am 13.09.2022)

2. Fokus auf "Quick-Wins" und priorisierte Maßnahmen

Der erfolgreiche Aufbau eines IAF in der MRH wird durch den empfohlenen modularen Aufbau und zielgerichteten Fokus begünstigt. Unter Berücksichtigung der Rahmenbedingungen (Makro- und Mikroumwelt), der Kosten und des prognostizierten Nutzens werden folgende Module priorisiert (die Liste kann laufend aus den in 3.4 definierten Maßnahmen erweitert werden):

Modul Quick-Wins:

Maßnahme	Beschreibung
Handlungsleitfaden definieren	Detaillierung von Maßnahmen, Identifikation von zu beteiligenden Stakeholdern, Festlegung von Schwerpunkten sowie Prioritäten und Erarbeitung eines Arbeitsplans.
Definition einer regionalen ÖPNV-ODD für den Busverkehr in der MRH	Zielstellung ist die Definition von Betriebsbedingungen, die sich an den Bedarfen in der MRH und nicht an den gegenwärtigen Leistungsgrenzen der AVF-Fahrzeuge orientieren, um den Fahrzeugherstellenden und den Mobilitätsdienstleistenden eine Zukunftsplanung zu ermöglichen und eine Investitionsperspektive zu bieten.
Dialog mit Planungsbehörden zur angemessenen Berücksichtigung des AVF in der Stadt- und Raumplanung	Damit Entscheidungen, die zu großen technischen Herausforderungen für AVF-Fahrzeuge führen würden, vermieden werden können, ist ein Dialog mit Planungsbehörden zu führen, um sie bei Ihrem weit in die Zukunft ragenden Planungshorizont für Themen des AVF zu sensibilisieren.
Prüfung verkehrspolitischer Maßnahmen zur infrastrukturellen Anpassung von Straßen- und Schienenräumen für das AVF	Aufbauend auf dem Dialog mit Planungsbehörden, der Definition der ÖPNV-ODD oder dem Stand der Technik sind verkehrspolitische Maßnahmen zusammenzutragen, die eine Integration von AVF beschleunigen würden.
Erstellung eines Katalogs/ Stakeholder-Börse mit Technologieunternehmen, wissenschaftlichen Einrichtungen und Ansprechpartnerinnen sowie Ansprechpartnern in Politik und Verwaltung für AVF-Themen	Identifikation von Ansprechpartnerinnen sowie Ansprechpartnern, Kompetenzkompass, Projektatlas

Maßnahme	Beschreibung
Verkehrsträgerübergreifende Transparenz hinsichtlich Regulatorik, Technologie erarbeiten	Status Quo hinsichtlich aller Verkehrsträger (Luft, Schiene, Straße, Wasser) zur Identifikation von Synergien, Fortschritt und Bedarfen

Tab. 3.7 **Modul Quick-Wins**

Modul strategische Priorisierung:

Maßnahme	Beschreibung
Entwicklung einer länderübergreifenden Strategie für eine abgestimmte Entwicklung des AVF	Die Erarbeitung einer Strategie solle folgende Themenblöcke abdecken: Festlegung von Mission, Vision, Leitbild und Handlungsfeldern, Definition von mittel- und langfristigen Zielen, Ausformulierung der Maßnahmen und eines Handlungsleitfadens, Bestimmung einer Organisation mit der Verantwortung für die Umsetzung. Die hier vorliegende Studie liefert Grundlagen für die Entwicklung einer länderübergreifenden Strategie und empfiehlt eine Fokussierung auf gewerbliche Personen- und Gütermobilität für die MRH.
Qualifizierung und Beratung von Akteurinnen sowie Akteuren zum AVF im ÖPNV	Mit ausgewählten Qualifizierungsangeboten sollen Stakeholder in der MRH in die Lage versetzt werden Kompetenzen über aktuelle Herausforderungen und Möglichkeiten des AVF aufzubauen. Weiterhin sollen Beratungsangebote als notwendige Lückenfüller und Unterstützungsdienstleitungen bei der Umsetzung fungieren.
Qualifizierung und Beratung von Akteurinnen sowie Akteuren zum AVF im Güterverkehr	
Implementierung von Methoden und Werkzeugen für systematische Streckenanalysen im ländlichen Raum auf Passfähigkeit zum AVF anhand eines Kriterienkatalogs	Entsprechende Methoden wurden am Fallbeispiel in Bad Birnbach implementiert und sind in der folgenden Veröffentlichung beschrieben. ISBN-978-3-662-59406-3 (eBook) https://doi.org/10.1007/978-3-662-59406-3
Schaffung von industriepolitischen Anreizen für die Einführung des AVF	Werben für passgenaue Fördermaßnahmen zur Entwicklung des AVF in der MRH.

Maßnahme	Beschreibung
Vernetzung der Straßenverkehrsbehörden auf Kreis- und Landesebene in der MRH	Zielstellung ist es, durch Vernetzung einen Kompetenzstandard in der MRH sicherzustellen.

Tab. 3.8 **Modul strategische Priorisierung**

3. Operative und strategische Bedarfe in der MRH gleichermaßen berücksichtigen und regelmäßig evaluieren

Die Zusammenführung der strategischen und der operativen Ebenen ist maßgebend für die erfolgreiche Ausrichtung des IAF. Die vorgestellte Methodik für die Ableitung der Tätigkeitsschwerpunkte kann die Entwicklung einer abgestimmten und ganzheitlichen Strategie unterstützen. Die Berücksichtigung der Alleinstellungsmerkmale sichert dabei die Besonderheit im Vergleich zu anderen nationalen Einrichtungen auf der strategischen Ebene. Die Berücksichtigung des Leitbildes sichert auf der anderen Seite den Nutzen der definierten Handlungsfelder und Maßnahmen für die MRH. In den bisherigen konzeptionellen Überlegungen wurden das Leitbild und die darin enthaltenen Leitsätze bewusst offen formuliert, um der Querschnittfunktion und den heterogenen Erwartungen der Stakeholder gerecht zu werden. In Zukunft könnte, nachdem eine abgestimmte Strategie vorbereitet und beschlossen wurde, eine weitere Präzisierung erfolgen, um den Tätigkeitsbereich des IAF weiter zu fokussieren. Die bisher in Abschnitt 3.4 priorisierten Maßnahmen könnten dabei als Handlungsleitfaden genutzt werden. Die wiederkehrende Evaluation und Fortschreibung der Alleinstellungsmerkmale und des Leitbildes bleiben aber essenziell. Dies könnte auf der Führungsebene des IAF vorbereitet und auf der Lenkungsebene beschlossen werden.

4. Ausrichtung des Konzeptes auf die operative Querschnittsfunktion

Die im Rahmen des Konzeptes vorgestellten Säulen des IAF, nämlich „Technologie und Mobilität“ und „Information und Wissen“ erfüllen anhand der Herleitung der inhaltlichen Schwerpunkte eine unabhängige Funktion im Bereich „Gestalten und Initiieren“ und im Bereich „Vernetzung, Beratung, Unterstützung“. Die bisherigen Analysen der Gutachter bestätigen insgesamt den Eindruck, dass die beiden beschriebenen Säulen das notwendige Potenzial aufweisen und ineinandergreifen, um die heterogenen Bedarfe in der MRH zu bedienen. Auf der anderen Seite wird ein ausgewogenes und allumfassendes Konzept zugelassen, um das IAF als ganzheitliche Anlaufstelle für AVF in der MRH zu positionieren.

4. Rahmenplanung für die Realisierung des IAF

Aufbauend auf den Ergebnissen des Abschnitts 3 und der Empfehlung zur Schaffung eines IAF werden im Folgenden eine Umsetzungsplanung, ein Geschäftsmodell und Finanzierungsoptionen dargelegt.

4.1 Umsetzungsplanung für die Realisierung des IAF

Für die Entwicklung einer Umsetzungsplanung sind die konzeptionellen Handlungsempfehlungen aus Abschnitt 3 maßgebend. Für die beiden aus den konzeptionellen Überlegungen definierten Säulen des IAF („Technologische Ausrichtung und Mobilitätsnutzen", „Information und Wissen") soll eine effiziente Organisationsstruktur mit operativer Querschnittsfunktion in der MRH entwickelt werden, um die strategischen und operativen Bedarfe zu erfüllen.
Die folgenden Unterabschnitte betrachten hierzu

- wie eine effiziente Organisationsstruktur organisiert werden könnte,
- welche Funktionen die Organisationseinheiten und welche Anforderungen an das Führungsteam und die Mitarbeitenden bestehen könnten,
- wie eine mögliche administrative Umsetzung gestaltet werden könnte,
- wie eine Integration in die MRH und bundesweite Aktivitäten zu organisieren ist,
- sowie welches Kommunikationskonzept das IAF hierbei unterstützen könnte.

4.1.1 Organisationsstruktur

Die Umsetzung des Konzeptes des IAF erfordert eine zielgerichtete und effiziente Zusammenarbeit auf allen Ebenen. Dies betrifft sowohl die Stakeholder in der Politik, Verwaltung, Regulatorik aber auch Wirtschaft und Wissenschaft. Dafür benötigt das IAF ein starkes und kompetentes Team, welches diese Schnittstellen- und Führungsfunktion kurzfristig erfüllen kann, sowie selbstständig und überzeugend agiert. Die Rollenausprägung „Gestalten und Initiieren" sowie „Vernetzen und Beraten" kann durch eine leitende und eine umsetzende Funktion des IAF erfüllt werden. Eine klare Trennung zwischen Leitungs- und Umsetzungsebene wird als sinnvoll erachtet, um eine entsprechende Abstraktion zur Wahrnehmung von Aufgaben zur Vorbereitung strategischer Entscheidungen sowie Strategieweiterentwicklung auf der Leitungsebene und eine hinreichende Tiefe auf der operativen Seite für die Umsetzungsebene zu erreichen.
Weiterhin ist in diesem Zusammenhang eine Schnittstellenfunktion notwendig, um einerseits eine fachliche Beteiligung der relevanten Stakeholdergruppen bei der Lenkung von Entscheidungsprozessen zu ermöglichen und andererseits die betroffenen Entscheidungsträger in der MRH über die Ergebnisse der strategischen Entscheidungen zu informieren. Im Folgenden wird dargestellt, wie die Zusammenarbeit zu strukturieren ist, um eine sinnvolle Umsetzung zu ermöglichen.

Aus diesen Überlegungen ist eine mögliche Organisationsstruktur in drei Ebenen zu gliedern:

a) Lenkungs- und Strategieebene,

b) Leitungsebene,

c) Umsetzungsebene.

Die detaillierte Betrachtung der Ebenen wird in der folgenden Abb. 4.1 dargelegt.

Funktionsebene	Organisationseinheit	Beschreibung
Lenkungs- und Strategieebene	Lenkungskreis des IAF • Vertreter der Trägerländer • Wirtschaftsvertreter • Wissenschaftsvertreter	• **Beschlussfassung** bei beteiligungsrelevanten Entscheidungen • **Einflussnahme auf die strategische Ausrichtung** des IAF • **Schnittstelle zu verschiedenen Stakeholdergruppen** • Fachliche Begleitung der Leitungsebene
Leitungsebene	Projektleitung des IAF	• **Vorbereitung** von strategischen Entscheidungen • **Berichterstattung** an die Lenkungsebene • **Monitoring** der Umsetzungsebene • **Steuerung** und Unterstützung der operativen Umsetzung
Umsetzungsebene	Teilprojektleitung Technologie und Mobilität Information und Wissen Stabstelle politische Aufgaben	• **Operative Umsetzung** von Maßnahmen • **Dokumentation** der Umsetzung • Berichterstattung an die Leitungsebene

Abb. 4.1 Aufbau der Organisationsstruktur des IAF

4.1.2 Anforderungen an das Team und Funktionen der Organisationseinheiten

Der **Lenkungskreis** ist das beschlussfassende Organ des IAF und sorgt für die Ausrichtung bei relevanten Entscheidungen. Er entscheidet über die strategische Ausrichtung oder die Aufnahme von Handlungsfeldern des IAF und legt priorisierte Maßnahmen fest (siehe Abschnitt 3.4.1, 3.4.2 und 3.5). Darüber hinaus entscheidet der Lenkungskreis über die Abnahme von Ergebnissen und Meilensteinen sowie über die Weitergabe von Entscheidungen an die Gremien der MRH, sollte die Entscheidungsrelevanz dies erfordern. Die Zusammensetzung des Lenkungskreises sollte die Kompetenzen für die strategische Ausrichtung des IAF abdecken, repräsentative MRH-weite Entscheidungen zum AVF herbeiführen können und als Schnittstelle zu verschiedenen Stakeholdergruppen (Politik, Verwaltung, Wirtschaft, Wissenschaft) in der MRH fungieren. Die Zusammensetzung sollte daher aus Vertreterinnen und Vertretern der Trägerländer, der Wirtschaftsverbände des ÖV oder der Verkehrs-/ Technologieunternehmen und der Wissenschaft gewählt werden. Die Projektleitung des IAF sollte in Ihrer Funktion an den Treffen des Lenkungskreises ohne Stimmberechtigung in beratender und berichtender Funktion teilnehmen. Die Treffen des Lenkungskreises sollten in einem regelmäßigen Turnus von ein- bis zweimal im Jahr stattfinden.

Der Vorgang zur Entscheidungsfindung (z. B. Initiierung einer neuen Maßnahme, Abnahme eines Projektes oder eines Handlungsfeldes) im Rahmen eines Lenkungsprozesses sollte mit einer Anfrage durch die Person, die diesen Sachverhalt in die Wege leiten möchte, beginnen. Diese Anfrage ist an die Leitungsebene des IAF zu richten. In einem klärenden Gespräch wird das Anliegen eingeordnet und es wird entschieden, ob der Vorgang eine Beschlussfassung durch den Lenkungskreis erfordert. Dies ist insbesondere der Fall, wenn eine Maßnahme oder ein Handlungsfeld neu eingerichtet, geändert oder abgenommen werden soll. Hierfür erfolgt im Auftrag der Projektleitung die Vorbereitung der Entscheidungsgrundlage durch die Teilprojektleitung für die nächste Tagung des Lenkungskreises. Die Relevanz zur Aufnahme von neuen Maßnahmen oder Handlungsfeldern in das Arbeitsprogram des IAF kann anhand einer Checkliste geprüft werden (siehe Anhang 2), die Bewertungskriterien für eine Einordnung enthält.

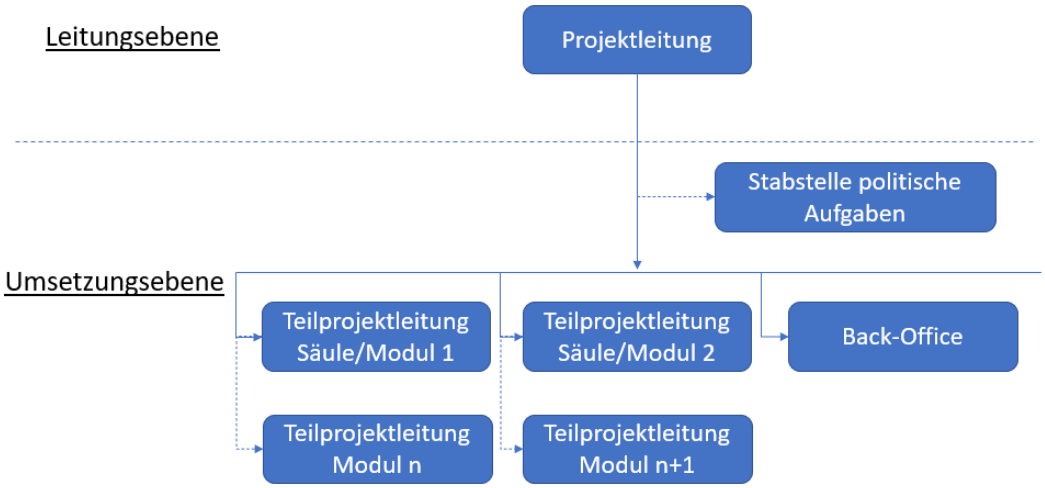

Abb. 4.2 Schematische Darstellung der Leitungs- und der Umsetzungsebene des IAF

In der Grundversion wird von fünf Mitarbeitenden und einer möglichen Skalierung in der Teilprojektleitung in späteren Ausbaustufen ausgegangen.

Die **Projektleitung** des IAF verantwortet den Gestaltungauftrag und setzt die strategische Ausrichtung des IAF um. Dieser Gestaltungsauftrag sieht vor, dass die Leitungsebene des IAF ein Gesamtkonzept und einen Maßnahmenplan erarbeitet und diesen dem Lenkungskreis zur Beschlussfassung vorlegt. Thematisch angrenzende Maßnahmen sollten dabei zu Handlungsfeldern zusammengefasst werden. Die Projektleitung wird von einer Person im Backoffice unterstützt.

Sie steuert und unterstützt bei Bedarf die Umsetzungsebene bei der operativen Entscheidungsfindung, bei organisatorischen oder finanziellen Fragen und dient als Ansprechperson, um Fragestellungen oder Entscheidungsvorlagen auf die Lenkungs- und Strategieebene zu bringen. In dieser Rolle als Bindeglied zwischen dem Lenkungskreis und Umsetzungsebene ist die Projektleitung für das Monitoring der Umsetzungsebene verantwortlich und berichtet an den Lenkungskreis des IAF über den Fortgang der Umsetzungsplanung.

Die **Teilprojektleitung** auf der Umsetzungsebene treibt die konkrete Arbeit (Maßnahmen und Handlungsfelder) des IAF voran. In der Grundversion des IAF sind die Teilprojektleitenden für die ihnen zugewiesenen Säulen und Handlungsfelder verantwortlich. In den späteren Ausbaustufen können einzelne Handlungsfelder oder Maßnahmenpakete als modulare Bausteine des IAF von Teilprojektleitenden besetzt werden. Die Teilprojektleitenden sind erste Ansprechpersonen für die Einhaltung von Umsetzungs-, Budget- und Zeitrahmen sowie gesteckten Zielen und Meilensteinen. Sie setzen die Aktivitäten in ihrem Verantwortungsbereich um und kommunizieren verbal über regelmäßige Treffen oder monatliche Statusberichte mit der Projektleitung über den Verlauf und etwaige Planabweichungen. Zusätzlich ist eine Stabstelle für politische Aufgaben als Schnittstelle zu den Landesbehörden vorzusehen.
In der folgenden Abb. 4.2 sind die Leitungsebene und die Umsetzungsebene schematisch dargestellt, sodass in der Grundversion des IAF von fünf Personen ausgegangen wird. Weitere Skalierung in der Teilprojektleitung in späteren Ausbaustufen ist durch gestrichelte Linien dargestellt.

4.1.3 Mögliche administrative Umsetzung

Eine administrative Umsetzung der weiter oben dargestellten Organisationsstruktur setzt einen Aufbau von Strukturen und von Kapazitäten zur Wahrnehmung von operativen Funktionen voraus. Weiterhin sind fachliche Kompetenzen und eine Vernetzung innerhalb der MRH aufzubauen. Die notwendigen Schritte zur Bewältigung dieser Aufgabe werden im Folgenden dargelegt. Je nach der Intensität der Finanzierung, die in Abschnitt 4.3.1 dieser Studie vorgestellt wird, und vorhandenen Mitteln können mehrere Schritte für die Umsetzungsplanung zusammengefasst werden. Die einzelnen vorgestellten Schritte sind in Ihrer Reihenfolge als Voraussetzung für die nachfolgenden Stufen zu verstehen.
Der **erste Schritt** sollte mit der Anstellung einer Projektleitung für das IAF starten.

Kernaufgaben für die Projektleitung in dieser Phase wären:

- die Erarbeitung einer Strategie für die MRH, die entweder selbst auf Basis der hier vorliegenden Studie durchzuführen oder über einen externen Dienstleister zu beauftragen wäre,
- die Organisation der Lenkungsebene, die der weiter oben definierten Aufgabenstellung gerecht wird und auf der fachlichen Ebene Kompetenzen für die strategische Ausrichtung des IAF repräsentiert,
- die Vorbereitung eines organisatorischen Rahmens für die Zusammenarbeit der Organisationseinheiten über einen Grundsatzvertrag,
- die Sicherstellung der Finanzierung für eine rechtsfähige Organisation.

Eine befristete Anstellung der Projektleitung bei der Geschäftsstelle der MRH oder ein Andocken der Stelle an weitere Projekte der Zukunftsagenda (Innovationsstrategie, Innovationsagentur, Kompetenzcentrum Mobilität) wären zu prüfen.
Bei Bedarf wäre eine externe Beauftragung eines Dienstleisters zur Erfüllung dieser Aufgaben zu berücksichtigen, um z. B. eine größere Ressource für eine schnellere Umsetzung in dieser Phase zu aktivieren.

Für den **zweiten Schritt** könnte mittels einer sichergestellten Finanzierung eine rechtsfähige Organisation gegründet werden, die in Ihrer Funktion die eigenständige Finanzierung der Projektleitung inklusive Backoffice in der Leitungsebene und von Teilprojektleitenden in der operativen Ebene in der Grundversion ermöglicht. Die eingerichtete Rechtsfähigkeit der Organisation würde die Beantragung von Förderungen auf Landes- und Bundesebene erlauben, aber auch eine wirtschaftliche Tätigkeit durch Beratungs- oder Veranstaltungsangebote ermöglichen. Diverse koordinierende, vernetzende, Transparenz schaffende Maßnahmen können in diesem Schritt durch das Personal des IAF umgesetzt werden. Eine unterstützende Beratung durch Fachkundige insbesondere bei der strategischen und projektbegleitenden operativen Umsetzung wäre zu empfehlen.

Kernaufgaben in dieser Phase wären:

- Beschluss und Verfolgung der Umsetzungsstrategie,
- Operative Umsetzung der Säulen des IAF,
- Dokumentation, Berichterstattung und Eigenevaluation,
- Weitere Sicherstellung der wirtschaftlichen Handlungsfähigkeit.

Der **dritte Schritt** basiert auf dem zweiten Schritt mit dem Unterschied, dass die Umsetzungsebene eine Skalierung auf Grund von zusammengefassten Maßnahmen und Handlungsfeldern zu einzelnen Modulen in den Säulen des IAF bekommt und die Teilprojektleitenden nun als Modulmanagende statt Säulenmanagende oder als regionale Portfoliomanagende fungieren.

Kernaufgaben in dieser Phase wären:

- Verfolgung und Weiterentwicklung der Umsetzungsstrategie,
- Operative Umsetzung von Modulen in den Säulen des IAF
- Dokumentation, Berichterstattung und Eigenevaluation,
- Weitere Sicherstellung der wirtschaftlichen Handlungsfähigkeit

4.1.4 Integration in die Metropolregion

Die Strukturen der Metropolregion Hamburg bilden die Grundlage für die Zusammenarbeit in der MRH. Um den Zusammenhalt in der Region nachhaltig zu fördern, arbeiten dabei Staat, Wirtschaft- und Sozialpartnerinnen sowie -partner in gemeinschaftlicher Verantwortung zusammen. Dafür ist die MRH auf folgenden Ebenen organisiert:
Angelegenheiten von grundlegender Bedeutung für die MRH werden durch eine **Trägerversammlung** entschieden. Angelegenheiten von grundlegender Bedeutung sind insbesondere Veränderungen des Gebietes, der Trägerschaft und der Organisationsstruktur der Metropolregion Hamburg. Als operative Instanz zur Unterstützung der Träger der MRH in ihrer regionalen Zusammenarbeit wird eine **Geschäftsstelle** der Metropolregion Hamburg mit Sitz in Hamburg unterhalten.
Dem **Regionsrat** obliegt die strategische Steuerung der Metropolregion Hamburg. Er ist zuständig für Politik und Programmatik der Zusammenarbeit und trifft Entscheidungen in Angelegenheiten, die eine Abstimmung auf Spitzenebene erfordern. Er beschließt die

grundsätzliche strategische Ausrichtung, überprüft deren Zielerreichung und gibt Impulse für die inhaltliche und strukturelle Weiterentwicklung der Zusammenarbeit. Zur Beratung und Begleitung des Regionsrats bei der Erledigung seiner Aufgaben wird er durch einen **Kommunalbeirat** und einen **Unternehmensbeirat** unterstützt.

Dem **Lenkungsausschuss** obliegt die operative Steuerung der Metropolregion Hamburg. Auf Grundlage der Beschlüsse des Regionsrates legt er die operationellen Ziele, Finanzen, Maßnahmen und Projekte fest und überwacht die nachfolgenden Umsetzungsprozesse und ihre Ergebnisse. **Neun Facharbeitsgruppen** unterstützen den Lenkungsausschuss bei der Erledigung seiner Aufgaben. Die Themen, Projekte, Maßnahmen und Veranstaltungen der Facharbeitsgruppen werden im jeweiligen Arbeitsprogramm der Metropolregion Hamburg durch den Lenkungsausschuss bestimmt.

Um eine Integration des IAF in die MRH zu ermöglichen, ist es wichtig, dass die Aktivitäten des IAF mit den Zielen der MRH einher gehen und diese verfolgen. Die Struktur der MRH bildet dafür den notwendigen Rahmen. Somit ist vor allem die strategische Ausrichtung und das zugehörige Kommunikationskonzept im ersten Umsetzungsschritt des IAF auf allen Ebenen der MRH abzustimmen.

Für die operativen Tätigkeiten sollte auf der Arbeitsebene auch mit der MRH-Geschäftsstelle zusammengearbeitet werden.

Die Lenkungsebene des IAF sollte mit der Lenkungsebene der MRH gemeinsam die strategische Zielerreichung durch ein Controlling überwachen. Regelmäßige Vorstellung der Strategie und des Vorgehens an den Lenkungsausschuss oder zugewiesene Fachausschüsse der MRH in berichtender Funktion wären vorzusehen. Eine Verbindungsperson für politische Aufgaben, die als Schnittstelle zu den Gremien in Verwaltung und Politik fungiert und zentral über das IAF oder jeweils über Landesbehörden in den jeweiligen Trägerländern angestellt wird, wird als sinnvoll erachtet.

Ein möglicher Standort einer IAF-Geschäftsstelle wäre aus strategisch operativer Nähe der Aktivitäten bei oder nahe der Geschäftsstelle der MRH. So könnten Synergien und entsprechende politische Verbindungen geschaffen werden. Da im digitalen Zeitalter aber eine physische Nähe nicht zwingend mit einer operativen Nähe gleichzusetzen ist, könnten Synergien und politische Verbindungen auch über Verbindungspersonen an entsprechender Stelle berücksichtigt werden. Weiterhin ist eine Anknüpfung zumindest in der Anfangsphase (siehe Abschnitt 4.1.3 „erster Schritt") an weitere Projekte der Zukunftsagenda (Innovationsagentur, Kompetenzcentrum Mobilität) sinnvoll, um Einsparpotenziale zu aktivieren und aufeinander abgestimmte Ziele zu verfolgen.

4.1.5 Integration in die Testfeldkoordination Autonomes Fahren in Deutschland

Ein essenzieller Bestandteil der Arbeiten eines IAF in der MRH ist die Vernetzung mit anderen Akteuren zum Thema in Deutschland und Nord-/Mitteleuropa und die damit verbundene Möglichkeit eines Wissenstransfers. Das IAF muss sich in die in Deutschland vorhandenen Testfelder zum automatisierten Fahren einbringen und integrieren. Mit diesen Aktivitäten verbunden ist u. a. die Teilnahme an entsprechenden Veranstaltungen, Tagungen, Messen oder Fortbildungen und Arbeitskreissitzungen. Auch die Ausrichtung eigener Veranstaltungen zur Vorstellung eigener Ergebnisse oder zur weiteren Entwicklung im Thema sollte angestrebt werden. Hierzu sind vier Veranstaltungen jährlich eingeplant.

Das IAF sollte als Beispiel für eine gute regionale Vernetzung stehen, die nicht nur auf einen Ballungsraum abzielt, sondern eine ganze und unterschiedlich strukturierte Region umfasst. Dies kann eine passfähige Rolle innerhalb der Testfeldkoordination definieren. Mit dem Integrieren und Einbringen in die deutschlandweit vorhandenen Initiativen ergeben sich entsprechende Informationen hinsichtlich regionaler Förderinitiativen, vorgesehener Projekte sowie diskutierte Regularien bzw. Rahmenbedingungen. Dies kann Akteurinnen und Akteuren im IAF gegenüber entsprechend kommuniziert werden, eine frühzeitige und intensive Einbindung wäre möglich und im Interesse eines sinnvoll platzierten IAF auch sicherzustellen.

4.1.6 Kommunikationskonzept für Außenkommunikation

Das autonome bzw. automatisierte und vernetzte Fahren ist eine der größten Innovationen der heutigen Zeit. Diese Innovation beeinflusst Stakeholder auf allen Ebenen: Betroffene, Interessierte und Nutzende. Diese können weiterhin differenziert werden in Fachpublikum und allgemeine Öffentlichkeit. Um alle Stakeholder bei der Einführung von Innovationen einzubeziehen ist ein Kommunikationskonzept essenziell. Eine wichtige Rolle des IAF ist es auch, über die Ziele, Themen, Anforderungen und Produkte aufzuklären, wofür ein solches Konzept die Basis für eine strategische Presse- und Öffentlichkeitsarbeit bildet. Methoden und Medien, die dabei genutzt werden können, sind sowohl Online- als auch Offline-Formate, wie Websites, Social-Media-Kanäle (Facebook und Instagram), Beteiligungsformate oder Informationsveranstaltungen vor Ort.

Schritte zu einem geeigneten Kommunikationskonzept sind der Aufbau der Strategie und Planung der detaillierten Umsetzungsschritte, aufgebaut auf der Ist-Analyse der Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken. Die Ist-Analyse ist in den vorangegangenen Kapiteln bereits erfolgt.

Ziele, zentrale Botschaften, Zielgruppen und Zwecke der Kommunikation sollten vor der Entscheidung der Medien und Maßnahmen einvernehmlich festgelegt sein. Anschließend kann inhaltlich entschieden werden, wie die Aufbereitung der Informationen sowie deren Veröffentlichungsplanung ausgestaltet werden soll. Eine konkrete Ausgestaltung der Kommunikationsstrategie muss auf Basis der gewählten Module erfolgen.

Zwei Beispiele werden folgend kurz dargelegt:

1. Breite Öffentlichkeit

- Ziel: Aufklärung der breiten Öffentlichkeit zum autonomen Fahren im ÖPNV und Güterverkehr
- Zentrale Botschaften: 1. Autonomes Fahren ermöglicht Mobilität für alle, ermöglicht weiterhin Nutzenden mit eingeschränktem Zugang zu Mobilität mehr Flexibilität und Teilhabe; 2. die Technik ist sicher, aber noch in Weiterentwicklung und daher finden Pilotvorhaben statt, 3. Mobilität für Personen und Güter muss im Sinne einer nachhaltigen und klimagerechten Entwicklung als Gesamtsystem gedacht werden
- Zielgruppen: Nutzende, Nicht-Nutzende, Menschen mit Mobilitätseinschränkung und erschwertem Zugang zu Mobilität
- Zweck: Aufklärung und Akzeptanzschaffung, Abbau von Ängsten sowie Motivation zur Nutzung neuer Angebote

- Medien: Social-Media (Facebook und Instagram), Website und klassische Pressearbeit, ggf. Vor-Ort-Veranstaltungen in Umsetzungsprojekten

2. Fachpublikum, wie Personenverkehrs- und Logistikunternehmen

- Ziel: Aufklärung der breiten Öffentlichkeit zum autonomen Fahren im ÖPNV und Güterverkehr
- Zentrale Botschaften: 1. das IAF gibt fachliche und organisatorische Hilfestellungen, bietet Informationsveranstaltungen zu verschiedenen Themen und ist zentraler Koordinator einer regionalen Strategie, 2. die Region setzt sich für ein innovatives Personen- und Gütermobilitätsangebot ein und will eine Vorreiterrolle einnehmen.
- Zielgruppen: Betreibende ÖPNV und Güterverkehr, Kommunen und andere umsetzungsbezogene Stakeholder
- Zweck: Kommunikation der Module des IAF
- Medien: Social-Media (LinkedIn und Xing), Website, Fachbeiträge in Branchenblättern, Teilnahme an Veranstaltungen, Verbände, klassische Pressearbeit, ggf. Vor-Ort-Veranstaltungen in Umsetzungsprojekten

4.1.7 Gegenüberstellung von Vor- und Nachteilen bei einer Umsetzung des IAF

In den Handlungsempfehlungen des Abschnitts 3.5, Punkt 1 wurde eine Schaffung des IAF empfohlen. In Bezug auf die vorliegende Umsetzungsplanung wurde in Abschnitt 4 ein exemplarisches Umsetzungskonzept für das IAF entwickelt und vorgestellt. Dabei wird von der Intention zur Realisierung ausgegangen. Aus diesem Grund werden im Folgenden Argumente pro und kontra die Umsetzung des IAF tabellarisch zusammengefasst, um final im Rahmen der Studie eine unabhängige Meinungsbildung und Entscheidung zum weiteren Vorgehen zu ermöglichen.

Insgesamt lässt sich in der Argumentation der Tab. 4.1 ein größerer Nutzen für die Metropolregion Hamburg erkennen. Hierzu zählen eine abgestimmte länder- und sektorenübergreifende Strategie, die zu Synergieeffekten bei der Ressourcenbündelung, effizientem Wissensmanagement, mehr Transparenz und damit gesteigerter Innovationsfähigkeit führen könnte. Entscheidendes Kriterium für diese Betrachtung ist das Verhältnis von Kosten zu Nutzen einer übergeordneten Organisation in der MRH.

Im Verlauf der Studie wurden ähnlich gelagerte Initiativen und Vorhaben z. B. das „Technologie- und Transitionszentrum autonomer öffentlicher Verkehr" (TTaÖV) in Baden-Württemberg oder die beschlossene AVF-Strategie in Sachsen-Anhalt deutlich konkreter. Insofern ist es wichtig, dass die MRH, die bisher erarbeiteten Kompetenzen, zielführend und effizient weiterführt, um den Anschluss nicht zu verpassen. Die weitere Entwicklung der gewerblichen Personen- und Gütermobilität sollte aus dieser Perspektive nicht dem Zufall überlassen und übergeordnet für die MRH koordiniert werden.

Ein Konzept zur Eigenevaluation des IAF könnte die Kosten zum erwirkten Nutzen im Rahmen der Tätigkeitsschwerpunkte des IAF gegenüberzustellen. Ansatzpunkte für diese Betrachtungen könnten die bewirkten Investitionen durch Fördergelder und Eigenanteile im Rahmen von Forschungs- und Entwicklungsprojekten, die Anzahl neu angesiedelter und gegründeter Unternehmen, der bewirkte Ausbau von Arbeitsplätzen mit dem Bezug zum AVF, die Anzahl umgesetzter Nutzungsszenarien oder die Menge umgesetzter Maßnahmen und Projekte in der MRH sein.

Kategorie	Argumente **für** die Realisierung	Argumente **gegen** die Realisierung
Organisatorisch	**Einheitliche Strategie** für die Entwicklung der MRH → Nutzung von Synergieeffekten für die angestrebte Mobilitätsgarantie im ländlichen Raum	**Aufbau und Integration einer Organisation**, die strukturell eine Vision durch die verschiedenen Rechte und Zuständigkeiten der vier Trägerländer der MRH realisieren muss, ist aufwändig
	Organisatorische Transparenz → Fehlende Ansprechpartnerinnen und Ansprechpartner, Kompetenzen oder Hilfestellungen können durch eine zentrale und unterstützende Struktur schnell beseitigt werden	**Kein gemeinsames Agieren** in der MRH → ohne kritische Masse verliert das IAF die Vorteile
Ökonomisch	**Synergieeffekte und Ressourcenbündelung** ermöglichen Stakeholdern aus Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft Kostenvorteile und ggf. so überhaupt erst die Möglichkeit an der Thematik AVF teilzunehmen	Anforderungen und Entwicklungen in den Branchen erfordern **individuelle Maßnahmen/ Investitionen** und bergen eigene ökonomische Risiken
Wissensmanagement	**Effizientes Wissensmanagement** → Zentrale Stelle als Wissensbasis und dadurch Ressourcenvorteile, da nicht alle Stakeholder und Wirtschaftssektoren mühsam das gleiche Wissen generieren müssen	Einzelne Wirtschaftssektoren verfügen bereits über **eigene wirtschaftsnahe Strukturen**, die allerdings im AVF unterschiedliche Kompetenztiefe aufweisen
	Beschleunigung der Vernetzung, Weiterbildung und Befähigung der Stakeholder zum Thema AVF (Sektorübergreifend) und so schnellere Umsetzung von Innovationsvorhaben	Koordinierungsaufgaben und Leistungsschwerpunkte des IAF können durch **Clusterorganisationen der Trägerländer** bzw. auf Bundesebene übernommen werden → **alternative Strukturen**
Strategisch	**Steigerung der Innovationsfähigkeit** der Region durch anwendungsbezogene AVF-Projekte und Weiterführung erfolgreicher Ansätze → Sogwirkung durch Rahmenbedingungen	**Projektinitiierung und Strategie zum AVF ist Aufgabe der Wirtschaft** → eigene ökonomische Anreize
	Leuchtturm für länderübergreifende regionale Kooperation im Bereich AVF → Erhöhung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit und Sichtbarkeit für Unternehmen (Anschluss nicht verlieren)	

Tab. 4.1 **Sammlung von Argumenten pro und kontra einer Umsetzung des IAF**

4.2 Geschäftsmodell

4.2.1 Geschäftsmodellkonzeption

Ein Geschäftsmodell ist die konzeptionelle Struktur, die die Lebensfähigkeit eines Unternehmens unterstützt, einschließlich seines Zwecks, seiner Ziele und der laufenden Pläne zu deren Erreichung. In seiner einfachsten Form ist ein Geschäftsmodell eine Spezifikation, die beschreibt, wie eine Organisation ihren Zweck erfüllt.
Um das geeignete Geschäftsmodell für das IAF zu entwerfen, werden die bereits diskutierten Strategieaspekte in den Vordergrund gestellt und berücksichtigt. Das Geschäftsmodell muss aus einem Wertversprechen (einschließlich Kundenbedürfnisse und -nutzen), einer Wertschöpfungsarchitektur (einschließlich anzubietender Dienstleistungen) und einem Erlösmodell bestehen.
Ein gängiges Grundverständnis des Geschäftsmodells ist: Die Organisation entwickelt und liefert effizient und effektiv das Kundenwertversprechen und die Markteinführung, um die Bedürfnisse der Zielkunden besser als die der Wettbewerber zu erfüllen, alles mit dem Ziel, die Mission zu erfüllen.

Dabei beantwortet das Business Model folgende Fragen:

- Wer ist der Kunde?
- Was ist das Nutzenversprechen?
- Wie ist die Wertschöpfung gestaltet?
- Wie sieht das Ertragsmodell aus?

Zur Beantwortung dieser Fragen werden die vorangestellten Analysen, Beratungen und konzeptionellen Betrachtungen verwendet. Um die Komplexität des Geschäftsmodells des IAF zu visualisieren, wird ein Geschäftsmodell-Canvas verwendet. Die Business Model Canvas (BMC) ist ein strategisches Managementinstrument zur schnellen und einfachen Definition und Kommunikation einer Geschäftsidee oder eines Konzepts. Es handelt sich dabei um ein einseitiges Dokument, das die grundlegenden Elemente eines Unternehmens oder Produkts darstellt und eine Idee auf kohärente Weise strukturiert.

Das BMC besteht aus den folgenden Bausteinen:

- Kundensegmente: Unter Kundensegmentierung versteht man die Aufteilung eines potenziellen Kundenstamms in Gruppen von Personen, die sich in bestimmten relevanten Punkten ähneln, wie z. B. Alter, Geschlecht, Interessen und Kaufgewohnheiten und die anschließende Priorisierung, in Abstimmung zum Business-Model.
- Nutzenversprechen: Ist das grundlegende Konzept des Wertaustauschs zwischen dem Unternehmen und den Kundinnen sowie Kunden/Auftraggeberinnen sowie Auftraggebern. Das Nutzenversprechen beschreibt, welches Problem gelöst werden soll und was das Überzeugende am Angebot ist.
- Marktkanäle: Kanäle sind definiert als die Wege, über die Kundinnen sowie Kunden mit einem Unternehmen in Kontakt kommen, über das Wertangebot informiert werden und Teil Ihres Verkaufszyklus wird.

- Kundenbeziehungen: Kundenbeziehungen sind definiert als die Art und Weise, wie ein Unternehmen mit seinen Kundinnen und Kunden interagiert.
- Einnahmeströme: Einnahmen sind definiert als die Art und Weise, wie das Unternehmen das Wertangebot oder die Lösung für das Problem der Kundin oder des Kunden in finanziellen Gewinn umwandelt. Es ist auch wichtig zu verstehen, dass die Preisgestaltung des Unternehmens eine signifikante Rolle einnimmt.
- Schlüsselaktivitäten: Die Schlüsselaktivitäten eines Unternehmens/Produkts sind die Aktionen, die das Unternehmen unternimmt, um das Wertversprechen für die Kundinnen und Kunden zu erreichen.
- Schlüsselressourcen: Es sind die Ressourcen gemeint, die das Unternehmen benötigt, um wirtschaftlich tätig zu sein. Diese Ressourcen werden in der Praxis benötigt, um die Aktionen/Aktivitäten des Unternehmens durchzuführen.
- Schlüsselpartner: Wichtige Partnerschaften sind eine Liste anderer externer Unternehmen/Lieferantinnen und Lieferanten/Parteien, die benötigt werden, um die Schlüsselaktivitäten durchzuführen und der Kundin oder dem Kunden einen Mehrwert zu bieten.
- Kostenstruktur: Die Kostenstruktur beschreibt die Höhe und die Art der Kosten, die entstehen, um die Hauptaktivitäten durchzuführen.

Jeder dieser Blöcke muss genau ausgefüllt und regelmäßig überprüft werden, um sicherzustellen, dass das Geschäftsmodell immer noch korrekt ist - das sollte man tun, bevor man ein Unternehmen gründet.

Business Model Canvas

Schlüsselpartner	Schlüsselaktivitäten	Wertversprechen	Kundenbeziehungen	Kundensegmente

- Regionale AVF-Herstellende und Betreibende
- Universitäten und Forschungszentren
- Ministerien
- Behörden
- Projektträger
- Verkehrsunternehmen
- Betreibende von Personen- und Güterverkehren
- Betreibende von Infrastruktur
- Verkehrsverbünde
- Wirtschaftsfördernde
	- Projektinitiierung
	- Strategieentwicklung
	- Technologietransfer
	- Vernetzung
	- Informations-bereitstellung
	- Beratung
	- Begleitung laufender Projekte
	- Wissenstransfer
	
	Schlüsselressourcen
	- Angestellte
	- Know-How
	- Datenbanken
	- Netzwerk
		- Strategie mit regionalem Fokus für die MRH
		- Verkehrsübergreifende Maßnahmen mit Fokus auf Interoperabilität
		- Fokus auf gewerbliche Personen- und Gütermobilität
		- Akteure der Region unterstützen
		- Synergieeffekte schaffen
		- Attraktivitätswirkung der MRH steigern
			- Events
			- Beratungsleistungen
			- Telefonberatung
			- Sprechstunden
			- Netzwerktreffen
			- Projektorganisation
			
			Marktkanäle
			- Content-Marketing
			- Veranstaltungen
			- Soziale Medien
			- PR
				- AVF Stakeholder aus der Region
				  - Unternehmen
				  - Forschungs-einrichtungen
				- Landkreise/ Städte/ Gemeinden/ Kommunen
				- ÖPNV-Aufgabentragende
				- Behörden
				- Ministerien
				- Bundesweit agierende AVF-Unternehmen
				- Allgemeine Öffentlichkeit

Kosten	Einnahmen
- Löhne und Gehälter - Projektaufwände - Investitionskosten (abhängig von durchzuführenden Maßnahmen) - Schulungskosten (Mitarbeiter Qualifikation) - Kosten für IT-System - Miete - Externe Dienstleistungsaufträge	- Quartalsweise/ monatliche Netzwerkbeiträge - Finanzierung mittels Förderungen - Einzelverträge für Einzelleistungen - Verträge für Innovationsförderung in der MRH

Abb. 4.3 **Business Model Canvas für das IAF**

Die BMC kann in diesem Fall als eine Sammlung und Darstellung der gezogenen Schlussfolgerungen betrachtet werden. Es wird nicht der Anspruch erhoben, die Ableitungen der

Schlussfolgerungen in der einseitigen BMC wiederzugeben. Die Schlüsselaktivitäten und das Wertversprechen stellen, gemeinsam mit den angestrebten Kundenbeziehungen, den Kern des IAF-Konzeptes dar. Diese wurden aus dem durchgeführten Workshop abgeleitet und in der operativen Ausrichtung (Abschnitt 3.2) herausgearbeitet. Die zukünftigen Schlüsselpartner und Kundensegmente stellen eine direkte Schlussfolgerung aus den in Abschnitt 2 betrachteten Potenzialen der MRH dar. Die Schlüsselressourcen, Kosten und Einnahmen des zu konzipierenden IAF wurden in den Abschnitten "Umsetzungsplanung für die Realisierung des IAF" und "Finanzierungsoptionen" (Abschnitt 4.1 und 4.3) herausgearbeitet und begründet. Unter Berücksichtigung der Geschäftsmodellfaktoren wurden passende Marktkanäle ausgewählt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Kern des Geschäftsmodells eine flexible Organisationsstruktur ist, die sich klar auf ihr Leistungsversprechen konzentriert. Die zugrundeliegende Strategie, Vernetzung und Initiative zu verbinden, spiegelt sich im Geschäftsmodell wider. Aus diesem Grund muss das IAF eine eigenständige, rechtsfähige Organisationseinheit sein, die Mittel verwalten, Fördermittel beantragen und Projekte initiieren kann. Durch den modularen Aufbau der Tätigkeitsschwerpunkte muss ein hohes Maß an Flexibilität gewährleistet sein. Das IAF sollte eine Kombination aus Beratung, Netzwerk und Strategie fokussieren. Um diese Rolle zu erfüllen, muss das IAF-Wissen sammeln und über qualifiziertes Personal verfügen.

4.2.2 Rechtsform

Eine Rechtsform gibt aufgrund der gesetzlich vorgegebenen Strukturmerkmale je nach Ausprägung einige Anforderungen an die Organisation vor, um am Wirtschaftsleben teilzunehmen. Die Wahl der Rechtsform kann anhand der wirtschaftlichen bzw. gemeinnützigen Tätigkeit und der Haftungsfähigkeit der Organisation erfolgen. Auf der anderen Seite kann die Rechtsform die Fördermöglichkeiten zur Finanzierung der Organisation beeinflussen. Als Rechtsform kommen generell eine Kapitalgesellschaft, ein Verein oder eine Genossenschaft in Frage. Personengesellschaften werden aufgrund der Vollhaftung mit Gesellschafts- und Privatvermögen im Weiteren nicht betrachtet. Mit diesen drei genannten Rechtsformen können die notwendigen Strukturmerkmale und Flexibilität für die Umsetzung des Geschäftsmodells des IAF gewährleistet werden.

Eine Genossenschaft und ein Verein sind mitgliederorientierte und damit personenbezogene Gesellschaftsformen, was dazu führt, dass jedes Mitglied unabhängig von seiner Beteiligung grundsätzlich nur über eine Stimme verfügt. Bei den Kapitalgesellschaften steht die Kapitalbeteiligung der Gesellschafter im Vordergrund bei der Stimmberechtigung. Zusätzlich kann bei den Kapitalgesellschaften zwischen einer AG, GmbH oder UG typisiert werden, wobei die Umlauffähigkeit der Geschäftsanteile, die Publizitätspflichten und die Höhe des Gründungskapitals die wesentlichen Unterschiede darstellen. Eine GmbH bietet in diesem Zusammenhang eine ausgewogene Gesellschaftsform und wäre den anderen zwei gennannten vorzuziehen. Im Folgenden werden daher nur drei Optionen betrachtet und in der Tab. 4.2 zusammengefasst gegenübergestellt.

Die drei genannten Rechtsformen werden mit Eintragung in das für sie zuständige Register zur juristischen Person und erlangen damit Rechtsfähigkeit. Die GmbH, der eingetragene Verein (e.V.) und die eingetragene Genossenschaft (eG) sind körperschaftlich organisiert, sodass eine Satzung bzw. ein Gesellschaftervertrag (bei GmbH) vorliegen muss.

Kategorie	GmbH	e.V.	eG
Rechtsfähigkeit	Bei Eintragung in Handelsregister und min. ein notariell beurkundeter Gesellschafter	Bei Eintragung ins Vereinsregister und min. sieben Mitgliedern	Bei Eintragung ins Genossenschaftsregister und min. drei Mitgliedern
Verfolgter Zweck	Jeder gesetzlich zulässige Zweck	Keine wirtschaftlichen Ziele als Hauptzweck	Jeder gesetzlich zulässige Zweck zur Förderung von Mitgliedern
Organe der Organisation	Gesellschafterversammlung Geschäftsführer	Mitgliederversammlung Vorstand	Generalversammlung Aufsichtsrat Vorstand
Gesetzliche Vertretung	Geschäftsführer (§35 GmbHG)	Vorstand (§26 BGB)	Vorstand (§24 GenG)
Vermögen der Organisation	Gesellschaftsvermögen gehört der GmbH	Vereinsvermögen gehört dem Verein	Genossenschaftsvermögen gehört eG
Haftung	Gesellschafter haften nicht persönlich; Gesellschaft haftet beschränkt mit dem gesamten Gesellschaftsvermögen	Mitglieder haften nicht persönlich; Haftung beschränkt sich auf das Vereinsvermögen	Satzung regelt, ob Haftungspflicht der Mitglieder besteht; Genossenschaft haftet mit Ihrem Vermögen
Gemeinnützigkeit	Durch eine gGmbH möglich, aber nicht notwendig	Notwendig sonst Entzug der Rechtsfähigkeit	Möglich, aber nicht notwendig
Publizität und Prüfung	Jährliche Veröffentlichung des Jahresabschlusses; Wirtschaftsprüfung ab mittelgroßer Kapitalgesellschaft (§316 HGB)	Keine gesetzlichen Vorgaben und Veröffentlichungspflichten; evtl. Rechnungsprüfung laut Satzung	Jährliche Veröffentlichung des Jahresabschlusses und Prüfung durch Prüfungsverband; Zweijährige Prüfung bei Bilanz < 2 Mio. € und keine Prüfung bei < 1 Mio. €
Rechtsform Kosten	Mittel	Niedrig	Mittel
Einnahmen	Operative Tätigkeit	Mitgliedsbeiträge	Operative Tätigkeit

Tab. 4.2 Vergleich von drei Rechtsformen für das IAF

Während der Gesellschaftsvertrag der GmbH der notariellen Beurkundung bedarf, ist für die Satzung der Genossenschaft und des Vereins die Schriftform ausreichend. Allen drei Rechtsformen sind gesetzlich Organe für die Erfüllung des Organisationszwecks vorgesehen. Bei der GmbH sind dies die Geschäftsführung und die Gesellschafterversammlung, beim Verein der Vorstand und die Mitgliederversammlung und bei der Genossenschaft der Vorstand, Aufsichtsrat und Generalversammlung. Die Genossenschaft und der Verein handeln nach außen durch ihren Vorstand, die GmbH durch die Geschäftsführung. Diesen Organen stehen die eigenverantwortliche Vertretung und die Führung der Geschäfte der Rechtsform zu. Bei der Genossenschaft ist außerdem ein Aufsichtsrat zu bilden, der die Tätigkeit des Vorstands als Kontrollorgan überwacht. Ferner ist für die Genossenschaft charakteristisch, dass die Vorstands- und Aufsichtsratsmitglieder selbst Mitglied bei der eG sein müssen.

Ein- und Austritt von Mitgliedern bzw. Gesellschaftern ist in allen drei Rechtsformen möglich, ohne dass dies auf die Existenz der Gesellschaft Einfluss hat. Allerdings darf eine bestimmte Mindestanzahl nicht unterschritten werden. Bei der GmbH ist es eine Person, beim Verein sind es sieben natürliche Personen und bei der Genossenschaft drei Personen. Wird diese Mindestanzahl unterschritten, kommt es bei der GmbH zur Liquidation, beim Verein zum Entzug der Rechtsfähigkeit und bei der eG zur Löschung.

Die Rechtformkosten für die Gründung, Eintragung und Aufrechterhaltung des Betriebs fallen für die drei diskutierten Optionen unterschiedlich aus. Der eingetragene Verein bedarf kein Eigenkapital zur Gründung und durch das Fehlen gesetzlicher Veröffentlichungspflichten besitzt diese Rechtsform die niedrigsten Rechtsformkosten. Bei der GmbH ist ein Stammkapital von 25.000 Euro gesetzlich vorgegeben. Weiter fallen höhere Kosten durch die Notwendigkeit notarieller Beurkundung und den jährlichen Jahresabschluss. Bei der eG ist keine Mindesthöhe des Gründungskapitals vorgeschrieben. Die eingetragene Genossenschaft löst aber Kosten unter anderem für die regelmäßige Erstellung des Jahresabschlusses und der Prüfung.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der eingetragene Verein bei einer gemeinnützigen Ausrichtung des IAF die Rechtsform mit den niedrigsten Kosten darstellt. Ferner wäre diese Rechtsform zu empfehlen, wenn die unter Abschnitt 4.3.1 dargestellten Kosten über Mitgliedsbeiträge der Trägerländer bereitgestellt und sieben natürliche Personen als Gründungsmitglieder aus der MRH gefunden werden können. Allerdings stellt diese Rechtsform für die Vision eines künftigen IAF, welches organisch wachsen könnte, eine sehr starre Struktur bereit, die Einschränkungen bei der Mittelverwendung und Bildung von Rücklagen mit sich bringt.

Eine wirtschaftliche Tätigkeit eines IAF stellt eine größere Flexibilität (Mittelverwendung, Fördermöglichkeiten, Bildung von Rücklagen, Leistungsangebot) für das Pilotvorhaben in der MRH dar und schafft Möglichkeiten zur Skalierung und ein entsprechendes organisches Wachstum. Dieses Model bietet aus gutachterlicher Sicht Vorteile für die Umsetzung des IAF.

Bei einer wirtschaftlichen Ausrichtung wäre eine eingetragene Genossenschaft oder eine GmbH vorzuziehen, um die zukünftige Handlungsfähigkeit des IAF nicht einzuschränken. Die GmbH stellt dabei eine wirtschaftlich optimale Organisationsstruktur bereit, während bei der eG geringere Gründungskosten anfallen, aber eine aufwändigere Organisations-

struktur mit Aufsichtsrat und Generalversammlung aufzubauen ist. Wichtig ist, dass das IAF in diesem Zusammenhang eine eher übergeordnete koordinierende Funktion in der MRH einnimmt und sich weniger in einen Wettbewerb mit anderen vorhandenen Clustern, Initiativen, Agenturen und Beratungen, die das Thema autonomes Fahren in ihrem Verantwortungsbereich tangieren, positioniert. Das könnte über einen entsprechenden Vermerk zu einer gemeinnützigen Ausrichtung in der Satzung oder eine gGmbH berücksichtigt werden. Für eine eindeutige Präferenz wäre eine Rechtsberatung zu empfehlen.
Als Gesellschafter im Falle einer Gesellschaft oder Genossenschaft könnten drei Vereine fungieren, die die politische Ebene, die Wirtschafts- und Wissenschaftsvertreter für die MRH repräsentieren. Das Projektbüro der Metropolregion Hamburg könnte zum Beispiel als Verein die politische und kommunale Ebene vertreten. Für die Ebene der Wirtschafts- und Wissenschaftsvertreter könnten entsprechende Vereine gegründet werden, deren Mitglieder aus der MRH stammen sollten und aus ihrer Mitte Vertreter für den Lenkungskreis des IAF wählen könnten.

4.2.3 Unsicherheitsfaktoren

In der Tab. 4.3 sollen noch die Unsicherheitsfaktoren für die Geschäftsmodellbetrachtungen evaluiert und tabellarisch zusammengefasst werden. Diese enthalten die Nennung eines entsprechenden Risikos mit einer Bewertung der Wahrscheinlichkeit für das Eintreten (Probabilität) von 1 bis 10, der Bewertung der Tragweite des Risikos als Unsicherheitsfaktor von 1 bis 10 und der Benennung von möglichen Vermeidungsstrategien.

Risiko	Probabilität (1 - 10)	Tragweite (1 – 10)	Vermeidungsstrategie
Geringe Akzeptanz unter den Stakeholdern in der MRH	4	8	Hohes Engagement der Trägerländer auf politischer Ebene, länderübergreifende Zentrale für Wissen im Bereich AVF
Leistungsschwerpunkte passen nicht zur Nachfrage in der MRH	3	8	Enger Kontakt mit relevanten Stakeholdergruppen, Anpassung der strategischen Ausrichtung und der Handlungsfelder, Fokus auf breites Nutzerspektrum
Verzögerung der administrativen Umsetzung	5-6	5	Verfolgung von Quick-Wins und strategischen Prioritäten, Personalaufbau für operative Stärke
Verzögerungen beim Aufbau der Personalkompetenz	5	6	Starkes Kommunikationsmanagement, Synergien mit vorhandenen Stakeholdern aktivieren

Risiko	Probabilität (1 - 10)	Tragweite (1 – 10)	Vermeidungsstrategie
Unsicherheiten bei der Finanzierung der Organisation	3	10	Engagement der Trägerländer und Bundesförderung, Rechtsform an Finanzierungsart anpassen
Geringe Flexibilität der Rechtsform für organisches Wachstum	4	6	Synergien mit vorhandenen Stakeholdern nutzen, Fokussierung auf Kernthemen
Konkurrenzempfinden der vorhandenen Stakeholder	3	6	Vermeidung von Doppelstrukturen, Ausrichtung als gemeinnützige Organisation

Tab. 4.3 **Unsicherheitsfaktoren für das Geschäftsmodell des IAF**

4.3 Finanzierungsoptionen

4.3.1 Finanzplanung

Der Kapitalbedarf für die anfänglichen Investitionen zur Unternehmensgründung und die Betriebskosten werden folgend abgeschätzt.

Investitionskosten [T€]			
Kostenart	**Beschreibung**	**T Euro**	**Anmerkungen**
Gründungskosten	Organisatorisches, Formales	15	Beratung, Anmeldungen/ Genehmigungen, Eintrag ins Handelsregister, Notar, Sonstiges
	Eigenkapital (sofern GmbH)	25	
Ausstattung	Computer, Bildschirme, Tastatur und Maus	10	fünf Arbeitsplätze
Entwicklung der Marke und Außenauftritt	Corporate Design, Initiierung Website, Werbematerial etc.	10	
Gesamt		**60**	

Tab. 4.4 **Investitionskostenabschätzung IAF**

Es wird davon ausgegangen, dass das IAF mit allen bisher vorgeschlagenen Modulen umgesetzt wird. Der Gesamtkapitalbedarf für Anschaffungen und Vorlaufkosten für den Unternehmensstart umfasst voraussichtlich etwa 60 TEUR (siehe Tab. 4.4). Dazu zählen beispielsweise die Gründungskosten und die Ausstattung der Arbeitsplätze.
Die Betriebskosten über drei Jahre werden auf ungefähr 1.67 Mio. € geschätzt (siehe Tab. 4.5). Dazu zählen Personalkosten, Miete, externe Dienstleistungen, Öffentlichkeitsarbeit, fortlaufende Vertragskosten, Netzwerkaktivitäten sowie Roh-, Hilfs und Betriebsstoffe.

Betriebskosten [T€]						
Kostenart	**Beschreibung**	**Gesamt-kosten 3 Jahre**	**Jahr 1**	**Jahr 2**	**Jahr 3**	**Anmerkungen**
Personal-kosten	Teilprojektleitende	315	102	105	108	2 P, Entgeltgruppe 9a Stufe 2, inkl. AG-Kosten
	Büro- und Veranstal-tungsmanagement	139	45	46	48	1 P, Entgeltgruppe 7 Stufe 2, inkl. AG-Kosten
	Verbindungsperson Politik	241	78	80	83	1 P, Entgeltgruppe 13 Stufe 4, inkl. AG-Kosten
	Projektleitung (Ge-schäftsführung)	241	78	80	83	1 P, Entgeltgruppe 13 Stufe 4, inkl. AG-Kosten
	Reisekosten	186	62	62	62	Mobilität und Übernachtungen
Miete Räumlich-keiten	Möblierte Büroräume inkl. Nebenkosten	39	13	13	13	Arbeitsplätze
Externe Bera-tungsleis-tungen	Steuerberatung	6	2	2	2	Jahresabschluss-kosten etc.
	Einkauf Beratungen / Studien /Gutachten z. B. zu rechtlichen Themen oder Be-standsanalysen	300	100	100	100	
Öffent-lichkeits-arbeit	Werbematerial	1,5	0,5	0,5	0,5	Roll-Ups, Beach-flags, Printmateria-lien
	Messeaussteller	30	10	10	10	
Fortlau-fende Vertrags- und Be-treuungs-kosten	Website	3	1	1	1	
	Verträge wie Telefon	7,2	2,4	2,4	2,4	50 € p.P. / Monat
	Softwarelizenzen	3	1	1	1	Office, Zeiterfas-sung, Projektma-nagement usw.
Netzwerk-aktivitäten	Eigene Veranstaltun-gen	60	20	20	20	Veranstaltungen und Workshops für Interessierte, die einmal im Quartal abwechselnd in den Trägerländern stattfinden - Kos-ten: ausschließlich Catering
	Mitgliedschaft Netz-werke	6	2	2	2	
	Teilnahme Veranstal-tungen	93	31	31	31	
Roh-, Hilfs- und Betriebs-stoffe	Bürobedarf und Print	7,2	2,4	2,4	2,4	50€ p.P./Monat

Betriebskosten [T€]						
Kostenart	**Beschreibung**	**Gesamt-kosten 3 Jahre**	**Jahr 1**	**Jahr 2**	**Jahr 3**	**Anmerkungen**
Gesamt		**1.671**	548	557	566	

Tab. 4.5 **Betriebskostenabschätzung IAF**

Dem gegenüber steht die Finanzierung der Kosten durch Grundfinanzierung der Trägerländer der MRH, Förderungen und/oder erwartete Erträge. Dazu werden folgend im ersten Schritt die benötigten Mittel über drei Jahre dargelegt. Sofern keine Bundes-, Landes- oder MRH-Förderung möglich wären, müssten diese Kosten ganzheitlich durch Mitgliederbeiträge, durch Leistungsverträge oder durch eine Finanzierung aus Landesmitteln substituiert werden.

	Jahr 1 [in T €]	Jahr 2 [in T €]	Jahr 3 [in T €]	Gesamt je Position [in T €]
Investitionsaufwand	60	-	-	***60***
Betriebskosten	548	557	566	***1.671***
Kapitalbedarf je Jahr	**608**	**557**	**566**	***1.731***

Tab. 4.6 **Kostenabschätzung über drei Jahre**

Die in Abschnitt 3.4 beschriebenen Maßnahmen erfordern über die reine Grundfinanzierung des IAF zusätzliche Finanzmittel. Nachfolgende Tabelle enthält zusammenfassend die Nennung eines Finanzierungsbedarfs auf die beiden vorgeschlagenen Module in der Grundversion des IAF aufgeteilt.

Modul	Modulbudget [in T €]
Quick Wins	273
Strategische Priorisierung	331
Gesamt	**604**

Tab. 4.7 **Kostenabschätzung in Modulen für die Grundversion des IAF**

Daraus ergibt sich zusätzlicher Finanzierungsbedarf in Höhe von rund 604 Tausend Euro für die ersten drei Jahre.
Voraussetzend für diese Kalkulation wird gesehen, dass das IAF die entsprechende Kompetenz sicherstellt, um die enthaltenen Maßnahmen in den Modulen federführend selbstständig zu bearbeiten. Unter dem Umstand, dass die Personalkapazität oder die Kompetenz extern bereitgestellt werden müssen, wird eine mögliche Erhöhung der Kosten erwartet.

4.3.2 *Finanzierungsmöglichkeiten*

Um das IAF und das dahinterstehende Konzept finanziell zu stützen, wären neben der Vollfinanzierung durch die Trägerländer der Metropolregion Hamburg und dem Förderfond der MRH weitere Möglichkeiten durch Förderprogramme auf Bundes- und Landesebene zu berücksichtigen. Dabei ist zwischen der institutionellen Förderung für das IAF als Organisation und der Maßnahmenförderung für die Umsetzung des Konzeptes des IAF zu unterscheiden. Diese beiden Punkte sollen im Folgenden kurz evaluiert und zusammengefasst dargestellt werden.

Institutionelle Förderung für das IAF

Das Innovationszentrum Autonomes Fahren erfüllt in seiner konzeptionellen Auslegung Kriterien für ein Kompetenzzentrum, ein innovationsorientiertes Netzwerk und eine Einrichtung für Transfer von Wissen und Technologie. Vor diesem Hintergrund sind entsprechende Förderprogramme auf Bundes- und Landesebene von Interesse, um die Teilfinanzierung der Organisation über einen begrenzten Zeitraum zu decken.

Die folgende Tabelle stellt die einzelnen vorliegenden Fördermöglichkeiten im Oktober 2022 dar, ordnet die Passfähigkeit ein und beschreibt die einzelnen Anforderungen.

Fördermöglichkeit	Anforderungen	Passfähigkeit
Innovationsnetzwerk im Rahmen des Zentralen Innovationsprogramms Mittelstand (BMWK)	• Laufzeit von 1 bis 3 Jahren • Zusammenarbeit von mindestens sechs kleinen und mittelständischen Unternehmen in einem technologisch oder regional orientierten Verbund • Netzwerkmanagement als neutraler Intermediär mit Kosten von bis zu 420.000 Euro über die Laufzeit	Gering: • Starker Fokus auf Technologieentwicklung durch den Verbund • Zuschusshöhe begrenzt • Programmlaufzeit bis Dez. 2024
Förderbekanntmachungen im Rahmen des Zukunftsfonds Automobilindustrie (BMWK)	• Aufbau, Erweiterung und Betrieb von thematisch-orientierten regionalen Transformationsnetzwerken, Transformations-Hubs, Transformationsprojekten • Informations-, Skalierungs-, und Vernetzungs-Funktion • Antragsberechtigt sind ausschließlich öffentliche oder nicht gewinnorientiert arbeitende Einrichtungen • Eigenbeteiligung (mindestens 10 % der zuwendungsfähigen Vorhabenkosten	Hoch: • Fokus auf Automobilindustrie mit den Themen autonomes Fahren und Mobilitätsdienstleistungen • Antragsberechtigt sind nur öffentliche oder gemeinnützige Organisationen • Beantragung nur zu Stichtagen einer aktuellen Bekanntmachung • Fondlaufzeit bis 2025

Fördermöglichkeit	Anforderungen	Passfähigkeit
Bundesförderung im Schwerpunkt „Ökosysteme“ des Förderprogramms Entwicklung digitaler Technologien (BMWK)	• Entwicklung volkswirtschaftlich relevanter „Ökosysteme“ in Form von prototypischen, experimentellen Lösungen, die in ihrer Wirkung geeignet sind, ganze Branchen der deutschen Wirtschaft maßgeblich zu beeinflussen • Initiativen und Aktivitäten die offenen Plattformen, Experimental- und Testumgebungen, Hackathons, Qualifizierungsmodule oder partizipative Ansätze, Open-Innovation ermöglichen • Gefördert werden Kooperationsverbünde von leistungsstarken, thematisch fokussierten Partnern ergänzt um ein Netzwerkmanagement	Mittel: • Fokus auf digitale Technologien • Antragsberechtigt sind Verbünde aus Wirtschaft und Wissenschaft • Beantragung nur zu Stichtagen einer aktuellen Bekanntmachung • Programmlaufzeit bis Jun. 2024
Landesförderung in Schleswig-Holstein des Technologie- und Wissenstransfers über die FIT-Richtlinie	• Förderung von innovationsorientierten Netzwerken und Innovation-Hubs • Sitz oder Betriebsstätte in Schleswig-Holstein • Eigenbeteiligung (mindestens 20-30 % der zuwendungsfähigen Vorhabenkosten	Mittel: • Themenoffenheit in der Ausrichtung • Fokus auf Innovationsorientierte Netzwerke • Programm soll 2022 wieder geöffnet werden
Landesförderung in Niedersachsen über das Förderprogramm Digitalisierung im Verkehr	• Vorhaben zur Digitalisierung des öffentlichen Personennahverkehrs und des schienengebundenen Nahverkehrs (ÖPNV/SPNV) • Vorhaben zur Digitalisierung der Logistik • Sitz oder Betriebstätte in Niedersachsen	Nicht geeignet: • Fokus auf F&E Projekte im ÖPNV/ SPNV und in der Digitalisierung in der Logistik • Zuschuss auf 5Mio. € begrenzt • Programmlaufzeit bis Dez. 2023 • Fördermittel sind erschöpft

Fördermöglichkeit	Anforderungen	Passfähigkeit
Landesförderung in der Hansestadt Hamburg über das Programm PROFI Transfer	• Technologie- und Wissenstransfer zwischen Unternehmen und Hochschulen oder Forschungseinrichtungen (PROFI Transfer) • Zuschüsse bis 500.000 € bei Einzelprojekten und 1 Mio. € bei Kooperationsprojekten, Sitz oder Betriebsstätte in Hamburg	Gering • Fokus auf Wissenstransfer zwischen Unternehmen und Forschungseinrichtungen • Zuschusshöhe begrenzt

Tab. 4.8 Überblick über die Fördermöglichkeiten der Institution IAF

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass zwei Fördermöglichkeiten mit hoher Passfähigkeit identifiziert werden konnten. Der Zukunftsfonds Automobilindustrie und das Landesprogramm in Schleswig-Holstein, FIT Richtlinie, bieten einen guten Rahmen für zeitlich beschränkte Förderung des IAF. Hierbei ist festzustellen, dass eine gemeinnützige Ausrichtung der Organisation in einem Fall eine zwingende Voraussetzung darstellt und im Anderen eine Förderquote von bis zu 90% ermöglichen würde. Die anderen dargestellten Optionen weisen aufgrund von Einschränkungen in der Zuschusshöhe, teilweisen Erschöpfung der verfügbaren Fördermittel und der Fokussierung auf Themenbereiche bzw. Forschung und Entwicklung eine niedrigere Passfähigkeit auf, können aber eine Chance für partielle Förderung von Modulen (Maßnahmen, Handlungsfeldern) des IAF darstellen.

Maßnahmenförderung für die Umsetzung des Konzeptes des IAF

Der Finanzierungsbedarf der Maßnahmenpakete in den Säulen des IAF erfordert deutlich höhere Förderintensität im Vergleich zu der Förderung der Organisation. Insbesondere Maßnahmen zur Erhöhung der Technologiereife in der Metropolregion Hamburg und der Skalierung des Realbetriebs im Rahmen von Verbundprojekten sind mit deutlichen Investitionen verbunden, die mit klassischen Förderprogrammen der Bundesministerien unterstützt werden können.

Insgesamt konnten auf der Bundesebene 13 Förderprogramme mit einer Laufzeit von mindestens bis 2024 identifiziert werden. Dazu kommen noch die Ausschreibungen im Rahmen des Programms Horizont Europa auf der EU-Ebene mit regelmäßig auf zwei Jahre angelegtem Arbeitsprogramm. Das aktuell in der Vorbereitung befindliche Arbeitsprogramm für die Jahre 2023 und 2024 liegt noch nicht vor und wird im Dezember 2022 zur Veröffentlichung erwartet. Insbesondere Cluster 5 sollte mit seiner Ausrichtung auf Mobilitätsthemen einige Möglichkeiten zur Förderung des AVF in der MRH bieten.

Die thematische Breite der Ausrichtung der identifizierten Fördermöglichkeiten bietet viel Potenzial für die Umsetzung des Konzeptes des IAF in der MRH. Insofern besteht eine gute Perspektive für die Finanzierbarkeit der konzeptionellen Ausrichtung. Im Folgenden sind die identifizierten Programme alphabetisch geordnet in der Tab. 4.9 aufgeführt.

Nr.	Name der Fördermöglichkeit
1	Autonomes und vernetztes Fahren in öffentlichen Verkehren
2	Ausschreibungen zu Verbundvorhaben im EU Rahmenprogramm Horizont Europa
3	Autonomes und vernetztes Fahren in öffentlichen Verkehren
4	Digitale Testfelder in Häfen
5	Digitalisierung kommunaler Verkehrssysteme
6	Entwicklung digitaler Technologien
7	Forschung und Entwicklung im Bereich der Elektromobilität
8	IKT für Elektromobilität: wirtschaftliche E-Nutzfahrzeug-Anwendungen und Infrastrukturen
9	Innovationen im Schienengüterverkehr
10	Innovative Hafentechnologien II
11	KMU-innovativ: Elektronik und autonomes Fahren/High Performance Computing
12	Maritimes Forschungsprogramm
13	Nachhaltige Modernisierung von Binnenschiffen
14	Neue Fahrzeug- und Systemtechnologien

Tab. 4.9 **Überblick über die Fördermöglichkeiten zur Finanzierung der Maßnahmen des IAF**

4.4 Formulierung von Handlungsempfehlungen

1. Realisierung einer effizienten Organisationsstruktur in der MRH

Innerhalb der MRH bedarf es einer effizienten Zusammenarbeit zwischen Politik, Wirtschaft und Wissenschaft, um eine zielgerichtete Entwicklung im Bereich AVF zu ermöglichen. Dabei ist die Zusammenarbeit so zu strukturieren, dass Schnittstellen für eine fachliche Beteiligung der relevanten Stakeholdergruppen auf allen Ebenen geschaffen werden. Aus dieser Perspektive wäre die Organisation in drei Ebenen sinnvoll. Ein **strategisch ausgerichteter Lenkungskreis sollte** repräsentativen Einfluss auf die Ausrichtung des IAF in Entscheidungsprozessen nehmen können. Zur Vorbereitung von Entscheidungsgrundlagen wäre zudem eine **Leitungsebene** vorzusehen, die als Projektleitung des IAF einen Gestaltungsauftrag wahrnimmt und die Umsetzungsplanung steuert. Zuletzt wäre eine **Umsetzungsebene** aufzubauen, die hinreichende Fachkompetenz entwickeln kann, um die MRH bei ihrem Innovationspfad zu unterstützen. Eine klare **personelle und fachliche Trennung zwischen Leitungs- und Umsetzungsebene** wird als sinnvoll erachtet, um das Aufgabenspektrum mit hinreichendem Aktionsradius wahrnehmen zu können.

2. Integration in die MRH

Zur Kommunikation strategischer Entscheidungen auf der politischen Ebene und zur Vorbereitung von industriepolitischen Anreizen im Bereich AVF wird die **Schaffung einer Verbindungsperson zur Politik in der MRH** angeregt. Diese sollte entweder jeweils direkt bei den involvierten Landesministerien der Trägerländer angesiedelt werden oder eine feste Position im Team des IAF einnehmen.

Die Lenkungsebene der MRH oder zugewiesene Fachausschüsse sollten zudem in regelmäßigem Turnus über die gegenwärtige Strategie, das Vorgehen und die Ergebnisse informiert werden, um ein gemeinsames Agieren mit den Behörden und Verwaltungen in der MRH zu ermöglichen.
Ein weiterer essenzieller Bestandteil des IAF sollte die **Vernetzung der MRH in Deutschland und in Europa** sein. Damit verbunden wäre die Teilnahme an entsprechenden inhaltlich motivierten Abstimmungen in länderübergreifenden Gremien und Arbeitskreisen, Veranstaltungen, Tagungen und Messen. Auch die Ausrichtung eigener Veranstaltungen zur Vorstellung der Strategie und eigener Ergebnisse sollten angestrebt werden.

3. Schrittweise Umsetzung des IAF

In der Innovationslandschaft in anderen Regionen Deutschlands mehren sich die Anstrengungen mit institutionellen oder strategischen Entscheidungen in ähnlich angelegten Vorhaben, sich der Thematik AVF zu nähern. Aus diesem Blickwinkel sind ein **entschlossenes Handeln** und eine **kurzfristige Initiierung der Umsetzung** anzustreben. Bei der Realisierung des IAF ist ein **schrittweises Vorgehen** zu empfehlen, welches an klare Ziele geknüpft ist.

- Handlungsfähigkeit herstellen und Aufbau der Organisationsstruktur
- Aufbau der eigenen Handlungskompetenz und entsprechender Handlungskapazität
- Operative Umsetzung und Weiterentwicklung der Handlungsstrategie

Der erste Schritt sollte mit der Einstellung einer Projektleitung des IAF starten, die befristet bei der Geschäftsstelle der MRH oder an weiteren Projekten der Zukunftsagenda (Innovationsstrategie, Innovationsagentur, Kompetenzcentrum Mobilität) angedockt werden kann.

4. Ausgeprägte Außenkommunikation zur Incentivierung

Das autonome bzw. automatisierte und vernetzte Fahren bieten große Potenziale für die MRH. Diese Innovation beeinflusst Betroffene, Interessierte und Nutzende in der Wirtschaft, Wissenschaft und Politik. Um weitere Anreize für ein gewünschtes Handeln in der Region zu schaffen, wäre die **Umsetzung eines Kommunikationskonzeptes zu empfehlen, welches auf der Ist-Analyse der Stärken, Schwächen, Chancen aufbaut**. Breite Öffentlichkeit und das Fachpublikum in der gewerblichen Personen- und Gütermobilität sind durch **zentrale Botschaften zu Ausrichtung und Zielstellungen des IAF** zu incentivieren.

5. Ein flexibles Geschäftsmodell

Einen wichtigen Punkt für das Geschäftsmodell stellt die Wahl der Rechtsform für das IAF dar. Das IAF sollte die Möglichkeit haben in den Arbeitsschwerpunkten **organisch wachsen** zu können. Daher wäre ein **auf Flexibilität ausgerichtetes Geschäftsmodell und Rechtsform** vorzuziehen. Zudem sollte die Rechtsform so gewählt werden, dass **Finanzierungsquellen aus öffentlichen Fördermitteln** für die Organisation erschlossen werden können. Aus diesem Blickwinkel bieten eine GmbH oder eine eG die beschriebene Formbarkeit und Flexibilität. Wichtig ist, dass das IAF den direkten Wettbewerb mit anderen

vorhandenen Stakeholdern, welche das Thema autonomes Fahren tangieren, vermeidet. Das könnte über einen entsprechenden Vermerk zu einer **gemeinnützigen Ausrichtung in der Satzung** geschehen.
Damit das IAF sich auf Ihr Leistungsversprechen gegenüber der MRH konzentrieren kann, ist zudem eine **eigenständige, rechtsfähige Organisationseinheit** zu empfehlen. In der Aufbauphase könnte eine **befristete Anknüpfung an weitere Projekte der Zukunftsagenda** der MRH (Kompetenzcentrum Mobilität, Innovationsstrategie, Innovationsagentur) sinnvoll sein, um Synergiepotenziale und ein abgestimmtes Vorgehen sicherzustellen. Entsprechende Gespräche mit den Projektverantwortlichen signalisierten Sinnhaftigkeit dieses Vorgehens.

6. Grundfinanzierung des IAF über Haushaltsmittel der Trägerländer prüfen

Ein entschlossenes Vorgehen bei der Umsetzung des IAF-Konzeptes setzt eine Handlungssicherheit über einen gewissen Zeitraum, z. B., um notwendige Strukturen und Kompetenzen aufzubauen, voraus. Vor diesem Hintergrund wäre eine Finanzierung der Grundversion des IAF aus Haushaltsmitteln der Trägerländer der MRH über einen Zeitraum von mindestens drei Jahren sinnvoll. Die realen Unsicherheiten einer Beschaffung von Fördermitteln zur Herstellung der Handlungsfähigkeit stehen einem entschlossenen und zielstrebigem Handeln des IAF entgegen, können aber zusätzliche Finanzierungsquellen für einzelne Module, Maßnahmen und anwendungsbezogene Projekte des IAF darstellen. Hierzu wurden diverse Möglichkeiten zur Institutionellen- und Maßnahmenförderung in Abschnitt 4.3.2 identifiziert.
Besonders in der Anfangsphase sollten Synergien mit anderen Projekten der Zukunftsagenda zur Ressourcenbündelung geprüft werden.

5. Glossar

4G:	4G ist die vierte Generation der Breitband Mobilfunknetztechnologie
5G:	5G ist die fünfte Generation der Mobilfunktechnologie
AFGBV:	Autonome-Fahrzeuge-Genehmigungs- und-Betriebs-Verordnung
Agglomerationseffekte:	Als Agglomerationseffekte werden in der Regionalökonomie die Effekte von Verdichtungsgebieten oder Agglomerationen bezeichnet.
Agora Verkehrswende:	Agora Verkehrswende ist ein Thinktank der Stiftung Mercator und der European Climate Foundation
AIM:	Anwendungsplattform intelligente Mobilität
ALKS:	Automatisiertes Spurhaltesystem
ATO:	Automatic Train Operations ist der automatisierte Fahrbetrieb, bei dem die Zugsteuerung ganz oder teilweise vom Fahrtrechner übernommen wird.
AVF:	automatisiertes und vernetztes Fahren
BASt:	Bundesanstalt für Straßenwesen
BiDiMove:	Forschungsprojekt - Bidirektional, Multimodal, Vernetzt
BMC:	Business Model Canvas
BMWi:	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
BMWK:	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
CCR:	California Code of Regulations
CT Altenwerder:	Container Terminal Altenwerder
CTA:	Container Terminal Altenwerder
CVC:	California Vehicle Code
DLR:	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
DMV:	Department of Motor Vehicles
DSGVO:	Datenschutzgrundverordnung
EDDY:	Forschungsprojekt - European Digital Dynamic Mapping
EFRE:	Europäischer Fonds für regionale Entwicklung
ETCS:	ETCS steht für European Train Control System und ist ein Zugbeeinflussungssystem und grundlegender Bestandteil des zukünftigen einheitlichen europäischen Eisenbahnverkehrsleitsystems.

ETSI:	ETSI steht für European Telecommunications Standards Institute
FAS:	Fahrassistenzsysteme
FIT:	Förderrichtlinie Anwendungsorientierte Forschung, Innovationen und Technologietransfer in Schleswig-Holstein.
FMVSS:	Federal Motor Vehicle Safety Standards
GAIA-X-Familie:	GAIA-X zielt auf ein offenes, transparentes und sicheres digitales Ökosystem nach europäischen Grundsätzen, in dem Daten und Dienste zur Verfügung gestellt werden und genutzt werden können.
GHz:	Gigaherz
GVZ: Güter gen	Güterverkehrszentren sind Logistik-Zentren, in denen zwischen unterschiedlichen Verkehrsträgern umgeschla- werden.
HAP:	Hauptarbeitspaket
HAW:	Hochschule für angewandte Wissenschaften
HEAL:	Forschungsprojekt Hochautomatisiert-gEsellschaftlich-nAchfrageorientiert-Ländlich
HEAT:	Forschungsprojekt - Hamburger Electric Autonomous Transportation
Heatmap:	Eine Heatmap ist eine grafische Darstellung von Daten, die ein Farbcodierungs-system verwendet, um verschiedene Werte darzustellen.
HFM:	Hanseatische Fahrzeugmanufaktur
HHLA:	Hamburger Hafen- und Logistik AG
IAF:	Innovationszentrum Autonomes Fahren
IEEE 802.11p:	Standard der IEEE-802.11-Norm, um die WLAN-Technik in Personen-Kraftfahrzeugen zu etablieren
IKT:	Informations- und Kommunikationstechnologie
Intermediär:	Ein Intermediär ist ein Vermittler zwischen mehreren Stakeholdern.
intermodale Systeme: ren	Intermodales System schafft die Verknüpfung von mehre- Verkehrsträgern oder Verkehrsmitteln.
Interoperabilität:	Fähigkeit unterschiedlicher Systeme, möglichst nahtlos zusammenzuarbeiten
ITL:	Institut für Technische Logistik
ITS:	Intelligent Transport Systems

KEP:	KEP-Dienste (Kurier-, Express- und Paketdienste) sind Logistik- und Postunternehmen.
Lichtraumprofil:	Ein Lichtraumprofil bezeichnet eine definierte Umgrenzungslinie für die senkrechte Querebene eines Fahrweges (beispielsweise von Straßen oder Bahn-Gleisen).
LiDAR:	Light Detection and Ranging ist eine auf Laserstrahlen basierte Methode zur Umgebungserfassung.
Liquidation:	Eine Liquidation bezeichnet die Abwicklung einer Gesellschaft durch den Ver-kauf aller Vermögensgegenstände, der Begleichung aller Schulden und die Verteilung der verbleibenden Geldmittel an die Anteilseigner.
LSA:	Lichtsignalanlage
LSA-Status:	Gemeint ist der Status des Lichtzeichens einer Lichtsignalanlage.
LTE:	Long-Term Evolution ist ein Mobilfunk-Standard
Modal Split:	Als Modal Split wird in der Verkehrsstatistik die Verteilung des Transportaufkommens auf verschiedene Verkehrsträger oder Verkehrsmittel genannt.
Monokulare:	Als Monokular wird ein optisches Instrument bezeichnet, welches für die Betrachtung mit einem Auge konzipiert ist. 13; Monokulare; Als Monokular wird ein optisches Instrument bezeichnet, welches für die Betrach-tung mit einem Auge konzipiert ist.
MP:	Megapixel
MRH:	Metropolregion Hamburg
MS-Forms:	Microsoft-Forms
NAF-Bus:	Nachfragegesteuerter autonom fahrender Bus
ODD:	Der Betriebsbereich inklusive der Konditionen, unter de-nen ein automatisiertes Fahr-zeug sicher betrieben wer-den kann und die Verkehrssituationen beherrscht, wird üb-licherweise mit der englischsprachigen Bezeichnung „Operational Design Domain“ (kurz ODD) beschrieben.
OECD:	Organization for Economic Co-operation and Develop-ment
OEM:	Original Equipment Manufacturer
Operationalisierung:	legt fest, wie ein theoretisches Konstrukt beobachtbar und messbar gemacht werden soll
ÖPNV:	Öffentlicher Personennahverkehr
PBefG:	Personenbeförderungsgesetz

PflVG:	Pflichtversicherungsgesetz
PKI:	Public Key Infrastructure
POI:	POIs sind punkthafte Geoobjekte, die für den Nutzer einer Karte oder eines Navigationssystems Bedeutung haben könnten.
Rebound-Effekt: man	Al Rebound-Effekt (auch Bumerang-Effekt) bezeichnet Effekte in der Ökonomie, die dazu führen, dass das Einsparpotenzial z. B. durch das geändertes Nutzer-verhalten nicht oder nur teilweise verwirklicht wird
SAE:	Society of Automotive Engineers
SAFARI:	Sicheres automatisiertes und vernetztes Fahren mit selbstaktualisierenden Karten im Testfeld Berlin Reinickendorf
Sensorfusion:	Sensorfusion bezeichnet die Verknüpfung der Ausgabeda-ten mehrerer Sensoren
SPNV:	Schienenpersonennahverkehr
Stakeholder:	Person oder Gruppe, welche Interesse am Verlauf oder Ergebnis eines Projektes hat
StVG:	Straßenverkehrsgesetz
TaBuLa:	Testzentrum für automatisiert verkehrende Busse im Kreis Herzogtum Lauenburg
TAVF:	Teststrecke für automatisiertes und vernetztes Fahren
Telematikeinheiten:	Technik, welche die Bereiche Telekommunikation und Information verknüpft
TEUR:	Tausend-Euro
TRL:	Technology Readiness Level ist eine Skala zur Bewertung des Entwicklungsstandes von neuen Technologien
TTaÖV:	Technologie- und Transitionszentrum autonomer öffentli-cher Verkehr
TUHH:	Technische Universität Hamburg
UMTS:	Universal Mobile Telecommunications System
Umweltverbund: der	Unter dem Begriff Umweltverbund wird die Kooperation umwelt-freundlichen Verkehrsmittel verstanden.
UNECE:	United Nations Economic Commission for Europe
V2I:	Vehicle to Infrastructure ist ein Kommunikationsmodell, welches das Teilen von Informationen zwischen Fahrzeugen und Infrastrukturkomponenten erlaubt.
V2X:	Vehicle2x oder Car2x ist eine Technik, bei der Fahrzeuge mit Ihrer Umwelt und unter-einander kommunizieren können

Valet-Parken:	Valet-Parken ist eine Dienstleistung, bei der das Fahrzeug gegen Gebühr vom Parkdienst eingeparkt wird.
VDV:	Verband Deutscher Verkehrsunternehmen
VHH GmbH:	Verkehrsbetriebe Hamburg Holstein GmbH
VRR:	Verkehrsverbünde Rhein-Ruhr

6. Anhang 1

Vorstellung der vier beispielhaften Szenarien eines IAF, welche in Gruppenarbeit am 28.07.2022 im halbtägigen Workshop diskutiert wurden. Die konzeptionelle Ausprägung der Szenarien erfolgte dabei anhand von Eigenschaftspaaren, die auf Basis der vorangestellten Untersuchungen erarbeitet wurden. Die Verschneidung unterschiedlicher Eigenschaftspaare wurde eingesetzt, um erforderliche Tätigkeitsschwerpunkte in der MRH in dem jeweiligen Szenario zu erfahren. Basierend auf der Diskussion mit den Stakeholdern wurde ein erster Eindruck zu möglichen Ausprägungen des IAF gewonnen und konzeptionelle Prioritäten erarbeitet.

Szenario 1: Die MRH ist der deutschlandweit führende Innovations-Hotspot für Automation im Bereich der Personen- und Gütermobilität

Inhalte: Die MRH steht für eine deutschlandweit außerordentlich fördernde und stützende Innovationslandschaft für Unternehmen, die für Automatisierungsprozesse und -systeme relevante Produkte entwickeln, herstellen und vertreiben.

Rolle: MRH in koordinierender Rolle

Abb. 6.1 **Vorbereitetes beispielhaftes Szenario 1 für die Gruppenarbeit im Workshop**

Szenario 2: Die MRH ist der deutschlandweit führende Anwendungs-Hotspot für Automation, insbesondere im öffentlichen Verkehr (Fokus Intermodalität)

Inhalte: Die MRH steht für eine Umgebung, die Inbetriebnahme und Betrieb automatisierter Systeme in jeder Beziehung initiiert, fördert und formal, finanziell und organisatorisch unterstützt, wobei die Priorität bei Vorhaben im ÖPNV liegt.

Rolle: MRH in koordinierender, initiativer, aktiver organisierender Rolle

Abb. 6.2 **Vorbereitetes beispielhaftes Szenario 2 für die Gruppenarbeit im Workshop**

Szenario 3: Die MRH bildet ein umfassendes und organisiertes Netzwerk in Deutschland für ÖPNV und Transportlogistik im Bereich des automatisierten Fahrens

Inhalte: Die MRH steht für das Netzwerk zum automatisierten Fahren im ÖPNV und in der Transportlogistik. Das Netzwerk ist selbst vernetzt mit den anderen Akteuren außerhalb der MRH und bündelt Informationen und Kontakte für alle am automatisierten Fahren im ÖPNV und in der Transportlogistik Interessierten. Sie bildet damit sinngemäß eine "Spinne im Netz".

Rolle: MRH in aktiver und inhaltlich fundierter Rolle mit Schwerpunkt im Vernetzen und Informieren von Akteuren

Abb. 6.3 **Vorbereitetes beispielhaftes Szenario 3 für die Gruppenarbeit im Workshop**

Szenario 4: Kompetenzzentrum und Accelerator für Wirtschaftsförderung im Bereich AVF

Inhalte: Die MRH bündelt Kompetenzen im automatisierten Fahren und unterstützt Unternehmen beim Initiieren von Aktivitäten in diesem Themenfeld. Dabei geht es vorrangig um die Ansiedlung in der MRH neuer und um die Unterstützung in der MRH vorhandener Unternehmen und um den Erwerb hierfür erforderlicher Kompetenzen in der MRH und insbesondere bei der MRH selbst.

Rolle: MRH in inhaltlich und organisatorisch führender Rolle

Abb. 6.4 **Vorbereitetes beispielhaftes Szenario 4 für die Gruppenarbeit im Workshop**

7. Anhang 2

Für die Aufnahme ins Arbeitsprogramm des IAF könnten Maßnahmen, Handlungsfelder und Projektideen anhand der nachfolgenden Checkliste geprüft werden.

Pflichtanforderungen		
Erfüllung von mindestens einem Alleinstellungsmerkmal des IAF		Pflichtfeld
Vorgespräch mit der Projektleitung hat stattgefunden		Pflichtfeld
Entscheidungsgrundlage mit Skizze, Rollen und Zuständigkeiten liegt vor		Pflichtfeld
Bewertungskriterien		**Punktanzahl**
Erfüllung von Leitsatz 1 Mobilitätsgarantie durch AVF		1
Erfüllung von Leitsatz 2) Vernetzung der Stakeholder und regionale Synergien		1
Erfüllung von Leitsatz 3) Schaffung einer Wissenszentrale für AVF		1
Erfüllung von Leitsatz 4) Sogwirkung durch AVF-Rahmenbedingungen		1
Einstufung der Erfolgswahrscheinlichkeit	gering	1
	mittel	2
	hoch	3
Einstufung der Kosten	gering	-1
	mittel	-2
	hoch	-3
Einstufung des Umsetzungshorizontes	kurzfristig	-1
	mittelfristig	-2
	langfristig	-3
Für welches Trägerland ist dieser Vorschlag relevant?	HH	1
	NI	1
	MV	1
	SH	1
Das Ziel ist verständlich und messbar formuliert		1
Es stehen ausreichend Kapazitäten und Budget zur Verfügung		1

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1	(Land-)Kreise und kreisfreie Städte der Metropolregion Hamburg	7
Abb. 1.2	Schematische Übersicht zu Automatisierungsstufen nach SAE3016J	10
Abb. 1.3	Die drei internationalen Stufen der rechtlichen Rahmenbedingungen für Deutschland	24
Abb. 1.4	Schematische Darstellung relevanter Stakeholder in der MRH bei der Einführung des AVF	48
Abb. 2.1	MRH-Pendelbeziehungen	54
Abb. 2.2	Anzahl der Abfahrten im ÖPNV in der MRH	56
Abb. 2.3	Regionale Erreichbarkeit in der MRH.	57
Abb. 2.4	SWOT-Matrix für Personenverkehr	61
Abb. 2.5	Auszug aus dem norddeutschen Streckennetz für Lang-Lkw	65
Abb. 2.6	SWOT-Analyse für den Güterverkehr in der MRH	70
Abb. 2.7	SWOT-Analyse für den inter- und multimodalen Verkehr in der MRH	77
Abb. 3.1	Identifizierte Alleinstellungsmerkmale für ein IAF in der MRH	94
Abb. 3.2	Schematische Darstellung des Innovationszentrums Autonomes Fahren	101
Abb. 4.1	Aufbau der Organisationsstruktur des IAF	111
Abb. 4.2	Schematische Darstellung der Leitungs- und der Umsetzungsebene des IAF	112
Abb. 4.3	Business Model Canvas für das IAF	120
Abb. 6.1	Vorbereitetes beispielhaftes Szenario 1 für die Gruppenarbeit im Workshop	139
Abb. 6.2	Vorbereitetes beispielhaftes Szenario 2 für die Gruppenarbeit im Workshop	139
Abb. 6.3	Vorbereitetes beispielhaftes Szenario 3 für die Gruppenarbeit im Workshop	140
Abb. 6.4	Vorbereitetes beispielhaftes Szenario 4 für die Gruppenarbeit im Workshop	140

Tabellenverzeichnis

Tab. 1.1 Übersicht zur Technologiereife und Raumkategorien der AVF-Projekte in der MRH. 36
Tab. 1.2 Übersichtstabelle zu Szenarien der AVF-Projekte in der MRH. 36
Tab. 1.3 Übersichtstabelle zu Zielen und Herausforderungen der AVF-Projekte in der MRH. 37
Tab. 1.4 Definierte Fokusgruppen zur Auswahl von Fachkundigen für die Interviews. 40
Tab. 1.5 Technologieansätze für Manöverplanung im Bereich AVF 41
Tab. 1.6 Mögliche Fahrzeugklassen, die in den nächsten zehn Jahren einen Automatisierungsgrad Level 4 erreichen. 43
Tab. 2.1 Personenverkehr SO-Strategie (Matching-Taktik) 62
Tab. 2.2 Personenverkehr WO-Strategie (Umwandlungstaktik) 62
Tab. 2.3 Personenverkehr ST–Strategie (Neutralisierungstaktik) 63
Tab. 2.4 Personenverkehr WT–Strategie (Vermeidungstaktik) 64
Tab. 2.5 Güterverkehr SO-Strategie (Matching-Taktik) 71
Tab. 2.6 Güterverkehr WO-Strategie (Umwandlungstaktik) 71
Tab. 2.7 Güterverkehr ST–Strategie (Neutralisierungstaktik) 73
Tab. 2.8 Güterverkehr WT–Strategie (Vermeidungstaktik) 73
Tab. 2.9 Inter- und multimodale Verkehre SO-Strategie (Matching-Taktik) 78
Tab. 2.10 Inter- und multimodale Verkehre WO-Strategie (Umwandlungstaktik) 78
Tab. 2.11 Inter- und multimodale Verkehre ST-Strategie (Neutralisierungstaktik) 78
Tab. 2.12 Inter- und multimodale Verkehre WT–Strategie (Vermeidungstaktik) 79
Tab. 2.13 Übersicht der Anwendungsfälle im Bereich ÖPNV 81
Tab. 2.14 Übersicht der Anwendungsfälle im Bereich des Güterverkehrs 83
Tab. 3.1 Innovations- und Forschungszentren in Deutschland zur Thematik AVF-Mobilität 91
Tab. 3.2 Merkmale zu einer möglichen Abgrenzung des Innovationszentrums Autonomes Fahren 92
Tab. 3.3 Matrixrepräsentation von Maßnahmen zur Erfüllung der strategischen Alleinstellungsmerkmale 98
Tab. 3.4 Matrixrepräsentation von Maßnahmen zur Erfüllung der strategischen Leitsätze 100
Tab. 3.5 Übersicht der priorisierten Maßnahmen in der Säule „Technologie und Mobilität“ 103
Tab. 3.6 Übersicht der priorisierten Maßnahmen in der Säule „Information und Wissen“ 104
Tab. 3.7 Modul Quick-Wins 108
Tab. 3.8 Modul strategische Priorisierung 109
Tab. 4.1 Sammlung von Argumenten pro und kontra einer Umsetzung des IAF 118
Tab. 4.2 Vergleich von drei Rechtsformen für das IAF 122
Tab. 4.3 Unsicherheitsfaktoren für das Geschäftsmodell des IAF 125
Tab. 4.4 Investitionskostenabschätzung IAF 125
Tab. 4.5 Betriebskostenabschätzung IAF 127

Tab. 4.6 Kostenabschätzung über drei Jahre 127
Tab. 4.7 Kostenabschätzung in Modulen für die Grundversion des IAF 127
Tab. 4.8 Überblick über die Fördermöglichkeiten der Institution IAF 130
Tab. 4.9 Überblick über die Fördermöglichkeiten zur Finanzierung der Maßnahmen des IAF 131

Impressum

Gefördert durch die Förderfonds
der Metropolregion Hamburg

Herausgebende Organisation:
Metropolregion Hamburg
Alter Steinweg 4, 20459 Hamburg
info@metropolregion.hamburg.de
metropolregion.hamburg.de

Federführung:
Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Arbeit, Technologie
und Tourismus des Landes Schleswig-Holstein
Referat 40, Grundsatzfragen Verkehrspolitik
und Radverkehr
Düsternbrooker Weg 94, 24105 Kiel
schleswig-holstein.de

Auftraggebende Organisation:
Projektbüro Metropolregion Hamburg e.V.
c/o Geschäftsstelle der Metropolregion Hamburg
Alter Steinweg 4, 20459 Hamburg
metropolregion.hamburg.de

Auftragnehmende:
EurA AG
Max-Eyth-Straße 2
73479 Ellwangen
www.eura-ag.com

Dr. Viktor Schneider (Projektleitung)
Ivo Cipriani

Interlink GmbH
Wallstraße 58
D-10179 Berlin
www.interlink-verkehr.de

Holger Michelmann
Julia Wolf
Liss Böckler

Titelfoto:
© Dominik Pietzko
Stand: November 2022