

Machbarkeitsstudie zum hochautomatisierten Fahren im öffentlichen Straßenpersonennahverkehr (ÖPNV) in der Hansestadt Bremen

**Ergebnisbericht im Rahmen des EU-Interreg
Projektes *Automated Road Transport-Forum*
(A.R.T-Forum)**

21.09.2022

ART-Forum is a transnational EU funded project, co-funded within the North Sea Region (NSR), Interreg VB

Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangslage und Aufgabenstellung	3
2	Status Automatisiertes/autonomes Fahren im ÖPNV	3
2.1	Einführung.....	3
2.2	Automatisierungsstufen	5
2.3	Betriebsformen	6
2.3.1	Linien-Modus mit Zwangshalt an jeder Haltestelle	6
2.3.2	Linien-Modus mit Bedarfshalt	7
2.3.3	On-Demand-Modus (Rufbus)	7
2.3.4	Mischformen	7
2.4	Gesetz zum autonomen Fahren	8
2.4.1	Nationales Genehmigungs- und Zulassungsverfahren	8
2.4.2	Technische Aufsicht.....	9
2.4.3	Haftung	9
2.5	Verkehrliche und infrastrukturelle Anforderungen sowie Handlungsbedarfe	10
2.5.1	Bedarf	11
2.5.2	Car2X-Kommunikation.....	11
2.5.3	Mobilfunk.....	12
2.5.4	Haltestellen	12
2.5.5	Abstellen und Laden, Instandhaltung und Reinigung.....	12
3	Überprüfung der Machbarkeit für die Darstellung von ÖPNV-Modelllinien mit hochautomatisierten „PeopleMovern“	13
3.1	Strecke 1: Werderinsel: Werderstraße – Kuhhirtenweg -Werderstraße	13
3.1.1	Strecken-Profil	14
3.1.2	Detaillierte Untersuchung der Machbarkeit Strecke 1	1
3.2	Strecke 2: Rablinghausen-Lankenauer Höft/Fähranleger	7
3.2.1	Srecken-Profil.....	7
3.2.2	Detaillierte Untersuchung der Machbarkeit Strecke 2	1
3.2.3	Srecke 3: Huckelriede – Roland Klinik – Huckelriede.....	5
3.2.4	Strecke 4: Tabakquartier Bremen Neustadt	6
3.2.5	Strecke 5: Bremen Ortsteil Strom	6
4	Perspektive eines fahrerlosen Betriebs	7
4.1	Beitrag zur Klimaneutralität: Ziele der Enquetekommission	7

1 Ausgangslage und Aufgabenstellung

Autonom bzw. automatisiert¹ verkehrende Fahrzeuge sind verfügbar und werden weltweit in vielen Anwendungsfällen sowie unterschiedlichen Anwendungsumgebungen getestet und oftmals auch bereits im Regelbetrieb eingesetzt. Damit ergeben sich für die interessierten Gebietskörperschaften, Gewerbebetriebe, Parkbetreiber, Institutionen mit großen Liegenschaften und auch die im öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) tätigen Verkehrsunternehmen neue Möglichkeiten in der Organisation, Konzeption und Durchführung von Verkehren.

Kostengünstige automatisierte Busse mit geringen Kapazitäten können in Zukunft helfen, Lücken im Angebot des heutigen ÖPNV zu schließen. Dies gilt sowohl für die Verdichtung des Fahrplanangebotes auf Nebenstrecken als auch für die Entwicklung von Zubringerlinien zur Verdichtung der Haltestellennetze und somit zur Verkürzung der Fußwege zur Haltestelle.

Auf fünf von der Hansestadt Bremen vorgeschlagenen Strecken wird in dieser Machbarkeitsstudie untersucht, ob der Einsatz automatisierter Busse überhaupt denkbar ist. Zwei Strecken werden in Hinblick auf die Machbarkeit eines automatisierten Busverkehrs abschnittsweise und detailliert untersucht.

2 Status Automatisiertes/autonomes Fahren im ÖPNV

2.1 Einführung

Die Digitalisierung begleitet die Menschen durch den gesamten Alltag und spielt im Verkehrs- und Mobilitätssektor eine große Rolle, wo schon jetzt verschiedene digitale Anwendungen die Wahl der Verkehrsmittel bzw. Mobilitätsdienstleistungen und die Wegführung der Kunden beeinflussen. Das Potenzial für eine gesteigerte Qualität der Mobilität und eine nachhaltige Verkehrswende ist groß, wenngleich die Forderung nach einer umfangreichen Transformation des Verkehrssektors unsere Gesellschaft vor eine höchst anspruchsvolle Aufgabe stellt.

Die technologischen Entwicklungen rund um das autonome Fahren können dazu beitragen, den Zugang zur Mobilität zu sichern sowie den Verkehr effizienter, emissionsarm und sicherer zu gestalten. Für den Bereich des Öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) ergeben sich dabei ganz neue Herausforderungen.

Mit dem hochautomatisierten bzw. autonomen Fahren bietet sich perspektivisch eine neue Flexibilität in der Umsetzung von Angebotskonzepten, insbesondere durch Bedarfsverkehre. Diese litten bisher unter dem hohen Kostenanteil des Fahrpersonals sowie geringer Nachfrage. Durch den Einsatz autonomer Shuttle-Busse ergeben sich neue Möglichkeiten, um die Konzepte attraktiver zu gestalten. Grundlage ist hier ein Angebot, welches ohne Fahrplan sowie ohne feste Route auskommt und der jeweilige Bedarf beispielsweise über ein mobiles Endgerät angemeldet sowie gebucht werden kann. Ein Algorithmus berechnet dabei die ideale Strecke, um mehrere Personen gemeinsam befördern zu können. Ganz wesentlich bei diesem Ansatz ist die Betrachtung der „letzten Meile“ bzw. „ersten Meile“. Zukünftig werden die hochautomatisierten und autonomen Fahrzeuge mit Hilfe digitaler Anwendungen bedarfsabhängig und möglichst individuell verkehren können, um nachfragearme Gebiete mit

¹ Erläuterungen zu den unterschiedlichen Begrifflichkeiten sind dem Kapitel 1 zu entnehmen.

Knotenpunkten oder starken Linien (Bahnhof, Straßenbahn- oder Bushaltestelle, P&R-Platz) zu verbinden. Per Smartphone (oder per Knopf am Haltestellenmast) kann das Fahrzeug bzw. der Haltewunsch angefordert werden.

Verschiedene Anwendungsfälle mit automatisierten Systemen im ÖV sind bereits seit Jahren erfolgreich im Einsatz, darunter autonome Bahnsysteme auf eigenen Trassen, z. B. in Nürnberg (U-Bahn) und Düsseldorf (Flughafen). Autonome Straßenbahnen werden z. B. in Frankfurt am Main und Potsdam (Straßenbahn) getestet und eine Reihe von Testprojekten im Busverkehr erfolgt mit großen Linienbussen, z. B. von Nobina und Scania in Stockholm. Einen anderen Entwicklungspfad stellt die zunehmende Automatisierung von Personenkraftwagen (Pkw) dar, also die Weiterentwicklung von Fahrerassistenzsystemen,² auf die in dieser Studie nicht weiter eingegangen wird.

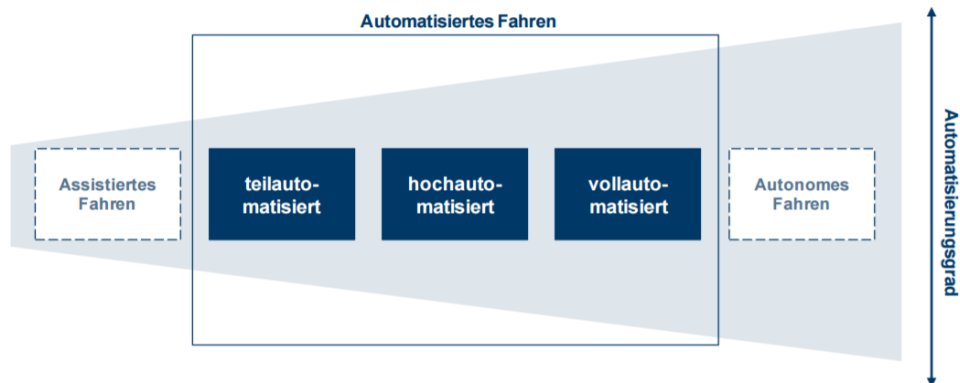
Die automatisierten Shuttle-Busse wurden und werden schon in vielen Forschungsvorhaben getestet, sodass die Technologie so weit entwickelt ist, dass sie nunmehr auch unter den realen Bedingungen des öffentlichen Straßenverkehrs Anwendung finden kann. Beispielsweise werden in Sion (Schweiz) im Projekt "SmartShuttle" seit Juni 2016 von dem Verkehrsunternehmen PostAuto zwei Minibusse auf einem sehr anspruchsvollen Rundkurs von etwa 1,5 km Länge durch die Altstadt im öffentlichen Raum eingesetzt. In Bad Birnbach fährt die DB seit Oktober 2017 mit zwei Fahrzeugen auf einer 2,1 km langen Strecke zwischen Ortszentrum, Therme und Bahnhof. Das Berliner Projekt STIMULATE führt seit April 2018 auf zwei Campi der Charité – Universitätsmedizin Berlin (Mitte und Virchow-Klinikum) den Betrieb von zwei Verkehren mit je zwei Fahrzeugen durch. Das NAF-Bus Projekt in Nordfriesland und Dithmarschen nimmt seit Juni 2018 mit insgesamt drei Klein- und Minibussen schrittweise den Betrieb im privaten und öffentlichen Verkehr auf. In Lauenburg/Elbe erfolgte der Aufbau eines Testzentrums für automatisierte Verkehre (Projekt TaBuLa). Die Inbetriebnahme von verschiedenen Streckenvarianten startete im Oktober 2019. Zahlreiche weitere Beispiele gibt es in der gesamten Nordseeregion.

Nichtsdestotrotz hat der Einsatz dieser Fahrzeuge auf öffentlichen Straßen noch Erprobungscharakter, sowohl was die Fahrzeug- und Ladetechnik als auch die damit umsetzbaren Verkehrskonzepte betreffen. Nicht nur für die Verkehrsunternehmen und Kommunen sind die autonomen Betriebe noch Neuland, sondern auch für die Genehmigungsbehörden und technischen Prüfstellen. Um negative Effekte der Digitalisierung in der Mobilität zu verhindern ist es essenziell, dass Kommunen, Städte und weitere einflussreiche Institutionen einen wesentlichen Beitrag zur Gestaltung der Digitalisierung im Rahmen der Verkehrswende beitragen und diese steuern.

² Begrifflichkeit im internationalen Kontext: ADAS-Systeme (Advanced Driver Assistance Systems)

2.2 Automatisierungsstufen

Automatisiert fahrende Fahrzeuge und somit auch als Shuttle fungierende Busse sind mit technischen Systemen ausgestattet, die die Beförderung von Personen und den Transport von Gütern weitgehend ohne menschliche Interventionen ermöglichen. Die verbleibende Rolle des Fahrers variiert dabei je nach Automatisierungsgrad, wobei das autonome Fahren die höchste Stufe darstellt. Beim autonomen Fahren erfüllt das System sämtliche Fahraufgaben vom Start bis zum Ziel selbstständig. Ein Fahrer ist daher aus technischer Sicht nicht mehr erforderlich.



Beim **teilautomatisierten Fahren** übernimmt das System sowohl die Längs- als auch die Querführung des Fahrzeugs für einen gewissen Zeitraum oder in spezifischen Situationen. Das System muss jedoch nach wie vor von einer Person dauerhaft überwachen werden, die jederzeit zur vollständigen Übernahme der Fahraufgabe in der Lage ist.

Wesentliches Unterscheidungsmerkmal **hochautomatisierter Fahrfunktionen** im Vergleich zu den vorangegangenen Automatisierungsstufen ist, dass das Fahrzeug die Längs- und Querführung für einen gewissen Zeitraum oder in spezifischen Situationen übernimmt und Fahrer das System nicht mehr dauerhaft überwachen müssen. Sie müssen dabei jedoch immer in der Lage sein, die Fahraufgabe nach Aufforderung mit einer angemessenen Zeitreserve wieder vollständig und sicher zu übernehmen.

Bei **vollautomatisierten Fahrfunktionen** übernimmt das System die Fahrzeugführung in einem definierten Anwendungsfall vollständig und bewältigt alle damit verbundenen Situationen automatisch. Außerhalb des Anwendungsbereichs liegt die Fahraufgabe beim Fahrer.

Beim **autonomen (fahrerlosen) Fahren** als höchste Automatisierungsstufe übernimmt das System das Fahrzeug vollständig vom Start bis zum Ziel. Alle im Fahrzeug befindlichen Personen sind in diesem Fall Passagiere.

Abbildung 1 Klassifizierung der kontinuierlichen Fahrzeugautomatisierung, Quelle: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2015). Strategie automatisiertes und vernetztes Fahren: Leitanbieter bleiben, Leitmarkt werden, Regelbetrieb einleiten, S. 6,

Für die Ausprägung der Automatisierung im Fahrzeug existieren verschiedene Definitionen. Von der Bundesregierung wurde gemeinsam mit dem „Runden Tisch Automatisiertes Fahren“ ein Verständnis über die verschiedenen Automatisierungsstufen entwickelt (siehe Abbildung 1). Diese Klassifizierung stellt die Unterschiede zwischen assistiertem, automatisiertem und autonomem Fahren heraus und geht dabei auf den zunehmenden Automatisierungsgrad ein.

Im internationalen, aber auch im nationalen Kontext, wird häufig die Definition der SAE International (ehemalige Bezeichnung Society of Automotive Engineers, deutsch „Verband der Automobilingenieure“) herangezogen. Hierbei werden fünf Automatisierungslevels von 0 bis 5 unterschieden. Das SAE-Level 0 entspricht dem komplett fahrgesteuerten Fahren. Der in der Klassifizierung der Bundesregierung als „Assistiertes Fahren“ beschriebene Automatisierungsgrad entspricht dem SAE-Level 1, „teilautomatisiert“ dem Level 2 usw.

Derzeit gibt es in Deutschland aus technischen und rechtlichen Gründen noch keinen Anwendungsfall auf öffentlichen Straßen, bei dem automatisierte Shuttlebusse ohne Begleitpersonal (auch Sicherheitsfahrer, Steward oder Operator genannt) unterwegs sind. Das automatisierte System muss dauerhaft von einem Fahrzeugführer überwacht werden. Gemäß § 1b StVG besteht für die Begleitperson die Verpflichtung dazu, die Fahrzeugsteuerung unverzüglich wieder zu übernehmen, wenn das System dazu auffordert oder wenn sie erkennt oder aufgrund offensichtlicher Umstände erkennen muss, dass die Voraussetzungen für eine bestimmungsgemäße Verwendung der hoch- oder vollautomatisierten Fahrfunktionen nicht mehr vorliegen. Auf privaten Wegen gelten diese Einschränkungen nicht. Auch der Stand der Technik ist noch nicht vollständig ausgereift. Die Fahrzeuge fahren nur auf im Vorhinein einprogrammierten Strecken entlang eines Referenzpfades oder -schlauches und können Hindernisse nicht selbständig umfahren.

Die Fahrzeuge sind demnach je nach Auslegung teil- oder hochautomatisiert im Einsatz und nur für genau definierte Strecken zugelassen. Vorgesehen ist jedoch, dass in einem erlernten Gebiet das Fahrzeug vollständig alle darin vorkommenden Situationen automatisch bewältigt. In diesem Fall kann es als vollautomatisiert bezeichnet werden. Erst wenn Start und Ziel nicht auf ein vorher gelerntes Umfeld beschränkt sind, kann vom autonomen Fahren gesprochen werden.

Trotz der aktuellen Herausforderungen gilt die Etablierung autonomer Fahrzeugsysteme im Mischverkehr mit konventionellen Fahrzeugen in den kommenden Jahren als sehr wahrscheinlich.

2.3 Betriebsformen

Derzeit sind vier Betriebsformen für den Einsatz eines automatisierten Shuttle-Systems denkbar und teilweise bereits umsetzbar. Diese werden nachfolgend beschrieben:

2.3.1 Linien-Modus mit Zwangshalt an jeder Haltestelle

Linienbetrieb mit Halt und Türöffnung an jeder Haltestelle

Auf Basis der eingemessenen Strecken und der definierten Haltestellen ist ein Betrieb nach Fahrplan möglich, aber nicht notwendig. Bei der obligatorischen Bedienung von Haltestellen hält der Bus an jeder für die Linie aufgeführten Haltestelle und öffnet die Tür, unabhängig von tatsächlichen Ein- und Ausstiegswünschen. Grundsätzlich sind beliebig viele verschiedene Linienwege und Fahrzeitprofile möglich, so dass eine Anpassung an Verkehrsnachfrage, Betriebskonzept und Betriebsform möglich ist.

2.3.2 Linien-Modus mit Bedarfshalt

Linienbetrieb mit Halt und Türöffnung an Haltestellen nur bei Bedarf

Im Fall der bedarfsabhängigen Bedienung der Haltestellen hält der Bus nur bei einer Anmeldung des Bedarfs an und öffnet dann die Tür. Die Anmeldung des Bedarfs kann auf verschiedene Weise erfolgen, wie beispielsweise durch eine App, durch ein ortsfest installiertes Eingabegerät (z. B. Schalter, Knopf, ortsfestes Tablet) oder Betätigen der Haltewunschtaaste im Fahrzeug. Die in den derzeit konventionell betriebenen Fahrzeugen mit Fahrer genutzte Methode der Sichtkontrolle, ob ein Fahrgast an der Haltestelle steht, kann bei automatisierten Shuttles grundsätzlich nur kurzfristig genutzt werden, da langfristig kein Fahrzeugbegleiter mehr vorhanden sein wird. Es ist darauf zu verweisen, dass sowohl bei ortsfest installierten Eingabemöglichkeiten als auch bei einer Bestellung über eine App jeweils eine entsprechende Software mit einer Schnittstelle zu den Fahrzeugen hinterlegt sein muss, sodass die Ansteuerung des Fahrzeugs ermöglicht wird.

2.3.3 On-Demand-Modus (Rufbus)

Flächenbetrieb gemäß Bedarf mit Halt und Türöffnung an Haltestellen oder auf freier Strecke

Der automatisiert gesteuerte Bus kann entsprechend der Betriebsform „Rufbus“ im klassischen ÖPNV eingesetzt werden. Auf Basis eines für diesen Bus freigegebenen Netzes aus Straßen und definierten Haltestellen (beispielsweise vor jeder Haustür) ist ein Betrieb ohne Fahrplan möglich. Dabei bündelt die hinterlegte Rufbus-Software Fahrtwünsche, damit sich möglichst viele Fahrtwünsche auf eine Fahrt konzentrieren. Beim Zu- und Ausstieg abseits von Haltestellenbereichen ist die Barrierefreiheit gesondert zu betrachten und sicherzustellen. Auch in dieser Betriebsform melden die Fahrgäste ihren Fahrtwunsch bei Bedarf über eine App oder per Telefon an. Aufgrund der Bindung des Fahrzeuges an eine zugelassene, einprogrammierte Strecke – nach dem heutigen Stand der Technik – ist dieser Betriebsmodus noch nicht umsetzbar.

2.3.4 Mischformen

Die beschriebenen Betriebsformen können zeitlich und räumlich differenziert eingesetzt werden. Eine zeitliche Differenzierung kann sinnvoll sein, wenn in nachfragestarken Verkehrszeiten die Betriebsform „Linien-Modus mit Zwangshalt an jeder Haltestelle“ oder „Linien-Modus mit Bedarfshalt“ mit Anmeldung per ortsfest installiertem Eingabegerät ohne Anmeldezwang sinnvoll ist, aber in Schwachverkehrszeiten die Betriebsweise „On-Demand-Betrieb“ dem Bedarf besser entspricht. Eine räumliche Differenzierung kann sinnvoll sein, wenn es einen nachfragestarken Streckenabschnitt gibt und abgelegene Streckenteile oder Haltestellen nur sporadisch angefahren werden müssen. In diesem Fall kann eine Fahrt auf verschiedenen Streckenabschnitten unterschiedliche Betriebsformen aufweisen.

Die Linien-Modi mit Zwangshalt an jeder Haltestelle und mit Bedarfshalt entsprechen den Kriterien des Linienverkehrs gemäß § 42 PBefG und eine Genehmigung des automatisierten Busverkehrs als Linienverkehr ist daher unproblematisch. Lediglich im fahrplanfreien On-Demand-Betrieb mit einem Fahrgastwechsel an Haltestellen oder auf freier Strecke ergeben sich die gleichen Schwierigkeiten wie bei einem „konventionellen“ Rufbusverkehr im vollflexiblen Flächenbetrieb („On-Demand“), da sie weder den Kriterien eines Linienverkehrs noch denen eines Gelegenheitsverkehrs entsprechen.

Im Fall einer Beförderung, die nicht alle Merkmale einer Verkehrsart oder Verkehrsform erfüllt, kann eine Genehmigung nach den Vorschriften des PBefG erteilt werden, denen die Beförderung am meisten entspricht. Insofern entscheidet die zuständige Genehmigungsbehörde im Rahmen ihres Beurteilungsspielraums, ob der automatisierte Betrieb im On-Demand-Betrieb entweder als atypischer

Linien- oder als atypischer Gelegenheitsverkehr genehmigt werden kann. Eine Novellierung des PBefG hierzu ist absehbar, aber noch nicht verbindlich formuliert.

Auf die derzeit möglichen Betriebskonzepte mit autonomen Shuttle-Bussen hat der technische Stand große Auswirkungen. Kein verfügbares automatisiertes Shuttle-System kann bzw. darf zum jetzigen Zeitpunkt im öffentlichen Raum räumlich bedarfsorientiert fahren. Hierfür bedarf es zugelassener Korridore und einer entsprechenden Kommunikation zwischen Fahrzeug und Kunde. In den meisten aktuellen Einsatzfällen von hochautomatisierten Shuttles wird im Linienverkehr zunächst mit obligatorischen (Linien-Modus mit Zwangshalt an jeder Haltestelle) oder mit bedarfsabhängigen Haltestellen (Linien-Modus mit Bedarfshalt) gefahren.

2.4 Gesetz zum autonomen Fahren

Der Deutsche Bundestag hat im Mai 2021 dem „Gesetz zum autonomen Fahren“ zugestimmt und damit Änderungen sowohl des Straßenverkehrsgesetzes (StVG) als auch des Pflichtversicherungsgesetzes (PflVG) zugestimmt. Die Änderungen betreffen unter anderem die Bereiche des Genehmigungs- und Zulassungsverfahrens, die Anforderungen an die Technische Aufsicht als auch die Haftungsfrage.

2.4.1 Nationales Genehmigungs- und Zulassungsverfahren

Als erstes Land weltweit werden in Deutschland seit Inkrafttreten des Gesetzes sowohl die Genehmigung als auch der Betrieb von Kraftfahrzeugen mit autonomen Fahrfunktionen im großen Maße reguliert. Das zuständige BMDV (Bundesministerium für Digitales und Verkehr) legt dafür ein dreistufiges, aufeinander aufbauendes Genehmigungs- und Zulassungsverfahren zugrunde.

Dieses bezieht die Bereiche der Zulassung für autonome Fahrzeuge, die Zulässigkeit des autonomen Betriebes innerhalb festgelegter Betriebsbereiche und den Anspruch an die technische Aufsicht mit ein und wird in der AFGBV (Autonome-Fahrzeuge-Genehmigungs-und-Betriebs-Verordnung) geregelt. Für die Praxis bedeutet das:

a. Betriebserlaubnis

Im ersten Schritt wird das Kraftfahrtbundesamt (KBA) zur zentralen Anlaufstelle. Hier muss der Fahrzeughersteller eine nationale „Betriebserlaubnis für ein Kraftfahrzeug mit autonomer Fahrfunktion“ beantragen. Die Erlaubnis wird erteilt, wenn die gesetzlichen Anforderungen aus StVG und AFGBV erfüllt sind, das Fahrzeug also über eine entsprechende technische Ausstattung verfügt. Der Hersteller ist ebenfalls für die Betriebserlaubnis und die entsprechende Verwendung des Fahrzeuges verantwortlich. Er bestimmt die Betriebsbedingungen und ODD (Operational Design Domain), also den zulässigen Betriebsbereich des Fahrzeuges.

b. Betriebsbereiche

Im nächsten Schritt wird auf Basis der in der Betriebserlaubnis gestatteten Nutzung durch den Fahrzeughalter eine Betriebsbereichsfestlegung bei der zuständigen Landesbehörde beantragt. Der Betriebsbereich (ODD) legt den „örtlich und räumlich bestimmten öffentlichen Straßenraum³“ fest, in dem das Fahrzeug betrieben werden darf.

c. Zulassung

Im dritten Schritt, auf städtischer bzw. kommunaler Ebene, erfolgt dann die örtlich beschränkte Zulassung der Fahrzeuge. Diese richtet sich nach den allgemeinen Vorschriften und erlaubt den autonomen Betrieb folglich nur dort, wo er örtlich festgelegt und zugelassen ist.



Abbildung 2: Zulassungsverfahren, Gesetz zum autonomen Fahren

2.4.2 Technische Aufsicht

Eine weitere Änderung, die mit Inkrafttreten des Gesetzes zum autonomen Fahren festgelegt wurde, betrifft die technische Aufsicht über den autonomen Betrieb. Während es bisher erforderlich war, einen Operator an Bord des Fahrzeuges zu haben, der zu jeder Zeit in der Lage war, in kritischen Situationen einzugreifen, so ist mit Inkrafttreten des neuen Gesetzes eine technische Aufsicht erforderlich. Diese natürliche Person muss nicht permanent in Wahrnehmungsbereitschaft sein, kann allerdings das Fahrzeug deaktivieren oder Manöver freigeben. Das Fahrzeug muss in der Lage sein, innerhalb der ODD alle erforderlichen Aufgabenstellungen selbst ausführen zu können. Bemerkenswert ist, dass das Gesetz Spielraum zulässt, die Aufsicht aus der Ferne durch eine Person für mehrere Fahrzeuge zuzulassen. Dieser kosteneffiziente Ansatz kann besonders für gewerbliche Anbieter einen erheblichen Vorteil darstellen. In der Praxis stellt dies aber sowohl Verkehrsunternehmen, Kommunen und Unternehmen vor personelle Herausforderungen, denn nur „wer staatl. Geprüfter Techniker:in bzw. einen akademischen Abschluss im Bereich Maschinenbau, Kraftfahrzeugtechnik (...) oder Luft- und Raumfahrt verfügt“ ist laut aktuellem Verordnungsentwurf für die Rolle der Technischen Aufsicht geeignet.

2.4.3 Haftung

In diesem Zusammenhang spielt die ebenfalls neu geregelte Haftungsfrage eine wichtige Rolle. Die Fahrerhaftung für die Technische Aufsicht fällt mit dem neuen Gesetz weg, was bedeutet, dass das

³ Gesetz zum autonomen Fahren § 1d Abs. 2 (2)

Fahrzeug selbst die Steuerungsebene bedient und die Technische Aufsicht lediglich die Aufsicht über den technisch-sicheren Betrieb des Fahrzeuges übernimmt. Die Technische Aufsicht agiert folglich stets aus einem risikominimalen Zustand heraus.

2.5 Verkehrliche und infrastrukturelle Anforderungen sowie Handlungsbedarfe

Aus dem Mischverkehr, insbesondere in der Stadt und im Überlandverkehr außerhalb von Autobahnen, ergeben sich hohe Anforderungen an das autonome Fahren. Die größten Herausforderungen stellen aktuell noch bei der Signalverarbeitung, durch Wettereinwirkungen, dem bedarfsgesteuerten Fahren und der Kommunikation zwischen Fahrzeugen und Straßeninfrastruktur sowie mit anderen Verkehrsteilnehmern, so dass das autonome Fahren aus technischen Gründen derzeit noch nicht umsetzbar ist.

Der Betrieb mit den aktuell verfügbaren Fahrzeugen der in Europa aktiven Herstellern wie EasyMile, NAVYA, e.GO MOOVE, Hanseatische Fahrzeugmanufaktur (HFM) und 2getthere (u. a.) setzt das Einmessen der jeweiligen Strecke und das Programmieren der jeweiligen Fahrzeugfunktionen voraus. Die Fahrzeuge fahren auf den eingemessenen Strecken in wenig komplexen Umgebungen entlang eines Referenzpfades/-schlauches. Die Hersteller verbauen verschiedene Sensoren bzw. verschiedene Sensorkombinationen in ihren Modellen, z. B. GPS-Empfänger, Ultraschall, Odometrie (Radumlaufzähler), Laserscanner, Radar und Kameras. Teilweise werden die Systeme entsprechend der Anwendungsumgebung ausgerüstet. Die Umgebung wird mit diesen kontinuierlich erfasst, wodurch die Orientierung, Lokalisierung und Reaktion auf andere Verkehrsteilnehmer im Straßenverkehr möglich ist. Zum einen muss das Fahrzeugsystem stets seine exakte Position mit dem im Vorhinein aufgenommenen Kartenmaterial abgleichen und zum anderen bei Hindernissen stoppen, die in den Fahrweg hereinfahren/-laufen etc. Ein Bordcomputer verarbeitet die Daten und wandelt sie in Befehle um, die das Fahrzeug ohne menschlichen Eingriff fahrerlos fahren lassen. Unabdingbar für einen reibungslosen Verlauf und ein ausfallsicheres System ist die Kommunikation und der Abgleich zwischen den verschiedenen Komponenten sowie zwischen einzelnen Teilkomponenten (z. B. Sensoren untereinander).

Hergestellt wurden bisher ausschließlich kleinere Serien von Klein- und Minibussen mit bis zu 15 Fahrgastplätzen. Fahrzeuge in Linienbusgröße befinden sich noch in Entwicklung. Die Fahrzeuge verfügen über zwei Fahrmodi: Manueller und automatisierter Fahrmodus. Der manuelle Modus wird für Fälle benötigt, in denen das automatisierte Fahrzeugsystem nicht (ausreichend) funktioniert. Dies gilt beispielsweise für nicht einprogrammierte Streckenabschnitte oder bei Hindernissen auf der Strecke, die das Fahrzeugsystem nicht selbständig umfahren kann.

Außerdem kann es für einige Anwendungsfälle hilfreich sein, das Fahrzeug auch flexibel als Bus im SAE-Level 0 führen zu können, also nicht nur auf einprogrammierten und entsprechend vorbereiteten Strecken.

Im automatisierten Modus ist das Umfahren von sich auf der Strecke befindlichen Hindernissen, wie regelwidrig parkenden Fahrzeugen oder Mülltonnen, im geringen Rahmen bereits möglich. Allerdings ist das Einfahren in die Gegenfahrbahn zum autonomen Umfahren von Hindernissen noch nicht realisiert. Einfache Verkehrssituationen, wie beispielsweise gleichberechtigte Kreuzungen, erhöhtes Verkehrsaufkommen oder ordnungsgemäß parkende Fahrzeuge, werden problemlos erkannt und gemeistert. Im manuellen Fahrmodus manövriert ein Fahrzeugbegleiter den Shuttle-Bus mit einer Steuerungseinheit (z. B. Joystick, Konsole, Lenkrad), um außerhalb der vordefinierten Strecke zu fahren, größeren Hindernissen auszuweichen oder dem System unbekannte Situationen zu lösen.

Die real gefahrene Geschwindigkeit auf den Einsatzstrecken ist abhängig vom Fahrzeugmodell, vom Fahrmodus (manuell oder automatisiert), von der jeweiligen Genehmigungsbehörde zugelassenen Höchstgeschwindigkeit und von den Umgebungsbedingungen (z. B. Begrenzung auf Schrittgeschwindigkeit in einer Spielstraße). Einige Modelle verfügen über einen Fahrerarbeitsplatz mit nach vorn gerichtetem Sitz und Lenkrad oder Joystick, wodurch ein schnelleres manuelles Fahren ohne Automatisierungssystem (SAE-Level 0 oder 1) möglich ist. Die im manuellen Betrieb technisch mögliche Höchstgeschwindigkeit liegt den Herstellerangaben nach bei den derzeit verfügbaren Modellen bei ca. 50 km/h. Bei anderen Modellen muss der Fahrzeugführer stehen und das Fahrzeug im manuellen Modus über einen kabelgebundenen Controller oder ein ähnliches Steuerelement steuern. Sie sind nicht auf den manuellen Betrieb ausgelegt, weswegen die im manuellen Modus fahrbare Höchstgeschwindigkeit zwar der von der technischen Prüfstelle zugelassenen Höchstgeschwindigkeit entspricht, jedoch möglicherweise vom Hersteller aus Sicherheitsgründen sehr viel geringer voreingestellt wird (z. B. 5 km/h bei EasyMile). Die technisch-rechtlich zulässige Höchstgeschwindigkeit der Fahrzeuge für den Betrieb in beiden Modi beträgt derzeit nur 25 km/h. Dies ist die maximale Geschwindigkeit, die für beide Fahrmodi von einer Genehmigungsbehörde zugelassen werden könnte. Eine Anhebung ist absehbar und wird parallel sowohl zur rechtlichen und technischen Entwicklung stattfinden, wie dies mit den bisher erworbenen Erfahrungen in Zukunft für den Umgang mit diesen Systemen zu erwarten ist. In den aktuellen Testbetrieben in Deutschland wurden allerdings maximal 20 km/h genehmigt, da ebenfalls die Komplexität der Einsatzumgebung von den Behörden in den Genehmigungsprozess einbezogen wird. Das bedeutet allerdings nicht, dass das Fahrzeug im Realbetrieb auf der gesamten Strecke 20 km/h fährt. Bevor eine Strecke vom Hersteller kartographiert und einprogrammiert werden kann, muss sie detailliert untersucht werden. Dabei wird auch die vom automatisierten System zu fahrende Geschwindigkeit auf jedem einzelnen Streckenabschnitt ermittelt und festgelegt. Als Faustregel gilt, dass die Fahrzeuge schneller fahren können, desto besser die Umgebungsbedingungen sind, also je breiter die Straßen, zuverlässiger der GPS-Empfang, weniger Verkehrsstärke usw.

Darüber hinaus spielen der Datenschutz und die IT-Sicherheit eine große Rolle für alle Beteiligten, insbesondere bezüglich etwaiger Eingriffe in die Fahr- und Lenkbewegungen des Fahrzeugs. Bei den aktuell verfügbaren Systemen ist ein Eingriff von außen nicht möglich. Nur der Einblick in das Fahrzeug per Video oder in die Fahrdaten besteht als potenzielle Option.

2.5.1 Bedarf

Die Infrastruktur im Busverkehr beinhaltet alle stationären Einrichtungen, die für das Funktionieren eines reibungslosen Betriebes erforderlich sind. Dazu gehören neben dem Fahrweg die Haltestellen und die Einrichtungen, die für das Fahrzeug und dessen Betrieb erforderlich sind, z. B. die Ladeinfrastruktur. Darüber hinaus bestehen durch den autonomen Betrieb der Fahrzeuge weitere Anforderungen an die Infrastruktur, die in den folgenden Unterkapiteln erläutert werden. Zu den notwendigen Maßnahmen gehören u. a. Car2X-Kommunikation; eine geeignete Abstellmöglichkeit und Ladestationen sowie ausreichender und störungsfreier Mobilfunkempfang. Darüber hinaus wird die Beschilderung mit offiziellen Gefahrenzeichen im Bediengebiet empfohlen, um auf den automatisierten Betrieb aufmerksam zu machen.

Der hier aufgeführte Infrastrukturbedarf bezieht sich auf bekannte Maßnahmen im derzeitigen Planungsstadium.

2.5.2 Car2X-Kommunikation

Straßen verfügen über technische Infrastruktur, beispielsweise Lichtsignalanlagen (LSA), Bahnübergänge oder Schranken- und Polleranlagen. Um diese oder um andere Verkehrsteilnehmer korrekt und sicher zu erkennen bzw. Signale zu empfangen und zu senden (V2I- und V2X-

Kommunikation), bedarf es teilweise zusätzlicher Ausstattung vor Ort, die in Einzelfällen bereits verfügbar oder verbaut, jedoch teils kostenintensiv zu installieren ist.

Zur sicheren Erkennung von Lichtsignalen bedarf es einer On-Board-Unit im Fahrzeug sowie einer Road-Site-Unit im Steuergerät der LSA, die Verarbeitung über Kameras o. ä. reicht nicht aus.

2.5.3 Mobilfunk

Auch der Mobilfunkempfang auf der Einsatzstrecke ist eine wichtige Voraussetzung, da das Rechnersystem im Fahrzeug mit verschiedenen Stellen kommunizieren muss. Für folgende Kommunikationsschnittstellen ist eine schnelle Mobilfunkabdeckung unabdingbar:

- Stetiges Senden der Statusmeldungen über den Fahrzeugzustand an den Fahrzeughersteller
- Zugriff der Leitstelle auf Fahrzeug (Betrieb oder Technik)
- Bedarf redundanter Systeme für Ortung; Mobilfunk kann ergänzende Rolle spielen
- Bestellung einer Fahrt im Linien-Modus mit Bedarfshalt, On-Demand-Betrieb und Mischbetrieb (über Smartphones, ortsfest installierte Eingabegeräte, o. ä.)

Die Netzabdeckung muss im Zuge der Umsetzungsplanung geprüft werden. Aufgrund unterschiedlicher Standards bei den genutzten GPS-Satelliten durch die verschiedenen Fahrzeughersteller, variiert auch die Satellitenverfügbarkeit zwischen den einzelnen Fahrzeugtypen. Daher wird eine nähere Analyse erst durch die technischen Voruntersuchungen der Hersteller/Bieter im Nachgang der Studie empfohlen.

2.5.4 Haltestellen

Eine Haltestelle hat verschiedene Anforderungen zu erfüllen: Sie muss nah an Quelle oder Ziel der Fahrtwünsche liegen, baulich zum Fahrzeug und zur Nutzung des Umfelds passen und ordnungsrechtlich zulässig sein. Zudem sollte sie barrierefrei genutzt werden können. Grundsätzlich wird zwischen fest installierten und virtuellen Haltestellen unterschieden. Die Nutzung virtueller Haltestellen hat Auswirkungen auf das Thema Barrierefreiheit und damit auf die Anforderungen an das Fahrzeug sowie die Infrastruktur zur Bedarfsanmeldung.

Für die Festlegung von Haltestellen und Anforderungen an Haltestellen sind im PBefG klare Regeln enthalten. Es gibt Fälle, in denen die Anforderungen an die Gestaltung von Haltestellen für den Ausstieg oder sogar den Einstieg flexibel gehandhabt werden können. Haltestellen für den Einstieg sind im Fall von Anruf-Sammel-Taxen häufig nicht als Haltestellen nach §42 PBefG genehmigt und folglich nicht mit dem Zeichen 224 StVO gekennzeichnet. Haltestellen für den Ausstieg sind im Fall von klassischen Linienverkehren oftmals gar nicht nötig, wenn die Genehmigungsbehörde den Halt auf dem Fahrweg zwischen Haltestellen für den Ausstieg zulässt.

Die erforderlichen Haltestellen können in ihrem Flächenbedarf aufgrund der geringen Fahrzeuglänge (es reicht die Breite einer Fahrzeugtür sowie eine kleine Wartefläche, insgesamt ca. 2,50 x 1,80 m und eine Höhe von ca. 25 bis 30 cm) mit geringem Aufwand ausgestaltet werden.

Bei einem längerfristigen Regelbetrieb sollte eine barrierefreie Zuwegung existieren oder hergestellt werden und ein barrierefreier Einstieg möglich sein. Rampen mit maximal 6 % Neigung zum Überwinden des Niveauunterschiedes zwischen Fahrbahn bzw. Gehweg und Haltestelle sind daher vorzusehen. Abhängig vom Komfortanspruch ist die Errichtung von Unterstellmöglichkeiten für die wartenden Fahrgäste nötig. In einer ersten Umsetzungsstufe wird jedoch die einfachste Betriebsweise in Form eines Linienbetriebs mit Halten an festgelegten Haltestellen empfohlen.

2.5.5 Abstellen und Laden, Instandhaltung und Reinigung

Für das Fahrzeug ist eine Abstellmöglichkeit mit Ladeinfrastruktur außerhalb der Betriebszeit erforderlich. Die Unterstellung/Garage sollte möglichst in unmittelbarer Nähe zur Streckenführung

eingerrichtet werden. Die Einrichtung soll vor Witterung und Vandalismus schutzen und m6glichst automatisiert durch das Fahrzeug zuganglich sein (bspw. durch ein funkgesteuertes Tor).

Dadurch, dass das in Einsatz kommende Fahrzeugmodell zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht feststeht, werden allgemeingultige Werte und Annahmen als Mindestanforderungen der Unterstellung f6r die Shuttles definiert:

- AbschlieBbare Garage mit Innentemperaturen von 5 - 30° C,
- Gr6Be pro Fahrzeug (H x B x L): 3 x 4 x 6 m,
- Stromanschluss f6r induktives/konduktives Laden (Vorgaben bzgl. Steckertyp und max. Ladeleistung weichen zwischen den Modellen stark ab)
- Ausstattung: kleines Handlager (Besen, T6cher, Eimer, Ersatzleuchtmittel etc.) und sanitare Anlagen (f6r Fahrzeugbegleiter),
- Waschplatz, der sicherstellt, dass kein verunreinigtes Abwasser ins Grundwasser gelangt.

Im Falle eines Abstellortes, der sich nicht direkt an der Strecke einrichten l6sst, sondern sich auf einem nahegelegenen Betriebshof o. 6. befindet, ist sicherzustellen, dass eine sinnvolle M6glichkeit f6r ein evtl. notwendiges Zwischenladen an der Strecke gefunden wird sowie ein kleines Handlager (f6r Reinigungsmittel) an der Strecke deponiert werden kann. Zudem muss das Fahrzeugsystem zur manuellen Befahrung 6ber l6ngere Strecken geeignet sein.

Die Festlegung des Standortes f6r die Abstellung kann im Rahmen der Umsetzungsplanung erfolgen. Die Anforderungen f6r einen Ort zur Aufstellung eines Containers sind gering und stellen kein relevantes Problem dar.

3 6berpr6fung der Machbarkeit f6r die Darstellung von 6PNV-Modelllinien mit hochautomatisierten „PeopleMovern“

Es wurden von der Hansestadt Bremen f6nf Strecken vorgeschlagen, die in Hinblick auf Ihre Machbarkeit f6r die Umsetzung eines automatisierten Busverkehrs bewertet werden. Die potentiell umsetzbaren Streckenvorschl6ge werden detailliert auf ihre Machbarkeit f6r den Einsatz automatisierter Busse untersucht. Dabei geht es prim6r um die Bewertung, ob die F6higkeiten der Fahrzeuge die Verkehrssituationen bew6ltigen.

3.1 Strecke 1: Werderinsel: WerderstraBe - Kuhhirtenweg - WerderstraBe

3.1.1 Strecken-Profil


Startpunkt
 Werderstraße


Zielpunkt
 Werderstraße


Gesamtlänge
 1,4 km (eine Richtung)
 2,8 km (beide Richtungen)

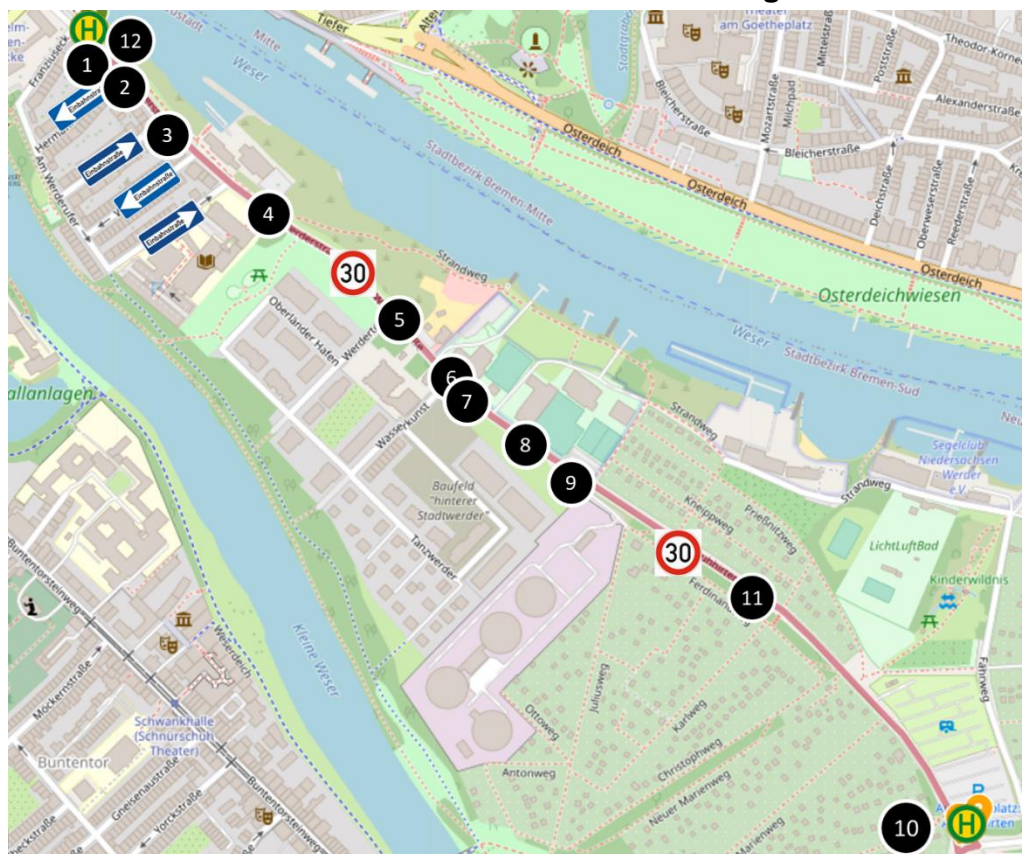

Fahrtzeit
 6 Min. (Ø 15 km/h): eine Richtung


Anschlüsse
 Straßenbahn
 Wilhelm-Kaisen-Brücken


Umfeld
 Öffentlicher Straßenraum, Innenstadt, gemischter motorisierter Verkehr, Fußgänger, Fahrräder


Geschwindigkeit
 Erlaubte Geschwindigkeiten:
 30 km/h

Strecke 1: Werderinsel: Werderstraße - Kuhhirtenweg -Werderstraße



STRECKENBESCHREIBUNG

Innenstadtnahes Naherholungsgebiet mit Neubaubereichen im Rahmen der aktuellen Stadtentwicklung. Schließung einer Angebotslücke zwischen der Weser und dem Werdersee. Anbindung des Bereichs an die Straßenbahnhaltestelle „Wilhelm-Kaisen-Brücke“. Dadurch ergeben sich ÖPNV-Verknüpfungsmöglichkeiten sowohl in die Innenstadt als auch in die Neustadt.

RISIKEN/KONFLIKTE

- **Kreuzungen/Querung von Straßen: Kollisionsgefahr zwischen AV und anderen Verkehrsteilnehmern**
 ➔ Vereinfachung der Verkehrsverhältnisse ggf. notwendig.
- **Teilweise sehr enges Straßenraumprofil**

BEWERTUNG/ MACHBARKEIT

Die Strecke eignet sich mit einigen Anpassungen voraussichtlich für den Betrieb eines automatisierten Fahrzeugs. Auf der gesamten Strecke beträgt die erlaubte Höchstgeschwindigkeit 30 km/h. Dies ist eine gute Voraussetzung für die Umsetzbarkeit, da die automatisierten Fahrzeuge sicherheitsbedingt bisher ca. 15-17 km/h fahren. Die Risiken auf der Strecke sind kontrollierbar, wenn gewisse Maßnahmen zur Risikominderung durchgeführt werden.

3.1.2 Detaillierte Untersuchung der Machbarkeit Strecke 1



Risiken

- Ausfahrt Bushaltestelle und Einfädeln in den fließenden Verkehr.
- AV nimmt parkenden Pkw als Hindernis wahr und stoppt.
- Kollision mit Gegenverkehr beim Umfahren des Pkw



Bewertung

- Haltestelle einrichten
- Parkverbot einführen und/oder Parkregeln mit Nachdruck verfolgen, um Strecke freizuhalten.
- Fahrmanöver im Gegenverkehr (wie Umfahren von Hindernissen) können nur eingeschränkt im automatisierten Modus befahren werden.



Risiken

- Vergleichbare Situation: Siehe Bild 1: Werderstraße sowie Werrastraße.



Bewertung

- Vergleichbare Situation: Siehe Bild 1: Werderstraße sowie Werrastraße.



→ Vergleichbare Situation ebenfalls an der Kreuzung Werderstraße/Fuldastraße.



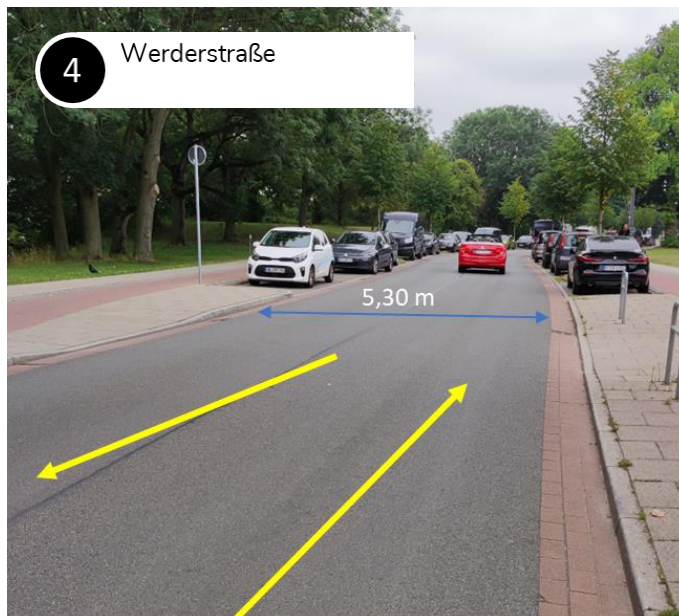
Risiken

- Der von rechts kommende Verkehrsteilnehmer hat Vorrang
- Kollision mit anderem Fahrzeug



Bewertung

- Verringerung der Geschwindigkeit erforderlich
- Hinzufügen eines Zwischenstopps mit manueller Validierung durch einen Sicherheitsfahrer.
- Änderung der Verkehrsregeln, um dem AV die Vorfahrt zu gewähren, empfehlenswert.
- Betrieb ist möglich, aber Eingriff des Sicherheitsfahrers nötig, wenn AV keine Vorfahrt hat.



Risiken

- Enge Straße: Zwischen AV und Gegenverkehr sollte ein Abstand von mindestens 90 cm eingehalten werden, um einen reibungslosen Betrieb zu gewährleisten: nur 2,30 m für Gegenverkehr verfügbar.
- Gegenverkehr innerhalb der Sicherheitszone des AVs führt zur Bremsung.



Bewertung

- Eindeutige Fahrbahnmarkierung erforderlich.
- Verkehrsteilnehmer sollten über die Anwesenheit und das Verhalten eines autonomen Fahrzeugs informiert werden.
- Um Risiken zu reduzieren, muss klar kommuniziert werden, dass entgegenkommende Fahrzeuge dem autonomen Fahrzeug die Vorfahrt gewähren müssen.



5 Werderstraße/
 Werdertor



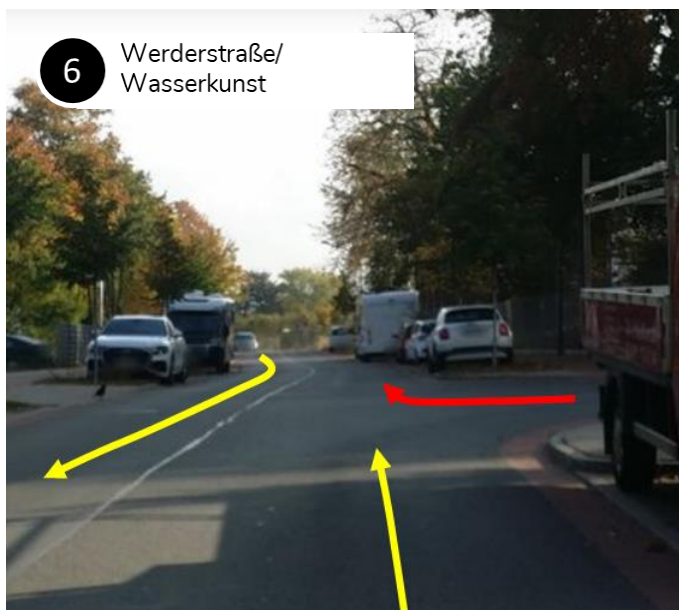
Risiken

- Der von rechts kommende Verkehrsteilnehmer hat Vorrang
- Kollision mit anderem Fahrzeug



Bewertung

- Verringerung der Geschwindigkeit erforderlich.
- Hinzufügen eines Zwischenstopps mit manueller Freigabe durch den Sicherheitsfahrer.
- Änderung der Verkehrsregeln, um dem AV die Vorfahrt zu gewähren.
- Betrieb ist möglich, aber Eingriff des Sicherheitsfahrers nötig, wenn AV keine Vorfahrt hat.



6 Werderstraße/
 Wasserkunst



Risiken

- Der von rechts kommende Verkehrsteilnehmer hat Vorrang
- Kollision mit anderem Fahrzeug



Bewertung

- Verringerung der Geschwindigkeit erforderlich.
- Hinzufügen eines Zwischenstopps mit manueller Freigabe durch den Sicherheitsfahrer.
- Änderung der Verkehrsregeln, um dem AV die Vorfahrt zu gewähren.



Risiken

- Kollision mit Radfahrer auf beginnendem Radschutzstreifen.



Bewertung

- Gefahrenstelle
- Komplexe Verkehrssituation wird von der Sensorik der heutigen Fahrzeuge nicht erkannt.
- Betrieb mit Freigabe durch einen Sicherheitsfahrer wahrscheinlich möglich.



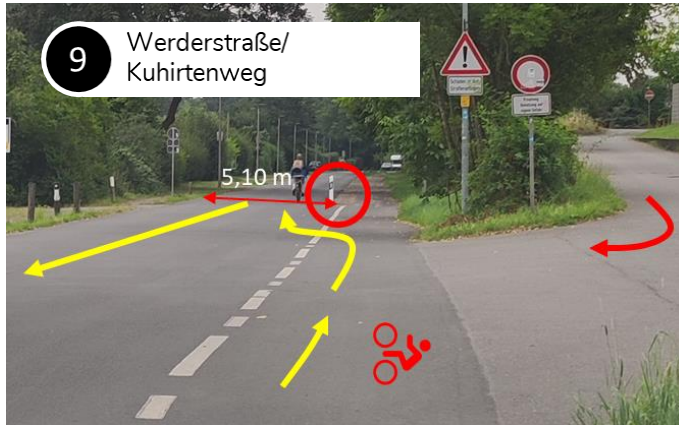
Risiken

- Wenn AVs zukünftig schneller sind und Fahrradfahrer überholen, könnte es vorkommen, dass die Straße für den Überholvorgang mit Gegenverkehr nicht ausreichend Platz bietet.
- Gegenverkehr innerhalb der Sicherheitszone des AVs führt zur Bremsung.



Bewertung

- Um Risiken zu reduzieren, muss kommuniziert werden, dass entgegenkommende Fahrzeuge dem AV die Vorfahrt geben.



Risiken

- Fahrbahnverengung
- Zwischen AV und Gegenverkehr sollte ein Abstand von 90 cm eingehalten werden: nur 2,10 m für Gegenverkehr verfügbar bei 5,10 m Straße.
- Gegenverkehr innerhalb der Sicherheitszone des AVs



Bewertung

- Erweiterung der Straße z. B. durch Befestigung des Randstreifens erforderlich.



Risiken

- Vorfahrt gewähren
- Kollision mit anderem Verkehrsteilnehmer



Bewertung

- An jeder Kreuzung mit einem „Vorfahrt gewähren“-Schild muss das Fahrzeug die Geschwindigkeit reduzieren und ein Sicherheitsfahrer muss die Kreuzung validieren. Ohne Freigabe durch den Sicherheitsfahrer kommt das Fahrzeug zum Stehen.
- Straßenmarkierungen hinzufügen, um die anderen Verkehrsteilnehmer über die AV-Strecke zu informieren.



11

Kuhirtenweg



Risiken

- Straßenraumprofil für Begegnungsverkehr vermutlich zu gering.
- Gegenverkehr innerhalb der Sicherheitszone des AVs führt zur Bremsung.



Bewertung

- Um Risiken zu reduzieren, muss kommuniziert werden, dass entgegenkommende Fahrzeuge dem AV die Vorfahrt geben müssen.
- Erweiterung der Straße empfehlenswert.



12

Werderstraße/
Hermann-Heye-Str.



Risiken

- Vorfahrtverkehr von rechts
- Kollision mit anderem Fahrzeug



Bewertung

- Verringerung der Geschwindigkeit erforderlich.
- Hinzufügen eines Zwischenstopps mit manueller Validierung durch einen Sicherheitsfahrer erforderlich.
- Ggf. Änderung der Verkehrsregeln, um dem AV die Vorfahrt zu gewähren.
- Geringes Risiko

3.2 Strecke 2: Rablinghausen-Lankenauer Höft/Fähranleger

3.2.1 Strecken-Profil



Startpunkt

Bushaltestelle
Rablinghausen



Zielpunkt

Bushaltestelle
Rablinghausen



Gesamtlänge

1,5 km (eine
Richtung)
3 km (beide Richtungen)



Fahrtzeit

Hin- und
Rückfahrt
Ca. 15 Min. (Ø 15 km/h)



Anschlüsse

Rablinghausen,
Buslinie 24, Fähranleger
Lankenauer Höft



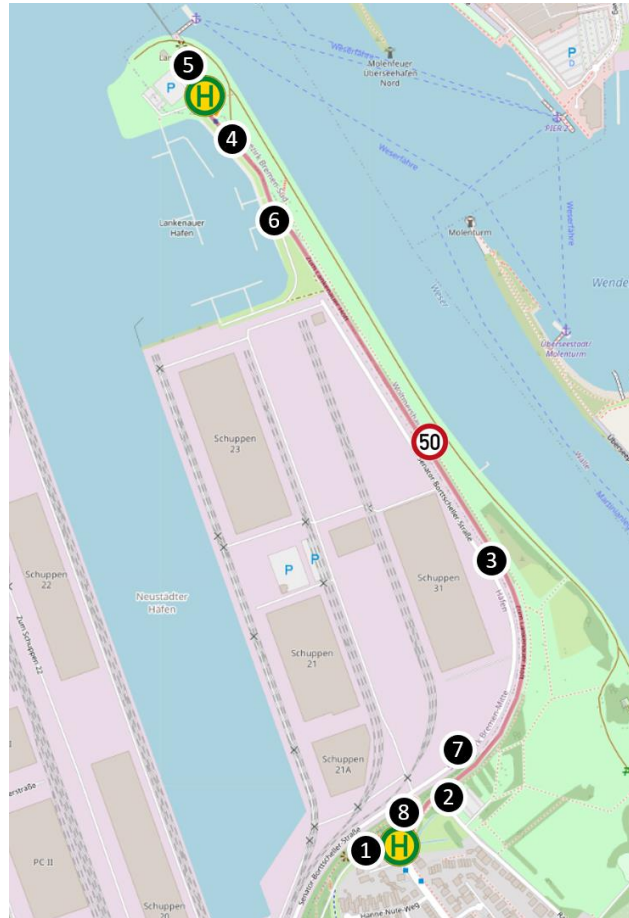
Umfeld

Öffentliche
Straßenraum, gemischter
motorisierter Verkehr,
wenig Fußgänger,
Fahrräder



Geschwindigkeit

Erlaubte
Geschwindigkeiten:
50 km/h



STRECKENBESCHREIBUNG

Feinerschließung in einem Freizeitbereich der Naherholung. Aufgrund der räumlichen Situation ist es nicht möglich, die Strecke mit konventionellen ÖPNV zu bedienen. Der Einsatz des AVs würde einen Lückenschluss ermöglichen und wäre durch die Verknüpfung an der Haltestelle Rablinghausen sowie am Fähranleger Lankenauer Höft in das Nahverkehrsnetz integriert.

RISIKEN/KONFLIKTE

- Höchstgeschwindigkeit 50 km/h: AV fährt sicherheitsbedingt 15-17 km/h, hohe Geschwindigkeitsdifferenz
- Vegetation und dichtes Blattwerk auf großen Teilabschnitten der Strecke könnte zu Verlust des GPS-Empfangs führen

BEWERTUNG DER MACHBARKEIT

Der Betrieb eines automatisierten Fahrzeugs (AV) auf dieser Strecke ist sehr wahrscheinlich mit einigen Anpassungen möglich. Durch die übersichtlichen Verkehrsverhältnisse wird ein Eingreifen eines Sicherheitsfahrers nur an wenigen Streckenabschnitten punktuell erforderlich sein. Die Strecke eignet sich gut, um die zukünftigen Herausforderungen, wie z. B. höhere Geschwindigkeiten oder die Überwachung des Fahrzeugs über eine Leitstelle zu testen.

3.2.2 Detaillierte Untersuchung der Machbarkeit Strecke 2



Risiken

- Ausfahrt Bushaltestelle: Einfädeln in den fließenden Verkehr, Überquerung der Fahrbahn
- Kollision mit anderem Fahrzeug



Bewertung

- Verringerung der Geschwindigkeit erforderlich
- Manuelle Validierung durch Operator: der Operator muss bestätigen, dass die Straße frei ist.
- Betrieb ist möglich, aber Eingriff Sicherheitsfahrer nötig.



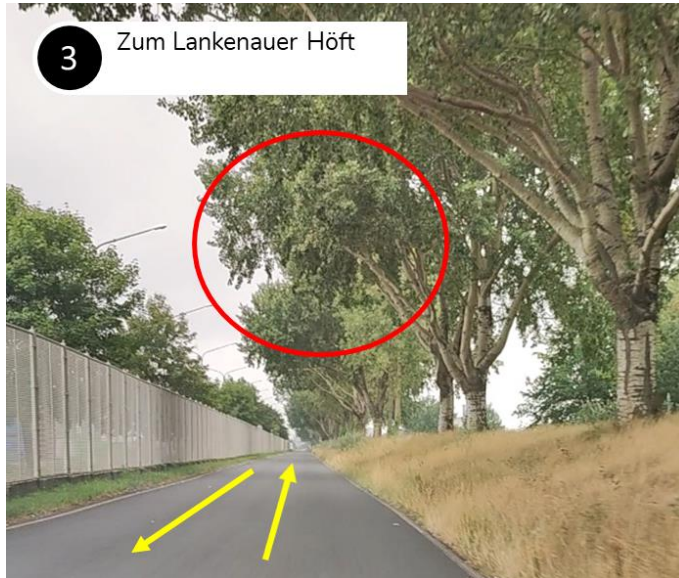
Risiken

- Geringes Risiko, da AV Vorfahrt hat.



Bewertung

- Betrieb ohne Eingriff durch Sicherheitsfahrer möglich.



3 Zum Lankenauer Höft



Risiken

- AV wird gestoppt oder verlangsamt durch hineinragende Äste oder starker Vegetation entlang der Strecke.
- Verlust des GPS-Empfangs
- Schlechte Lokalisierung



Bewertung

- Regelmäßiges Trimmen der Vegetation erforderlich.
- Zusätzliche Strukturelemente hinzufügen, um die LIDAR-Lokalisierung zu verbessern.
- Übersichtliche Verkehrsverhältnisse



4 Zum Lankenauer Höft



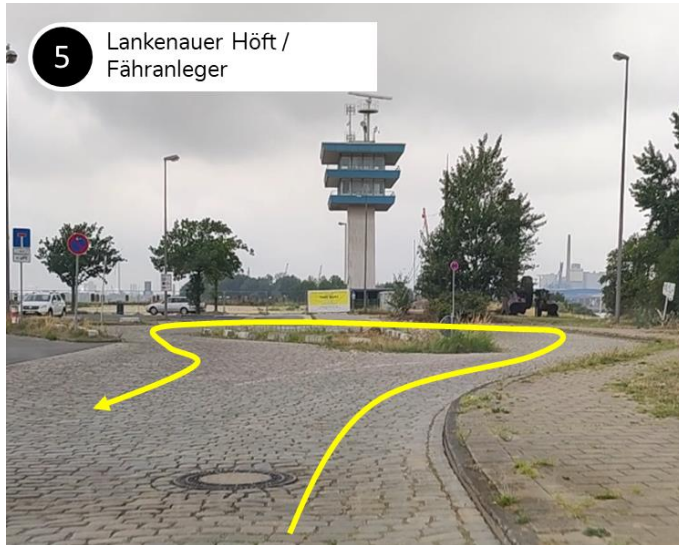
Risiken

- Kein separater Fußweg
- Kollision mit Fußgängern, unberechenbares Fußgängerverhalten
- Die von rechts kommenden Fahrräder haben Vorrang.
- Kollision mit Fahrradfahrern



Bewertung

- Reduzierte Geschwindigkeit in Bereichen mit hoher Fußgängerfrequenz
- Markierungen ergänzen, um die Fußgänger über die Präsenz des AVs zu informieren.
- Hinzufügen eines Zwischenstopps mit manueller Validierung der Kreuzung.
- Risiken gering, Eingriff des Sicherheitsfahrers ggf. erforderlich.



5 Lankenauer Höft / Fähranleger



Risiken

- keine



Bewertung

- Unter Einhaltung der Regelwerke sind die Kurvenradien für den Einsatz der AVs ausreichend.



6 Zum Lankenauer Höft



Risiken

- Vorfahrtverkehr von rechts
- Kollision mit anderem Fahrzeug



Bewertung

- Verringerung der Geschwindigkeit ggf. erforderlich.
- Hinzufügen eines Zwischenstopps mit manueller Validierung durch Operator.
- Ggf. Änderung der Verkehrsregeln, um dem AV die Vorfahrt zu gewähren.
- geringes Risiko



Risiken

- Schlechte Lokalisierung und Verlust des GPS-Empfangs durch dichtes Blattwerk und Vegetation



Bewertung

- Regelmäßiges Trimmen der Vegetation
- Zusätzliche Strukturelemente hinzufügen, um LIDAR-Lokalisierung zu verbessern.
- Geringes Risiko, Betrieb ist möglich



Risiken

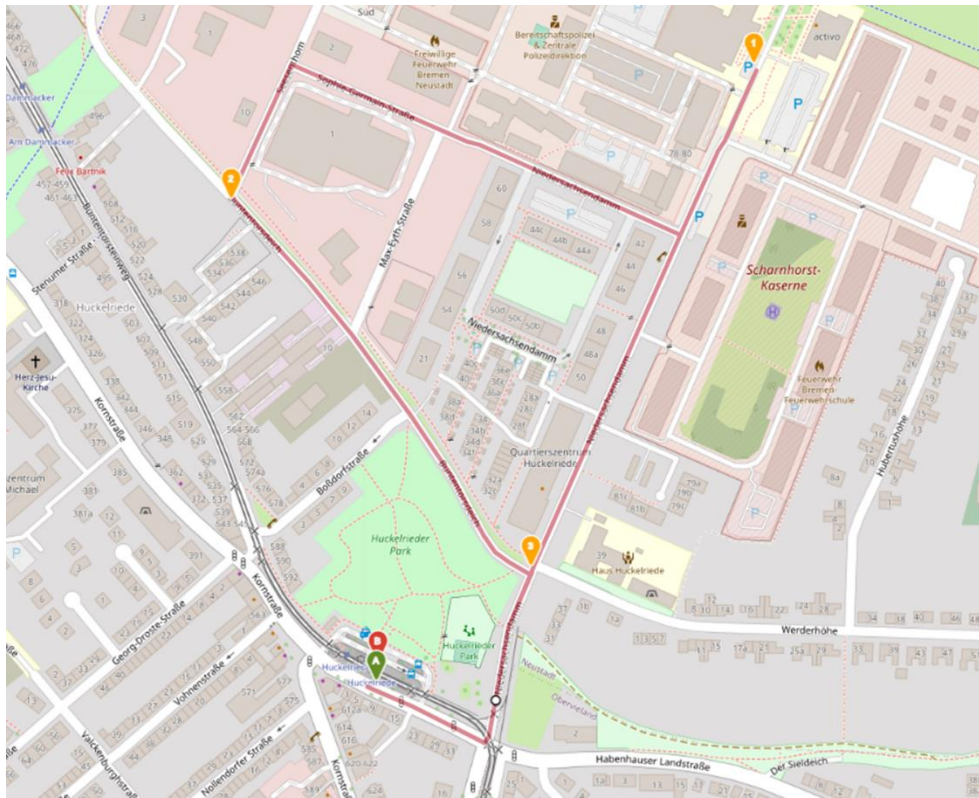
- Schlechte Lokalisierung und Verlust des des GPS-Empfangs durch dichtes Blattwerk und Vegetation.



Bewertung

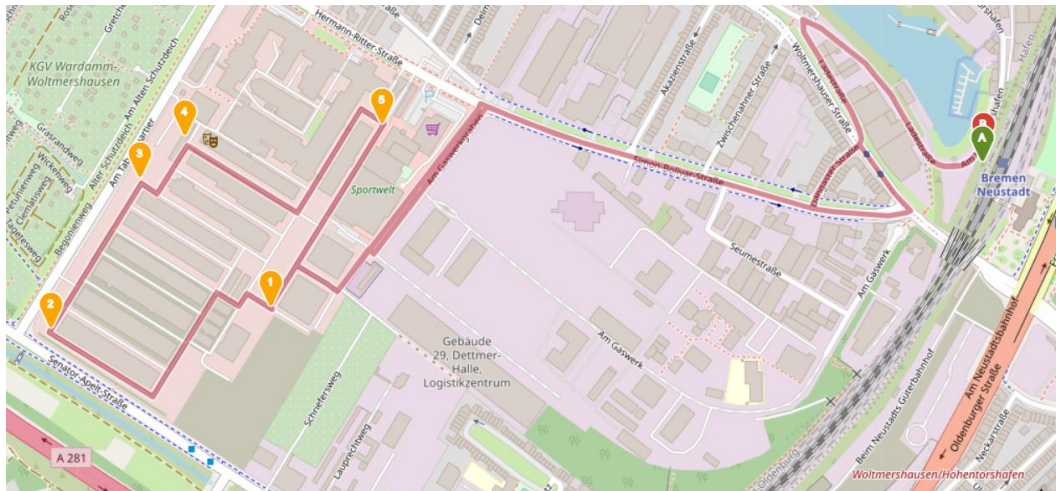
- Regelmäßiges Trimmen der Vegetation
- Zusätzliche Strukturelemente hinzufügen, um LIDAR-Lokalisierung zu verbessern.
- Geringes Risiko, Betrieb ist ohne Eingriff durch Sicherheitsfahrer möglich.

3.2.3 Strecke 3: Huckelriede - Roland Klinik - Huckelriede



- Zubringerlinie zu den Stadtbuslinien an der Haltestelle Huckelriede zur Verbesserung der Feinerschließung (Verkürzung von Fußwegen)
- Als Zubringer zur Roland Klinik
- Eine Verkehrsfunktion ist erkennbar vorhanden.
- Die Straßen im Bereich der Klinik eignen sich für den Einsatz der heute verfügbaren automatisierten Shuttle.
- Die Verknüpfung zur Haltestelle „Huckelriede“ ist jedoch mit den heutigen automatisierten Bussen nicht herzustellen, da die komplexe Verkehrssituation Niedersachsendamm/Huckelriede von der Sensorik nicht erkannt wird und eine zu große Gefahrenquelle darstellt.
- Der Einsatz automatisierter Shuttle mit Level 2 und 3 ist daher absehbar nicht möglich.

3.2.4 Strecke 4: Tabakquartier Bremen Neustadt



- Möglichkeit der Feinerschließung in einem noch wachsenden und sich entwickelnden Wohn-, Arbeits- und Kulturquartier in der Neustadt.
- Ein automatisierter Kleinbus in diesem Viertel könnte das Konzept einer autoarmen Umgebung unterstützen. Allerdings sind die Bauvorhaben noch nicht so weit abgeschlossen, dass die Wegführung eines AVs geplant werden könnte. Der Einsatz könnte zukünftig jedoch sehr interessant sein und sollte zu einem späteren Zeitpunkt noch einmal aufgegriffen werden.

3.2.5 Strecke 5: Bremen Ortsteil Strom



- Die Anbindung des Ortsteils Strom stellt für den konventionellen Linienbusverkehr aufgrund der langen Fahrtstrecke und der geringen potenziellen Fahrgastzahl ein Problem dar.
- Der Einsatz eines automatisierten Shuttles könnte die Einrichtung einer attraktiven Anbindung ermöglichen.
- Die zugelassene Höchstgeschwindigkeit auf Stromer Landstraße beträgt 50 km/h, die tatsächlich gefahrene Höchstgeschwindigkeit liegt vermutlich darüber.
- Strecke mit ca. 10 km (Hin- und Rückweg) zu lang für die Rechnerleistung der heutigen AVs.
- Ein Einsatz automatisierter Busse mit Level 2 und 3 ist aufgrund der hohen Geschwindigkeitsdifferenz zwischen AV und übrigen Verkehrsteilnehmern sowie der fehlenden Anknüpfungspunkte im Umfeld derzeit nicht zu empfehlen.

4 Perspektive eines fahrerlosen Betriebs

Die Fahrzeuge werden mittel- bis langfristig ohne Personal an Bord fahren können (technisch) und dürfen (rechtlich). Als nächste Stufe werden Fahrzeugbegleiter eingesetzt werden, die sich nicht direkt im Fahrzeug befinden, sondern dieses bzw. mehrere gleichzeitig von einer Leitstelle aus überwachen und bei Störungen oder Anfragen/Vorfällen im Fahrzeug eingreifen. Einzelne Fahrzeughersteller testen diese Funktionen bereits erfolgreich auf Privatgeländen.

Sollte langfristig der Busbetrieb in größeren Umfängen oder komplett auf automatisierte Fahrzeuge umgestellt werden können, ist davon auszugehen, dass zwar auf Fahrpersonal und Fahrzeugbegleiter weitgehend verzichtet werden kann, jedoch die Rolle des im Liniennetz mobilen Betriebsdienstes eine größere Rolle einnehmen wird.

Es empfiehlt sich auch kurzfristig einen automatisierten Betrieb in ein vorhandenes Betriebsleitsystem zu integrieren, um Erfahrungen zu generieren. Je nach Komplexitätsgrad des automatisierten Betriebs sollte die Integration in das System erweitert werden, sodass weitere Erfahrungen für mittel- und langfristige Szenarien generiert werden können.

4.1 Beitrag zur Klimaneutralität: Ziele der Enquetekommission

Der Einsatz fahrerloser, autonomer Fahrzeuge im ÖPNV kann in Zukunft dazu beitragen, die übergeordneten Ziele der Klima- und Mobilitätswende und die Klimaneutralität in Bremen zu erreichen. Dabei kann das Vorhaben unterstützt werden, den ÖPNV-Anteil bis zum Jahre 2028 auf 30% zu erhöhen.

Die Nutzung der Automatisierung und Digitalisierung im öffentlichen Personennahverkehr kann dazu beitragen, den Modal Split zugunsten des Umweltverbundes zu verändern und eine relevante CO₂-Wirksamkeit zu erzielen.

Die Verbesserung des ÖPNV-Angebotes speziell im Bereich des Ergänzungsnetzes als Vervollständigung der Haupt- und Nebenlinien könnte mit dem Einsatz von autonomen Bussen erreicht werden, in dem die Anschluss- und Erschließungsqualität gesteigert wird. Die Schließung von Lücken im Sinne einer Aufgabenzuweisung in einem mehrstufig differenzierten Angebotsmodell würde zu einer Attraktivitätssteigerung beisteuern.

Die Optimierung der räumlichen Erreichbarkeit durch Erschließungs- und Anschlussverkehre würde dazu beitragen, den Zugang zum System ÖPNV zu verbessern. Dieses ist gerade vor dem Hintergrund der demographischen Entwicklung ein wichtiger Aspekt der Weiterentwicklung.

Mit der Feinerschließung als Teil eines integralen Liniennetzes würde zu einer Aufwertung des ÖPNV als Mobilitätssystem und wichtigem Teil des Umweltverbundes beigetragen.

In Einsatzfeldern mit einem hohen Personalkostenanteil im Verhältnis zu einer geringen Fahrgastnachfrage könnte mit Hilfe der autonomen Fahrzeuge ein Angebot geschaffen werden, das mit den konventionellen Möglichkeiten nicht zu realisieren wäre.

Dabei würden die Empfehlungen der Enquetekommission hinsichtlich der Quartiersbusse und der Verbesserung der Haltestellenerreichbarkeit berücksichtigt. Ein Modal Shift kann schließlich nur erzielt werden, wenn bei der ÖPNV-Planung die erste und letzte Meile berücksichtigt werden.