

Ergebnisbericht

Voraussetzungen zum Betrieb automatisierter Fahrzeuge in ländlichen Regionen

Angebotsnummer: A0516

Berlin, 04.09.2024

Auftraggeber

WZB - Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung gGmbH
Forschungsgruppe Digitale Mobilität und gesellschaftliche Differenzierung
Herrn Prof. Dr. Andreas Knie
Reichpietschufer 50
D-10785 Berlin

Anbieter

Nuts One GmbH
Dessauer Straße 28-29
10963 Berlin
www.nuts.one

Geschäftsführung: Anke Schmidt, Hannes Beyer,
Amtsgericht Berlin-Charlottenburg HRB 209120
USt-ID: DE325617337

Kontaktperson

Frank Hunsicker
Tel.: +49 151 5804 9920
E-Mail: frank.hunsicker@nuts.one

Inhaltsverzeichnis

Ergebnisbericht.....	- 1 -
Ausgangssituation	- 3 -
Zielstellung Auftraggeber	- 3 -
Ergebnisbericht.....	- 4 -
AP 1: Klärung Einsatzbereich im öffentlichen Straßenraum	- 4 -
AP 2: Voraussetzungen für den Betrieb	- 7 -
Genehmigungsrechtliche und baulich-technische Voraussetzungen	- 7 -
Infrastrukturelle Voraussetzungen.....	- 10 -
AP 3: Anforderungen an Abstellung und Ladung	- 11 -
Abstellung.....	- 11 -
Ladung	- 12 -
Pausen	- 13 -
AP 4: Empfehlungen zur systematischen Risiko-Analyse auf der konkreten Einsatzstrecke	- 13 -
AP 5: Mögliche Pilotstrecken.....	- 15 -
Einschätzung potenzieller Umsetzungsrisiken	- 19 -

Ausgangssituation

Bevölkerungsrückgang, alternde Gesellschaft und fortschreitende Zersiedelung stellen die Bereitstellung öffentlicher Mobilitätsangebote in ländlichen Räumen zunehmend vor Herausforderungen. Hinzu kommt die umfangreiche Motorisierung. Viele Bewohner auf dem Land oder im suburbanen Raum planen ihren Alltag komplett mit dem Privat-Pkw, zumal der ÖPNV, der noch immer meist als Linienverkehr mit Großgefäßen organisiert ist, oft keine Alternative zur Lebenswirklichkeit vieler Menschen darstellt. Die Erreichbarkeit vieler Teilregionen mit dem öffentlichen Verkehr bleibt somit eingeschränkt, gleichzeitig ist mancherorts seine langfristige Finanzierung in Frage gestellt.

Um der örtlichen Bevölkerung unter dem Gesichtspunkt der Daseinsvorsorge auch zukünftig einen attraktiven ÖPNV anbieten zu können, bedarf es neuer, zukunftsfähiger Mobilitätslösungen. Idealerweise erfüllen sie zugleich den gewachsenen Wunsch nach Individualität und Flexibilität und werden modernen umwelt- wie verkehrspolitischen Ansprüchen an eine hohe Bündelung der Verkehre sowie nachhaltige Ressourcenverwendung gerecht. Der Einsatz automatisierter Kleinbusse bzw. Shuttles kann hierzu mittelfristig einen wichtigen Beitrag leisten

Im Verbundprojekt „NeMo.bil“¹, das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) gefördert wird und bis 2026 läuft, soll im Raum Paderborn ein innovatives, schwarmartiges Mobilitätssystem entwickelt und prototypisch aufgebaut werden. Es soll eine neue Form des nachhaltigen und bedarfsgerechten Personen- und Gütertransports im ländlichen Raum ermöglichen. Dazu wird ein neuer systemischer Ansatz verfolgt, der die Schwärme automatisierter kleiner Leichtbau-Fahrzeuge, die für den Einsatz auf ersten und letzten Meilen konzipiert sind, für längere Strecken zu einem Konvoi vereint. Nach der mechanischen Kopplung werden die kleinen automatisierten Fahrzeuge („Cabs“) von einem größeren, ebenfalls automatisierten Fahrzeug („Pro“) gezogen und mit Energie versorgt, um längere Distanzen überwinden zu können. Eine Betriebsplattform inklusive Mehrzieloptimierungs-Algorithmen ermöglicht den effizienten Systembetrieb für vernetzte und flexible On-Demand-Mobilitätsdienste. Durch die Kombination der unterschiedlich ausgelegten Fahrzeuge und deren intelligente Verknüpfung zu Mobilitätsschwärmen soll eine bisher nicht erreichbare energetische Effizienz erzielt werden. Zudem werden deutliche Verbesserungen in den Bereichen Nutzerakzeptanz, Kosten, Ressourceneinsatz und Emissionen erwartet. Am Ende soll ein Mobilitätssystem kooperierender Fahrzeuge für einen nachhaltigen, individualisierten ÖPNV entstehen.

Zielstellung Auftraggeber

Generell bieten in derartigen Pilotprojekten zeitlich mehr oder weniger begrenzte, öffentlich zugängliche Fahrversuche den örtlichen Akteuren die Möglichkeit, neue Erfahrungen im Bereich des autonomen Fahrens in der Praxis zu sammeln und gleichzeitig mögliche zukunftsfähige Mobilitätskonzepte zu testen, denn das Vorhaben soll für eine hohe Akzeptanz bei der örtlichen Bevölkerung sorgen. Die Region sieht sich optimal geeignet, u.a. durch die intensive Kooperation von Kommunen, Unternehmen und Hochschulen, allerdings ist bislang noch nicht vorgesehen, im Rahmen des Gesamtvorhabens Fahrten mit Publikum durchzuführen.

Das Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung (WZB) ist einer der Projektpartner und bringt seine langjährige Expertise in der Konzeption und Durchführung von wissenschaftlichen Projekten zu

¹ <https://nemo-bil.de/projekt/>

Problemen und Lösungen nachhaltiger Mobilität insbesondere in ländlichen Gebieten ein. Im Projekt werden die Mobilitätsstrukturen in der Region auf Basis von MiD-Daten erhoben. Durch die Befragung sämtlicher Aufgabenträger und potentieller Nutzer*innen werden die Probleme mit dem bestehenden ÖPNV analysiert und die Potenziale eines solchen Angebots ausgelotet. Auf Initiative des WZB wird angestrebt, dennoch einen Pilotbetrieb mit den im Rahmen des Projekts eingesetzten automatisierten Fahrzeugen durchzuführen. Dazu bedarf es eines Umsetzungskonzepts, das prüft, welche organisatorischen, technischen und rechtlichen Voraussetzungen zu dessen Realisierung gegeben sein müssen. Dabei soll neben den neuesten Bestimmungen gem. Autonomie-Fahrzeuge-Genehmigungs-und-Betriebs-Verordnung (AFGBV), die ausdrücklich eine Typgenehmigung für selbstfahrende Fahrzeuge voraussetzt, auch geprüft werden, inwiefern Ausnahmegenehmigungen – wie sie in mehreren Bundesländern in den letzten Jahren zum Tragen kamen – zur Realisierung in Frage kommen. Geklärt werden soll u.a. auch, welche sicherheitstechnischen Voraussetzungen die Fahrzeuge erfüllen müssen, um für Fahrten mit Publikum oder Testpersonen zur Verfügung zu stehen.

Ergebnisbericht

Anmerkung: Aufgrund der zur Verfügung stehenden Daten und Informationen (Fahrzeugmaße, Batteriekapazität, Verwendung von Lidar-Sensoren, GNSS und Inertial Measurement Unit (IMU)) liegen diesem Gutachten die Annahmen zu Grunde, dass das System zur Lokalisierung eine Fusion der Sensordaten durchführt und auf feste Strukturen wie Gebäude im Umfeld angewiesen ist, um sich auf einer 3D-Karte zurechtzufinden. Angaben zu Reichweite oder Anordnung der Sensoren liegen nicht vor, weshalb zu möglichen Abständen zu gegebenen Strukturen oder auch zur Wahrnehmungsreichweite der Hindernisdetektion keine Aussagen getroffen werden können. Daneben wird angenommen, dass zu Beginn mit Sicherheitsfahrer:innen gearbeitet und Personal zur Betreuung (Ladung, Reinigung etc.) eingesetzt wird.

AP 1: Klärung Einsatzbereich im öffentlichen Straßenraum

Um einen geeigneten Einsatzbereich für ein automatisiertes Fahrzeug zu identifizieren, wird empfohlen, ein mehrstufiges Verfahren zu durchlaufen. Dazu gehört in einem ersten Schritt, die Operational Design Domain (ODD) des spezifischen Fahrzeugs zu definieren und im Idealfall bereits auf Teststrecken zu erproben. Denn diese ODD, die die Fähigkeiten des Fahrzeugs abstrakt und abseits einer konkreten Strecke beschreibt, bildet die Grundlage, um zu bestimmen, ob ein Fahrzeug die Anforderungen erfüllt und die Fähigkeiten aufweist, die zur Befahrung einer konkreten Strecke bzw. eines Einsatzbereichs notwendig sind. Das Fahrzeug kann nur dort sinnvoll und sicher – insbesondere in einem Betrieb mit einer closed user group oder für die allgemeine Öffentlichkeit – eingesetzt werden, wo gewährleistet ist, dass die auftretenden Situationen beherrscht werden können und die grundlegenden Anforderungen erfüllt werden, damit es sich lokalisieren kann.

Im zweiten Schritt ist eine geeignete Route im öffentlichen Straßenraum zu identifizieren. Dazu bieten sich unterschiedliche Ansätze an: Einerseits kann eine Strecke ausgewählt werden, deren Bedienung eine konkrete Verkehrsnachfrage von Fahrgästen erfüllt und somit einen verkehrlichen Mehrwert schafft. Andererseits kann eine Strecke nach dem Gesichtspunkt ausgewählt werden, dass der Betrieb

schwerpunktmäßig der Erprobung, Validierung und Verbesserung der automatisierten Fahrfunktionen im Praxisbetrieb dient, um Erfahrungen außerhalb von Teststrecken und mit unvorhergesehenen Situationen (sog. edge and corner cases) zu sammeln. Eine dritte Möglichkeit besteht darin, eine sehr simple Route zu identifizieren, die wenig komplex ist und mit vergleichsweise geringem Aufwand realisiert werden kann. Dies wird allerdings nur empfohlen, wenn der Fokus auf zeitlich begrenzten Demonstrationsfahrten liegen soll, um die Technologie interessierten Bürger:innen näherzubringen. Die Erfahrungen der vergangenen zehn Jahre zeigen, dass selbstfahrende Fahrzeuge bislang i. d. R. auf Routen mit einer geringen verkehrlichen Nachfrage in Randbereichen eingesetzt wurden, da solche mit signifikanter Nachfrage i.d.R. aus technischen Gründen (notwendige Geschwindigkeiten, komplexe Kreuzungen, Steigungen etc.) nicht befahren werden konnten.

Nichtsdestotrotz wird empfohlen, bei der Klärung des Einsatzbereichs mit dem Identifizieren von Points of Interest (POIs), bspw. Bahnhöfe, zentrale Omnibusbahnhöfe, Krankenhäuser, Einzelhandels- und Freizeitstandorte etc., zu beginnen, da dort von einer Mindestnachfrage ausgegangen werden kann. Unter Berücksichtigung der Durchschnittsgeschwindigkeiten der Fahrzeuge (nicht der Höchstgeschwindigkeit) sollte eine fahrzeugbezogen und individuell zu bestimmende Streckenlänge nicht überschritten werden. Im besten Fall lassen sich Verbindungen zwischen den POIs unter Berücksichtigung von Ausschlusskriterien wie bspw. Befahren von Autobahnen oder Tunnels, Queren von Bahnübergängen, Routen in unbebauten Gebieten oder Wäldern etc. herstellen.

Daran anschließend ist zu prüfen, ob die notwendigen Mobilfunk- und GPS-Abdeckungen in ausreichender Qualität vorhanden sind. Zur ersten Annäherung an die Güteprüfung des Mobilfunkempfangs kann die crowdgesourcte Breitbandmessung der Bundesnetzagentur genutzt werden (s.a. Abbildung 1). Diese basiert im Gegensatz zu den Angaben der Netzbetreiber zwar auf tatsächlichen Messwerten, kann aus methodischen Gründen (Notwendigkeit von Freiwilligen, Raster in feinsten Auflösung zu grobmaschig etc.) aber keine eigene Prüfung vor Ort ersetzen. Bei der Vor-Ort-Prüfung ist zwingend zu beachten, dass die Tests entweder mit allen Netzbetreibern durchgeführt werden oder dass der Test mit jenem Netzbetreiber durchgeführt wird, der auch im Fahrzeug genutzt wird.

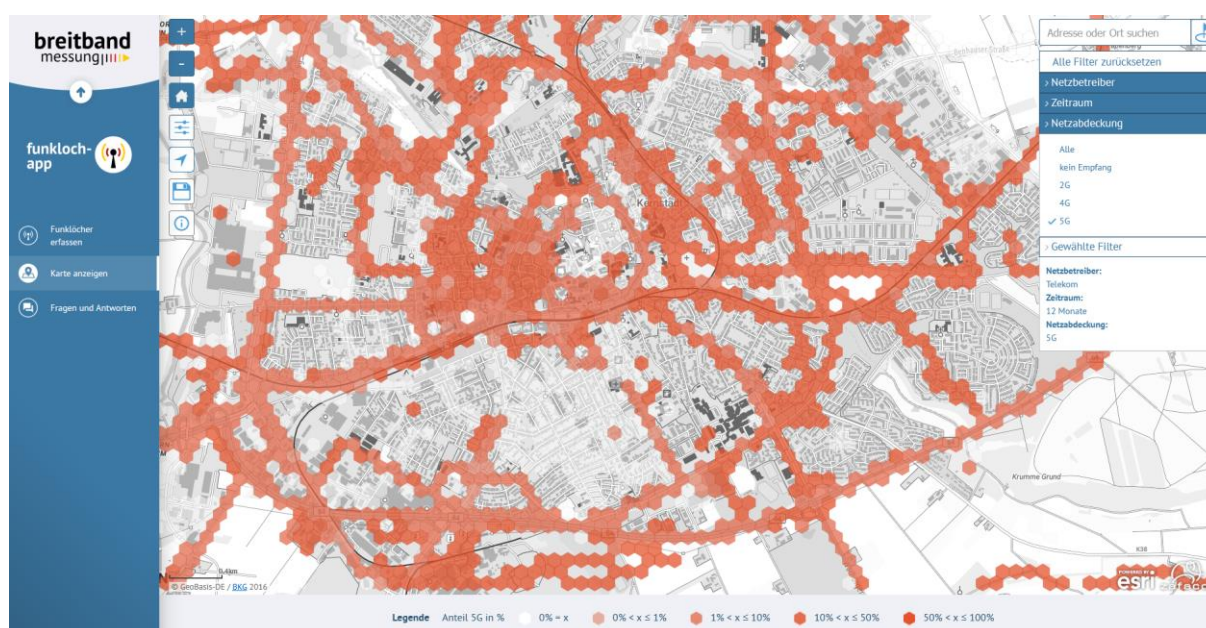


Abbildung 1: 5G-Abdeckung der Telekom der letzten zwölf Monate in Paderborn (Quelle: <https://breitbandmessung.de/kartenansicht-funkloch>)

Der GNSS-Empfang muss ebenfalls vor Ort geprüft werden, da die baulichen Gegebenheiten den Empfang lokal auch sehr begrenzt verschatten können. In Abhängigkeit von der Relevanz des GNSS-Empfangs oder der Möglichkeit zur Überbrückung von (kürzeren) Passagen ohne Empfang, ist in Rücksprache mit den Systemanbietern² eine entsprechend detaillierte Dokumentation notwendig. Zur Prüfung stehen entsprechende Applikationen zur Verfügung. In Abhängigkeit davon, ob die üblichen Messabweichungen von mehreren Metern vernachlässigt werden können, ist ggfs. ein Differential GNSS (DGNSS) notwendig, um die Abweichung auf mehrere Zentimeter zu reduzieren. Dabei ist abzuwägen bzw. zu klären, ob Daten von kommerziellen Anbietern eingekauft oder mittels einer eigenen Referenzstation zur Verfügung gestellt werden sollen.

Hinsichtlich der verkehrlichen Anforderungen sollte zudem berücksichtigt werden, ob entlang der gewählten Routen perspektivisch Erweiterungen möglich sind, um einen Testbetrieb je nach Performance und Betriebsstabilität des Systems hinsichtlich weiterer Fahrgastpotenziale und Einsatzszenarien skalierbar zu gestalten. Wird ein Betrieb im On-Demand-Modus angestrebt, sollten im Einsatzbereich von Vornherein Querverbindungen bzw. „Bypässe“ im Straßennetz identifiziert werden, um – je nach Buchungslage – möglichst kurze und direkte Wege zum Zielpunkt abseits einer festen Linienführung realisieren zu können.

Trotz etwaiger Ortskenntnis kommen als Tools für eine erste unterstützende Desktop-Recherche möglicher Einsatzorte Satelliten-Bilder und Online-Kartenmaterial in Frage. In diesem Zusammenhang ist Open Street Map aufgrund der zahlreichen Zusatzinformationen empfehlenswert. Google Streetview kann darüber hinaus dienlich sein, Eindrücke der konkreten Situation im Straßenraum zu erhalten und ggfs. bereits zu katalogisieren. Dabei sollte unbedingt die Aktualität der Aufnahmen geprüft werden. für den konkreten Vor-Ort-Check bieten sich Apps zum Check der 4G-/5G-Konnektivität und zur GNSS-Messung (s.o.) sowie digitale Maßbänder zur schnellen Bestimmung von Straßenbreiten u.Ä. an. Als sehr hilfreich im Zusammenhang mit der externen Risikoanalyse hat sich nicht zuletzt die Befahrung aller in Frage kommenden Abschnitte mit Kameras erwiesen, um subjektive und individuelle Eindrücke auch für Dritte objektiv und stets abrufbar zu halten. Sobald eine oder mehrere vielversprechende Einsatzrouten identifiziert worden sind, sollte umgehend mit der Suche nach einem geeigneten einsatznahen Depot gestartet werden, da das Fehlen eines sicheren Unterstellortes für die Fahrzeuge ein Ausschlusskriterium ist (s. AP 3).

Generell handelt es sich beim Weg von der Klärung eines möglichen Einsatzbereichs bis hin zur konkreten Einsatzvorbereitung um einen komplexen iterativen Prozess, der einen laufenden Abgleich technischer, rechtlicher und organisatorischer Faktoren erfordert.

² In der Folge wird dieser Begriff verwendet, da Fahrzeughersteller und Softwareanbieter im zugrunde liegenden Vorhaben nicht identisch sind.

AP 2: Voraussetzungen für den Betrieb

Anmerkung: Aufgrund der wenigen zur Verfügung stehenden Informationen zur Funktionsweise der automatisierten Fahrfunktionen werden an dieser Stelle Annahmen zugrunde gelegt, die im Allgemeinen auf Fahrzeuge zutreffen, die GNSS sowie Lidar-Sensoren nutzen, um sich zu lokalisieren und statische sowie dynamische Objekte zu erfassen.

Genehmigungsrechtliche und baulich-technische Voraussetzungen

Die Genehmigung von Fahrzeugen mit automatisierten Fahrfunktionen ist einerseits über die AFGBV (Autonome-Fahrzeuge-Genehmigungs-und-Betriebs-Verordnung)³ möglich, andererseits jedoch nach wie vor über eine Ausnahmegenehmigung nach § 21 StVZO i.V.m. § 70 StVZO, die auch nach dem Inkrafttreten der AFGBV für die Genehmigung von Fahrzeugen *unterhalb* SAE-Level 4 genutzt wird, bspw. im Projekt „Shuttle-Modellregion Oberfranken“ (SMO).⁴

Die AFGBV ermöglicht den Betrieb von Fahrzeugen mit SAE-Level 4 (=vollautomatisiert) über zwei Wege, zum einen über die Typgenehmigung und zum anderen über die Erprobungsgenehmigung. Während die Typgenehmigung auf serienreife Fahrzeuge abzielt, dient die Erprobungsgenehmigung der Erprobung von Funktionen und ist fahrzeuggebunden. Stand heute wurden einige Erprobungsgenehmigungen nach AFGBV erteilt, aber noch keine Typgenehmigung. Fahrzeuge könnten nach Erhalt der Typgenehmigung in Betriebsbereichen eingesetzt werden, die zuvor von den zuständigen Landesbehörden genehmigt werden müssen.

Demgegenüber bietet sich im vorliegenden Fall die Einzelzulassung teilautomatisierter Fahrzeuge (z.B. SAE-Level 3) an. Nach eingehender Prüfung sowie i.d.R. unter Auflagen wird die Einzelzulassung auch erteilt. Des Weiteren muss eine (Ausnahme-)Genehmigung für den automatisierten Betrieb für die spezifischen Strecken bei den dafür zuständigen Behörden beantragt werden. Dabei ist es unabdingbar, die Systemanbieter als Verantwortliche für Fahrzeug und Software ebenso wie den späteren Betreiber eng in den Prozess mit einzubeziehen. Letzterer ist die verantwortlich beantragende Instanz für die Ausnahmegenehmigungen. Wichtig bei diesem komplexen Prozess ist es, angesichts der Vielzahl an beteiligten Akteuren unbedingt die richtige Reihenfolge und die jeweiligen Abhängigkeiten der Prozessschritte voneinander zu beachten und zu koordinieren.

Ausnahmegenehmigung für das Fahrzeug

Voraussetzung zur Erlangung der Ausnahmegenehmigung ist die Vorlage eines technischen Gutachtens zur Funktionalen Sicherheit (FuSi) über „Besondere Anforderungen an Sicherheitsaspekte von komplexen elektronischen Steuerungssystemen im Fahrzeug“, das von einem dazu befähigten technischen Prüfdienst (z.B. DEKRA oder eine geeignete TÜV-Organisation) angefertigt werden muss.

Eine weitere Begutachtung des Fahrzeugs bezieht sich auf den § 21 StVZO für den Einsatz auf öffentlichen Straßen, das als Vorlage bei der örtlichen Zulassungsstelle zur Beantragung der Betriebserlaubnis für Einzelfahrzeuge bei der zuständigen Landesbehörde dient. Aufgrund von zu erwartenden konzeptbedingten Abweichungen des automatisierten Fahrzeugs von der StVZO muss außerdem eine Ausnahmegenehmigung nach § 70 StVZO beantragt werden. Ein hierfür zu beauftragender technischer Prüfdienst führt diese Abweichungen in einem separaten Gutachten nach § 70 StVZO auf und schlägt

³ <https://www.gesetze-im-internet.de/afgbv/AFGBV.pdf>

⁴ vgl. a. Zweig, M. (2024): „Gesetzlicher Rahmen für die Zulassung automatisierter Fahrzeuge“. In: Pitzen, C. et al.: „Gesetzlicher Rahmen für die Zulassung automatisierter Fahrzeuge“, S. 310 ff. Berlin

Maßnahmen vor, um diese Abweichungen abzumildern und das Fahrzeug somit im automatisierten Modus ohne Fahrer betreiben zu dürfen.

Basierend auf den Gutachten nach §§ 21 und 70 StVZO des Prüfdiensts kann die zuständige Behörde, in NRW die jeweilige Bezirksregierung (hier Detmold), eine Ausnahmegenehmigung nach § 70 StVZO erteilen, sofern alle Bedingungen erfüllt sind. Diese Ausnahmegenehmigung ist die Voraussetzung, um das Fahrzeug auf öffentlichen Straßen zu führen. Die Gutachten sind nur für das spezifisch begutachtete Fahrzeug gültig, ein baugleiches Fahrzeug mit einer abweichenden Fahrzeugidentifikationsnummer (FIN) ist separat zu begutachten und darf nicht ohne Genehmigung auf der Strecke eingesetzt werden.

Ausnahmegenehmigung für die Einsatzstrecke

Zur Erlangung der Ausnahmegenehmigung für die Strecke gem. § 70 Abs.1 StVZO empfiehlt es sich, frühzeitig mit den Vertretern der Genehmigungsbehörde, der Kommune, des Kreises, der Polizei etc. die infrage kommende(n) Strecke(n) zu begehen, potenzielle Konflikte zu identifizieren und Lösungsvarianten zu diskutieren. Dabei kann die Risiko-Analyse (s. AP 4) hilfreich sein, die die detaillierten Einschätzungen und Empfehlungen der Systemanbieter in Bezug zur geplanten Strecke enthält, um einen reibungslosen und sicheren Betrieb zu gewährleisten. Diese Analyse ist anbieterspezifisch und hat keinen rechtlich bindenden Charakter, bietet aber einen wichtigen Orientierungsrahmen und dokumentiert, welche Maßnahmen umgesetzt werden sollten. Die Analyse wird erfahrungsgemäß im Zuge des Genehmigungsprozesses mehrfach an die jeweiligen Erfordernisse angepasst.

Aufbauend auf den fahrzeugbezogenen Gutachten des Prüfdiensts (s.o.) und den allgemeinen streckenbezogenen Einschätzungen im Rahmen der Risiko-Analyse kann die zuständige Behörde den automatisierten Betrieb genehmigen. Dies geschieht unter Umständen mit der Einschränkung, dass zunächst nur Betriebsfahrten ohne Fahrgäste (Einmessung, Schulung des Begleitpersonals und Testfahrten) erlaubt sind. Im Anschluss an die Einmessfahrten begutachtet der Prüfdienst die Strecke im automatisierten Betrieb im Rahmen einer sog. Realfahrt nochmals und erstellt sein Gutachten, das der Genehmigungsbehörde als Grundlage für die während des gesamten Betriebszeitraums mit Fahrgästen gültige Ausnahmegenehmigung dient. Dieser Prozess muss für jede Einsatzstrecke separat durchgeführt werden.

Bezüglich der Anpassungsmaßnahmen entlang der Einsatzstrecke ist in enger Abstimmung mit der Genehmigungsbehörde, dem Prüfdienst sowie kommunalen Behörden und Akteuren zu entscheiden, welche umgesetzt werden können. Dazu kann bspw. die Ausweisung zeitlich befristeter Parkverbote (z.B. werktags von 8.00–17.00 Uhr) entlang der Route, die Installation von Hinweisschildern und Lokalisierungspanelen sowie die Ausweisung von Einbahnstraßen zählen. Hier empfiehlt sich eine enge Abstimmung mit der Genehmigungsbehörde, um bereits im Vorfeld abzuklären, ob Vorbehalte gegenüber bestimmten Regelungen bestehen. So muss bspw. darauf geachtet werden, dass die Informationstafeln für die anderen Verkehrsteilnehmer an den Einfahrten zum Betriebsbereich nicht mit StVO-konformen Verkehrszeichen verwechselt werden können und an separaten Pfosten anzubringen sind.

Das Gutachten des technischen Prüfdienstes hält i. d. R. auch explizit den jeweiligen Stand der Software fest. Änderungen der Software müssen dabei positiv begutachtet und genehmigt werden, bevor sie genutzt werden dürfen. Die Gutachten der Prüfdienste zu § 70 StVZO können die folgenden Auflagen beispielhaft empfehlen:

- Aufzeichnung relevanter Fahrdaten während des Fahrzeugbetriebs (Datarecording)
- Untersagung des Betriebs bei bestimmten Witterungsbedingungen
- Personenbeförderung nur innerhalb des festgelegten Geltungsbereiches

- Anforderungen an die Sicherheitsfahrer:innen, z.B.
 - Fahrerlaubnisklasse und Mindestbesitzdauer
 - Nachweis einer spezifischen Schulung
 - Führung einer Liste der Sicherheitsfahrer:innen
- Regelungen zur Einsatzzeit, z.B.
 - max. Einsatzdauer ohne Pause
 - max. tägliche Einsatzdauer

Weitere genehmigungsrelevante Faktoren

Sofern die Fahrzeuge als Teil des ÖPNV eingesetzt werden sollen, ist ggfs. eine Liniengenehmigung nach § 42 PBefG einzuholen und bei Erteilung sind bestimmte Pflichten einzuhalten. So muss bspw. der Ausfall von Fahrten unverzüglich bei der zuständigen Genehmigungsbehörde gemeldet werden oder es ist ein Verkehrsleiter nach Art. 4 Verordnung (EG) Nr. 1071/2009 nachzuweisen. Auch bei der Gestaltung des Fahrzeug-Brandings mussten Vorgaben berücksichtigt werden, u. a. § 20 BOKraft. So müssen auf der Längsseite des Fahrzeugs der Name und der Betriebssitz des betreibenden Unternehmens gut sichtbar angebracht sein. Seit der Novelle des PBefG 2021 besteht zudem eine rechtliche Grundlage für digitalbasierte On-Demand-Angebote, konkret als „Linienbedarfsverkehr“ (§ 44 PBefG) oder als „gebündelten Bedarfsverkehr“ (§ 50 PBefG). Diese Regelungen sind ggfs. bei Umsetzung eines Use-Cases (AP 5) zusätzlich zu beachten.

Sofern das zum Einsatz kommende Fahrzeug nicht im Besitz des Betreibers ist, muss ein Fahrzeugüberlassungsvertrag vorgelegt werden. Zudem muss eine aktuelle Bestätigung eines Kfz-Haftpflichtversicherers vorgelegt werden, dass unbeschadet der bestehenden Abweichungen von den Vorschriften der StVZO Versicherungsschutz im Schadensfall gewährt wird. Des Weiteren ist ein detaillierter Markierungs- und Beschilderungsplan mit der Verkehrsverwaltung der betreffenden Kommune abzustimmen. Die zuständige Straßenverkehrsbehörde erteilt schließlich noch die verkehrsrechtliche Anordnung gemäß § 45 Abs. 1 bis 3 StVO.

Im Folgenden sind die wichtigsten Schritte des geschilderten Genehmigungsprozesses für ein Fahrzeug dargestellt, für das bereits ein technisches Gutachten zur Funktionalen Sicherheit vorliegt.



Abbildung 2: Beispielhafter Genehmigungsprozess für den Betrieb im Öffentlichen StraßenRaum (Quelle: Nuts One GmbH)

Die Kosten für den Genehmigungsprozess – das Gutachten zur Funktionalen Sicherheit sowie die Anfertigung der Risiko-Analyse nicht mit eingerechnet – belaufen sich auf mehrere Tausend Euro. Hauptkostenfaktor sind bei Strecken der Größenordnung wie in AP 5 vorgeschlagen die Gutachten eines technischen Prüfdienstes zu Fahrzeug und Strecke. Demgegenüber bewegen sich die amtlichen Gebühren und Sachkosten für Zulassung, Ausnahme- und Liniengenehmigungen erfahrungsgemäß im niedrigen bis mittleren dreistelligen Bereich.

Infrastrukturelle Voraussetzungen

Um GNSS-Signale empfangen zu können, muss eine mehr oder weniger direkte Verbindung zu den genutzten Satelliten verfügbar sein. Dies bedeutet, dass nach Möglichkeit eine mehr oder weniger freie Sichtverbindung zum Himmel besteht, da Strukturen, bspw. Tunnel, Bäume bzw. Wälder, enge Bebauung etc., die Verbindung zur notwendigen Anzahl an Satelliten reduzieren können und die Güte des Signals dadurch eingeschränkt werden kann. Sollte differentielles GNSS genutzt werden, muss entweder eine eigene Bodenstation (i. d. R. eine entsprechende Antenne) auf einem erhöhten Punkt oder Gebäude in der Nähe des Betriebsbereichs installiert werden. Aber auch hier können Strukturen die Verbindung stören. Sofern keine eigene Station, sondern die Daten kommerzieller Anbieter genutzt werden, ist zwingend eine gute und durchgehende Mobilfunkabdeckung nötig, um die Daten laufend übertragen zu können. Die Formulierung der genauen Anforderungen und möglicher Alternativen ist Aufgabe des Systemanbieters.

Sofern das Fahrzeug Lidar-Sensoren zum Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) nutzt, ist davon auszugehen, dass feste Strukturen vorhanden sein müssen, die eine zuverlässige und wiederkehrende Verortung (Lokalisierung) in der Umwelt ermöglichen. Daraus resultiert, dass entlang des Einsatzbereichs feste Strukturen wie Gebäude etc. vorhanden sein müssen, die sich über einen längeren Zeitraum hinweg nicht verändern. So konnten in vergleichbaren Projekten Bäume nicht genutzt werden, da die Baumkronen durch Wind und Wachstum für die Sensoren immer anders aussehen, während auch bereits die Stämme durch ihr geringes Wachstum über die Zeit Probleme bereiteten. Daraus folgte bislang, dass in Gebieten ohne feste Strukturen entweder Landmarken in Form von Schildern angebracht wurden oder auf ergänzende Technologien, die sich bspw. an Fahrbahnmarkierungen orientieren, zurückgegriffen werden musste.

Ergänzend ist zu validieren, ob der Einsatz der Inertial Measurement Unit (IMU) als Teil eines Trägheitsnavigationssystems nur die Befahrung bestimmter Fahrbahnbeläge ermöglicht bzw. nur die Befahrung befestigter Fahrbahnen empfohlen wird, um ein Durchdrehen der Reifen und somit eine fehlerhafte Positionsbestimmung über die Radumdrehung zu vermeiden. Darüber hinaus gilt es mit den Systemanbietern zu klären, ob oder inwieweit das Befahren unbefestigter Wege zu vermeiden ist, da aufgewirbelte Staubfahnen die Sichtweite der Lidar-Sensoren einschränken und diese über Gebühr verschmutzen. Auch können unbefestigte oder locker verlegte Untergründe zu Problemen führen, wenn das Fahrzeug konstant der identischen Trajektorie folgt und sich im Zeitverlauf immer tiefere Spurrillen bilden.

Haltestellen sind für das technische Funktionieren des automatisierten Systems nicht notwendig, allerdings für die Nutzenden des Angebots von großer Relevanz. Deshalb sollte darauf geachtet werden, dass entlang der Route ausreichend Möglichkeiten bestehen, um ein möglichst engmaschiges Haltestellennetz anzulegen, um die Attraktivität durch kurze Wege zu erhöhen. Sofern die Mitnutzung von Standard-Haltestellen opportun ist, sollte dies angestrebt werden. Dabei ist darauf zu achten bzw. zu testen, wie die Fahrgäste an diesen Haltestellen gut und sicher aussteigen können. Insbesondere mit Blick auf die Höhe moderner Haltestellenborde zur Ermöglichung niveaugleicher Einstiege.

Besondere Beachtung sollte dabei den Bedürfnissen von Menschen gewidmet werden, die in ihrer individuellen Mobilität eingeschränkt sind.

Sofern das örtliche Verkehrsunternehmen nicht gleichzeitig Betreiber des automatisierten Angebots ist, sollte aus organisatorischer Sicht deren Kontakt gesucht werden, um die jeweiligen Besonderheiten und Bedürfnisse aufeinander abstimmen zu können und Konflikte zu vermeiden. Einerseits gilt es das Fahrpersonal für die Bedürfnisse und Besonderheiten der automatisierten Fahrzeuge zu sensibilisieren, andererseits sollte der Betrieb der automatisierten Fahrzeuge nicht den klassischen Linienbetrieb beeinträchtigen, um negative Auswirkungen auf die Akzeptanz zu vermeiden. Mit Blick auf die evtl. Einrichtung virtueller Haltestellen für einen On-Demand-Betrieb sind organisatorische Maßnahmen wichtig, damit dort jederzeit ein sicherer und reibungsloser Zu- und Ausstieg möglich ist. Die virtuellen Haltestellen dürfen bspw. nicht durch andere Verkehrsteilnehmer blockiert werden. Hier kann auf Erfahrungen und Good Practices aus laufenden On-Demand-Betrieben mit konventionellen Fahrzeugen zurückgegriffen werden.

Die infrastrukturellen und organisatorischen Anforderungen an Abstellung und Ladung werden im AP 3 dargestellt.

AP 3: Anforderungen an Abstellung und Ladung

Es wird davon ausgegangen, dass nach wie vor Personal vor Ort eingesetzt wird, das sich u. a. um die Fahrzeuge kümmert, Zugang zum Depot schafft und die Fahrzeuge lädt. Falls nicht, müssen diese Prozesse ebenfalls automatisiert bzw. zur Automatisierung befähigt werden. Dazu zählen automatische Ladevorgänge, z. B. induktiv oder per Pantograph, aber auch der Zugang zum Depot und weitere Arbeitsschritte. Im Folgenden wird auf die nächsten notwendigen Schritte eingegangen und davon ausgegangen, dass sowohl Personal vor Ort als auch Sicherheitsfahrer:innen notwendig sein werden.

Abstellung

Die Anforderungen an Abstellung und Ladung werden maßgeblich durch die äußeren Abmaße des Fahrzeugs und die verwendete Ladeelektronik bestimmt. Weiterer Raumbedarf und Bedarf an Ladekapazität entsteht naturgemäß, wenn mehrere Fahrzeuge in einem Depot abgestellt werden sollen. In diesem Fall sind dementsprechend auch Fahrgassen zu berücksichtigen.

Mit Blick auf die Sensorik zur Hinderniserkennung sollte geprüft werden, ob seitlich des Fahrzeugs zusätzlicher Abstand, der über die reinen Abmessungen des Fahrzeugs hinausgeht, zu den Zargen von Toren o. Ä. eingehalten werden muss. Am Beispiel des INYO L7e bedeutet dies, dass neben der Breite von 1.800 mm pro Fahrzeugseite ggfs. zusätzlich ein Sicherheitsabstand zu berücksichtigen ist. Die Höhe des INYO L7e sollte bei der Suche nach geeigneten Immobilien keine Herausforderung darstellen und handelsübliche Garagentore durchfahren können. Mit Blick auf die angestrebten Folgetätigkeiten mit dem Zugfahrzeug namens „Pro“ sollte geprüft werden, ob dieses eine größere Höhe aufweisen wird und dies bei der Standortfindung zu berücksichtigen ist. Neben den Dimensionen des Fahrzeugs sollte abgeklärt werden, ob die Unterstände Mindesttemperaturen gewährleisten können, sofern dies, z. B. aufgrund der Temperaturempfindlichkeit Batterien, notwendig ist.

Im Rahmen von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben mit automatisierten Fahrzeugen wird empfohlen, dass der Standort zum Abstellen und Laden der Fahrzeuge auch den Anforderungen der Mitarbeitenden im Betrieb gerecht wird. Dazu zählen einerseits die Mitarbeitenden für Forschung und Entwicklung, die an den Fahrzeugen arbeiten (Wartung, Reparatur, Tests etc.) und andererseits die

Sicherheitsfahrer:innen. Es wird empfohlen, Arbeitsplätze zum Arbeiten an den Fahrzeugen, bspw. Hebebühnen, und Büroarbeitsplätze vorzuhalten, aber auch Besprechungs- und Schulungsräumlichkeiten. Darüber hinaus sind die üblichen Sozialräume (Pausenräume, Teeküche, Toiletten etc.) unerlässlich, insbesondere um den Sicherheitsfahrer:innen ein attraktives Arbeitsumfeld zu schaffen. In bisher durchgeführten Projekten war das Fehlen von Sozialräumen ein oft kritizierter Punkt.

Sofern ein Einsatzort dauerhaft bespielt werden soll, kann mit Blick auf weitere mittel- bis langfristige Entwicklungsschritte des automatisierten Systems hin zu SAE-Level 4 überlegt werden, ob im Depot Vorkehrungen zur Einrichtung einer technischen Aufsicht (nach AFGBV) bzw. eines Arbeitsplatzes für Teleoperation getroffen werden. Je nach Anforderung an die technische Aufsicht bzw. den Tele-Arbeitsplatz, z.B. redundante Internetverbindungen oder Anforderungen an Latenzen, sollte dies frühzeitig geprüft und ggfs. nachrüstet werden.

Für ein Forschungs- und Entwicklungsvorhaben kann es darüber hinaus von Vorteil sein, wenn das Depot über ein befestigtes Freigelände verfügt, um Funktionalitäten nach Reparatur- und Wartungsarbeiten abseits des öffentlichen Straßenraumes testen zu können. Auch sollte das Depot relativ nahe an der Einsatzstrecke liegen, um im täglichen Betrieb zügig den automatisierten Betriebsbereich erreichen zu können. Sofern dies nicht möglich ist, sollte das Fahrzeug den Betriebsbereich zumindest auf eigener Achse im manuellen Modus erreichen können. Von der Nutzung von Transportern zum Verbringen der automatisierten Fahrzeuge wird aufgrund des hohen Aufwands (Zeit und Kosten) abgeraten.

Ladung

Die allgemeinen Anforderungen (Leistung in kW, Kapazität in kWh, Typ des Ladesteckers etc.) an die Ladung formuliert das Fahrzeug. Es ist frühzeitig darauf zu achten, dass das Depot mit entsprechend dimensionierten und abgesicherten Leitungen ausgestattet ist, um ein zielgerichtetes Laden zu ermöglichen. Solange kein durchgehender Betrieb angestrebt wird, sollten haushaltsübliche Wallboxen ausreichend sein, um die Fahrzeuge über Nacht zu laden. Sofern im täglichen Betrieb Zwischenladungen notwendig sind, sollte mit der höchstmöglichen Ladeleistung geladen werden, um nicht produktive Zeiten reduzieren zu müssen und um die Fahrzeuge möglichst schnell wieder in den Einsatz zu bringen. Alternativ könnten die Ladezeiten durch Backup-Fahrzeuge ausgeglichen werden. Hierbei gilt es abzuwägen, ob für das Laden während des täglichen Betriebs ins Depot zurückgekehrt werden soll oder ob die Wege zu lang sind und exklusive Ladeinfrastruktur am oder nahe des Einsatzbereichs geschaffen werden müsste. Um den Aufwand zu reduzieren, wird eine Rückkehr zum Depot empfohlen.

Aus operativer Sicht wird die Nutzung öffentlich zugänglicher Ladesäulen nicht empfohlen, da dadurch höhere Betriebskosten entstehen und die Nutzung i. d. R. nicht planbar ist, wenn Dritte die Ladesäulen ebenfalls nutzen und ggfs. kein freier Ladepunkt zur Verfügung steht, wenn er benötigt wird. Aus diesem Grund wird empfohlen, eigene Ladepunkte zu errichten bzw. sich exklusiven Zugang zu verschaffen.

Werden Mietobjekte bzw. Teile von Mietobjekten als Depot genutzt, wird empfohlen, dass – sofern nicht vorhanden – ein eigener Stromzähler errichtet wird, um eine Abrechnung des Verbrauchs zu ermöglichen. Wird das Depot bei Projektpartnern oder assoziierten Partnern bezogen bzw. errichtet, sollte im Vorfeld die Notwendigkeit eines separaten Stromzählers geklärt werden, um auch dort die Abrechnung zu vereinfachen. Vor Bezug eines Depots ist deshalb im Einzelfall mit Fachexpert:innen zu klären, ob die vorhandenen Leitungen für den angestrebten Zweck und mit Puffer für die Erweiterung

der Flotte ausreichend sind oder ob sie erweitert werden müssen und können. Aufgrund der (mangelnden) Verfügbarkeit von Fachkräften und Material wird empfohlen, dies frühzeitig und mit zeitlichen Puffern zu klären, um dadurch nicht in Zeitverzug zu geraten.

Pausen

Sollten Strecke und Depot nicht nah beieinander liegen, sollte erfahrungsgemäß rechtzeitig geklärt werden, wo und wie die Sicherheitsfahrer:innen Pausen verbringen und zwischendurch Toiletten aufsuchen können.

AP 4: Empfehlungen zur systematischen Risiko-Analyse auf der konkreten Einsatzstrecke

Die Erstellung einer strukturierten und systematischen Risiko-Analyse ist ein zentrales Element auf dem Weg zur Etablierung eines operativen Betriebs. Dabei sollte die Risiko-Analyse von Beginn an so konzipiert werden, dass das Vorgehen und die Struktur als Blaupause für die Bewertung weiterer Strecken dienen kann. Sicherlich werden im Prozess immer wieder Anpassungen notwendig und sinnvoll sein, aber es sollte von Beginn an eine einheitliche Struktur angestrebt werden, um eine intersubjektive Vergleichbarkeit und Reproduzierbarkeit zu gewährleisten. Die Risiko-Analyse ist das zentrale Instrument, um mit den anderen beteiligten Stakeholdern zielgerichtet auf die Inbetriebnahme hinzuwirken. Ein professioneller und nachvollziehbarer Bericht zeigt, dass die Systemanbieter sich intensiv mit den Gegebenheiten auseinandergesetzt haben und die notwendigen Schritte aufzeigen, die einen reibungslosen und sicheren Betrieb ermöglichen. Dies ist insbesondere wichtig, um Akteure von großer Relevanz wie Prüfdienste und Genehmigungsbehörden zu überzeugen (s. AP 2). Daher sollte der Bericht frei von Marketing-Floskeln sein und nüchtern-sachlich argumentieren, wie antizipierte Risiken vermieden oder entschärft werden können.

Die Risiko-Analyse muss die abstrakten Fähigkeiten des Systems, sprich: die Operational Design Domain, mit dem konkreten Einsatzbereich abgleichen. Dabei sind Risiken, Herausforderungen und KO-Kriterien eindeutig herauszustellen und die Befahrbarkeit der Strecke im aktuellen Zustand (Ist-Zustand) zu bewerten. In einem nächsten Schritt gilt es Optionen aufzuzeigen, wie der Soll-Zustand (abgeleitet aus der ODD) erreicht werden kann. Dabei ist zu beachten, dass der Soll-Zustand nicht immer erreicht werden kann und der Betrieb dann nicht möglich ist. Deshalb sollten die formulierten KO-Kriterien zuallererst betrachtet und bei fehlenden Alternativen auf die aufwändigere Erstellung einer Risiko-Analyse verzichtet werden, um Ressourcen bei allen Beteiligten zu schonen.

Beim Aufzeigen, wie der Soll-Zustand erreicht werden kann, sollten unterschiedliche Optionen und Varianten, sofern möglich, zur Auswahl gestellt werden, um die Realisierungschancen zu erhöhen. Außerdem sollte angestrebt werden, wie die Anpassungen mit mehr oder weniger Aufwand (zeitlich, finanziell, organisatorisch) umgesetzt werden können und in einem vertretbaren Verhältnis zur angestrebten Betriebsdauer stehen. Infrastrukturmaßnahmen und eine Neuordnung des Verkehrs vor Ort können bei unterschiedlichen Gruppen auf Widerstand treffen, bspw. Verkehrsbehörde, Bevölkerung, Rettungsdiensten, Müllabfuhr, Verkehrsbetrieben etc.

Im Anschluss sollte der erarbeitete Bericht in einem ersten Schritt mit den zuständigen Behörden besprochen werden, um zu klären, ob bestimmte Bereiche anders bewertet und welche Maßnahmen in welcher Ausprägung umgesetzt werden können. So wird klar, inwieweit die Risiken reduziert werden können und ob der Soll-Zustand erreicht werden kann. Nach der Überarbeitung des Berichts sollte die

neue Version mit dem i.R. des Genehmigungsprozesses beauftragten technischen Prüfdienst, der zuvor mit den Fähigkeiten und Limitationen des Systems vertraut gemacht werden sollte, diskutiert werden. Dessen Einwände müssen berücksichtigt und weitere bzw. andere Maßnahmen ergriffen werden. Diese Ergebnisse sollten wiederum – ebenfalls eingetaktet in den Genehmigungsprozess – mit den zuständigen Behörden abgestimmt werden.

Darüber hinaus ist es empfehlenswert, mit der Genehmigungsbehörde, den betreffenden örtlichen Behörden, dem technischen Prüfdienst sowie Stakeholdern wie Polizei und Feuerwehr eine gemeinsame Begehung durchzuführen, um die kritischen Punkte aus der Risiko-Analyse vor Ort zu diskutieren und ggfs. Lösungen zu finden, da bestimmte Situationen bei der Inaugenscheinnahme vor Ort besser oder überhaupt erst einschätzbar sind. Die im Anschluss erstellte Version der Risiko-Analyse greift die Umsetzung der vereinbarten Maßnahmen als erfolgt auf und bewertet den Zielzustand. Diese Bewertung dient sodann dem technischen Prüfdienst als Inputgröße, um sein Streckengutachten, wie in AP 2 beschrieben, zu erstellen.

Die Risiko-Analyse kann nach dem folgenden Schema erarbeitet werden. Die hier skizzierten Maßnahmen und Folgen bei Nicht-Umsetzung sind als *beispielhafte* Problembeschreibungen und Lösungswege zu verstehen.

(1) Operational Design Domain (ODD) erarbeiten / strukturieren und darstellen

- Witterungsbezogene Einschränkungen:
 - bspw. Niederschlag, Wind, Temperaturen, Nebel, Glatteis etc.

(2) Abgleich von geplantem konkretem Einsatzbereich mit der ODD

- Aufzeigen von Risiken
 - KO-Kriterien:
 - Bspw. Autobahn oder zu querender Bahnübergang
 - Probleme mit Lokalisierung:
 - Bspw. fehlende Strukturen für Lidar-Sensoren
 - Bspw. Verschattung von Signalen durch Bäume/Gebäude
 - Probleme mit Hinderniserkennung:
 - Nicht einsehbare Kreuzungen
 - Gehölz direkt am Straßenrand
 - Konflikte mit anderen Verkehrsteilnehmern:
 - Sehr hohes Verkehrsaufkommen
- Aufzeigen von Maßnahmen zur Risiko-Reduzierung
 - KO-Kriterien:
 - Autobahn => alternative Routenführung
 - Probleme mit Lokalisierung:
 - Fehlende Strukturen => Installation von Landmarken oder Nutzung von Straßenmarkierungen
 - Verschattung durch Bäume à Alternativen Streckenabschnitt nutzen
 - Probleme mit Hinderniserkennung:
 - Nicht einsehbare Kreuzung => Reduzierung Geschwindigkeit, Änderung Vorfahrtsregelung, Installation Lichtsignalanlage
 - Gehölz => Rückschnitt oder regelmäßiger Formschnitt
 - Konflikte mit anderen Verkehrsteilnehmern:
 - Sehr hohes Verkehrsaufkommen => kein Betrieb während Rush Hour, alternative Routenführung, Lichtsignalanlage als Querungshilfe
- Aufzeigen, welche Folgen die Nicht-Umsetzung der jeweiligen Maßnahme hat

- KO-Kriterien:
 - Autobahn => ohne Alternative kein Betrieb
- Probleme mit Lokalisierung:
 - Kein durchgehender automatisierter Betrieb, Sicherheitsfahrer notwendig bzw. auch perspektivisch kein L4-Betrieb etc.

(3) Diskussion der Umsetzbarkeit der Maßnahmen mit den verantwortlichen Akteuren

- In Abhängigkeit von getroffenen Vereinbarungen Anpassung der Risiko-Analyse

(4) Erarbeitung eines Zeitplanes bis zur Betriebsaufnahme

- Zuweisung von Zuständigkeiten
- Aufzeigen von Abhängigkeiten und möglichen Verzögerungen

Neben der Überarbeitung der eigentlichen Analyse wird empfohlen, die bei der Erarbeitung gesammelten Erfahrungen – sowohl positive als auch negative – auszuwerten und in die Verbesserung des Analyse-Berichts und den Prozess der Analyse fließen zu lassen. Um eine Skalierung des Systems vorzubereiten, sollte der Analyse-Bericht auch für Nicht-Expert:innen sowie Behörden und Stakeholder verständlich sein. Die Nutzung von standardisierten Abschnitten reduziert dabei einerseits den Aufwand für die Erstellung, andererseits ermöglicht eine standardisierte Form, dass die Analysen von unterschiedlichen Mitarbeitenden zu ähnlichen Ergebnissen kommen und eine Vergleichbarkeit gesichert wird.

AP 5: Mögliche Pilotstrecken

Unter Berücksichtigung von Vorarbeiten hinsichtlich der Anwendungsszenarien wurden drei Routen für Piloteinsätze identifiziert, die im Folgenden in kurzen Steckbriefen dargestellt sind (Abbildungen 3-5). Sie beziehen sich auf Bad Driburg, Bad Lippspringe und Horn-Bad Meinberg. Im Hinblick auf das frühe Entwicklungsstadium der Cabs und insbesondere die komplexe behördliche Zulassungssituation zeichnen sie sich durch relative Einfachheit und niedrige Komplexität aus. Die wichtigsten Kriterien waren hierbei die erste und letzte Meile von und zu Points of Interest wie z.B. (Kur-)Kliniken, eine Zubringerfunktion zu SPNV bzw. ÖPNV sowie fakultativ eine On-Demand-Option. Es handelt sich um eine erste grobe remotebasierte Einschätzung; sie ersetzt ausdrücklich nicht die ausführliche Untersuchung vor Ort, und erst recht nicht die eingehenden Checks einzelner Streckenabschnitte i.R. einer Risiko-Analyse.

Unsere Empfehlung bzgl. eines der Use Cases fällt differenziert aus. Route 1 ist aus Nachfragesicht mit am spannendsten und unsere Empfehlung. Der Zubringer zum SPNV/ÖPNV und die Anbindung mehrerer Kliniken, der Innenstadt sowie der Therme lässt eine hohe Nachfrage erwarten. Allerdings ist auch das eng begrenzte Platzangebot der vorgesehenen Cab-Fahrzeuge zu beachten. Zudem könnte eine Auflage der Ausnahmegenehmigung sein, ausdrücklich außerhalb der Hauptverkehrszeiten zu agieren, um zu komplexe Verkehrssituationen bei der Befahrung von Hauptstraßen auszuschließen oder um den sonstigen ÖPNV nicht zu konkurrenzieren. Route 3 ist eine zweite Empfehlung aus technischer Sicht. Sie stellt vsl. die geringsten infrastrukturellen Anforderungen.

Falls die Zulassung des vorgesehenen Fahrzeugs im öffentlichen Straßenraum größere Herausforderungen bereiten sollte, sollte zunächst ein Einsatz auf Privatgelände in Erwägung gezogen werden. Ein konkreter Einsatznutzen, bspw. die Binnenerschließung eines Campus, sollte idealerweise dennoch darstellbar sein.

Steckbrief Route 1: Bad Driburg

Hauptstrecke ca. 2,3 km (durchgezogene Linie), Nebenstrecke ca. 900 m (gestrichelte Linie):

- Verbindung Bahnhof – Therme/Schwimmbad über Bahnhofstraße und Innenstadt (kein Gleisübergang notwendig)
- Bei einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 8 km/h würde eine einfache Fahrt der Hauptstrecke ca. 17-20 Minuten benötigen
- Auf der Route liegen in Laufweite Hotels, Gästehäuser, Restaurants und die Innenstadt
- An der Therme befinden sich zwei Kliniken, die ebenfalls angebunden werden könnten (Gräfliche Kliniken und Knappschafts-Klinik)
- Über eine weitere (On-Demand-)Strecke könnten die beiden Kliniken im Westen angebunden werden (Klinikum Weser-Egge und St. Josef Hospital)
- Insbesondere zu Tagesrandzeiten wäre ein On-Demand-Betrieb sinnvoll. Busse nur bis gegen 19:30 Uhr (bspw. Linien Bürgerbus 577 oder R76; Quelle: westfalentarif.de)

Infrastrukturelle Gegebenheiten und erwartete mögliche Problemstellen:

- Überwiegend ruhigerer Verkehr zu erwarten
- Konrad-Adenauer-Ring könnte herausfordernd sein, da es sich um eine Hauptstraße handelt
- Eine Alternative wäre über Alleestraße denkbar

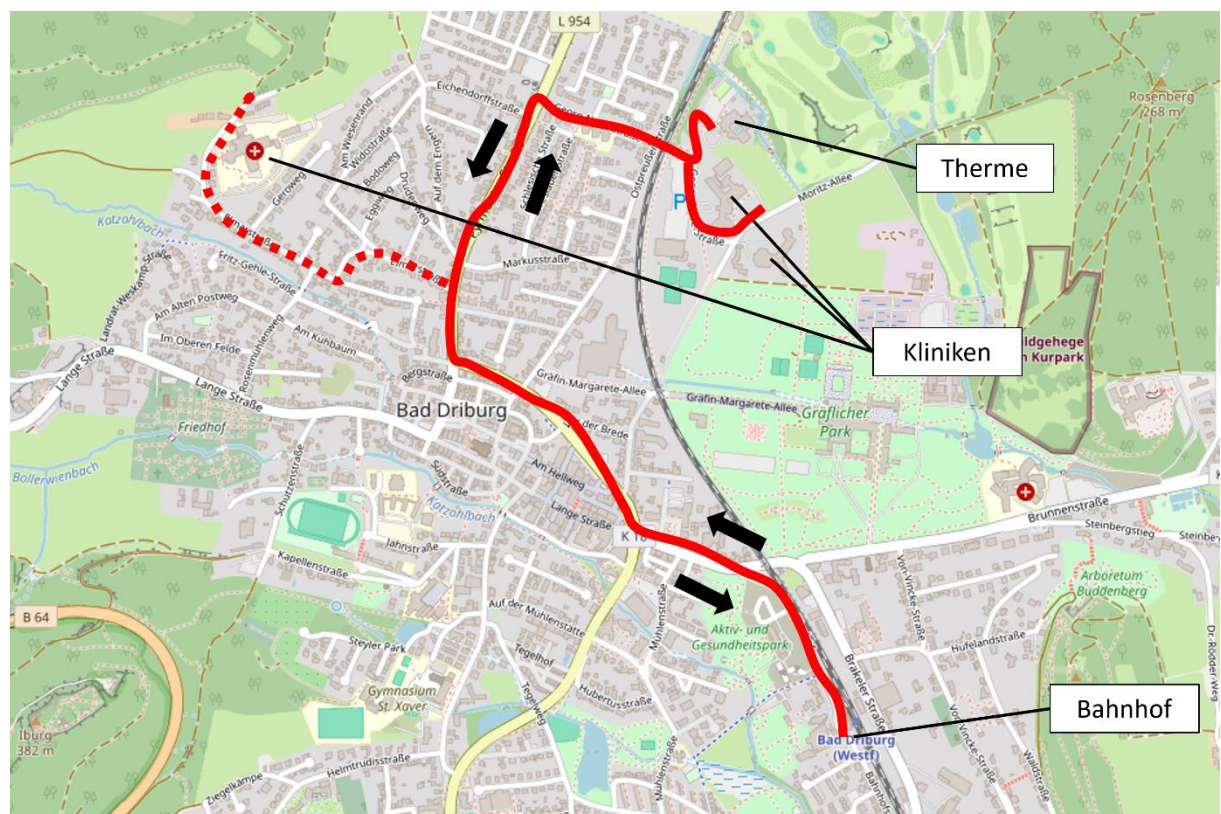


Abbildung 3: Route Bad Driburg (Kartengrundlage: <https://www.openstreetmap.org/>)

Steckbrief Route 2: Bad Lippspringe

Hauptstrecke ca. 1,7 km (durchgezogene Linie), Nebenstrecke ca. 900 m (gestrichelte Linie):

- Anbindung der Therme über Paul-Fürstenberg-Straße, Waldstraße und Kurparkstraße mit Kliniken, der Innenstadt und der zentralen Bushaltestelle in der Stadtmitte
- Bei einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 8 km/h würde eine einfache Fahrt auf der Hauptstrecke ca. 12-15 Minuten benötigen
- Entlang der Strecke befinden sich die Therme, die Cecilien-Klinik, die Klinik Waldfrieden, die Teutoburger-Wald-Klinik und die Karl-Hansen-Klinik
- Auf weiteren Streckenabschnitten wäre auch die Anbindung von touristischen POIs und Kurhotels denkbar, z.B. im On-Demand-Modus (in diesem Fall könnte ein feineres Netz aus gemapten Strecken Vorteile für einen On-Demand-betrieb bringen)
- Auch die Waldgebiete bzw. Naherholungsgebiete nordwestlich der Innenstadt könnten am Rand mit weiteren Streckenerweiterungen angebunden werden

Infrastrukturelle Gegebenheiten und erwartete mögliche Problemstellen:

- Kreuzung der viel befahrenen Detmolder Straße
- Ggfs. Engstellen in der Kurparkstraße
- Alternative Route ggfs. über Detmolder Straße und Lange Straße

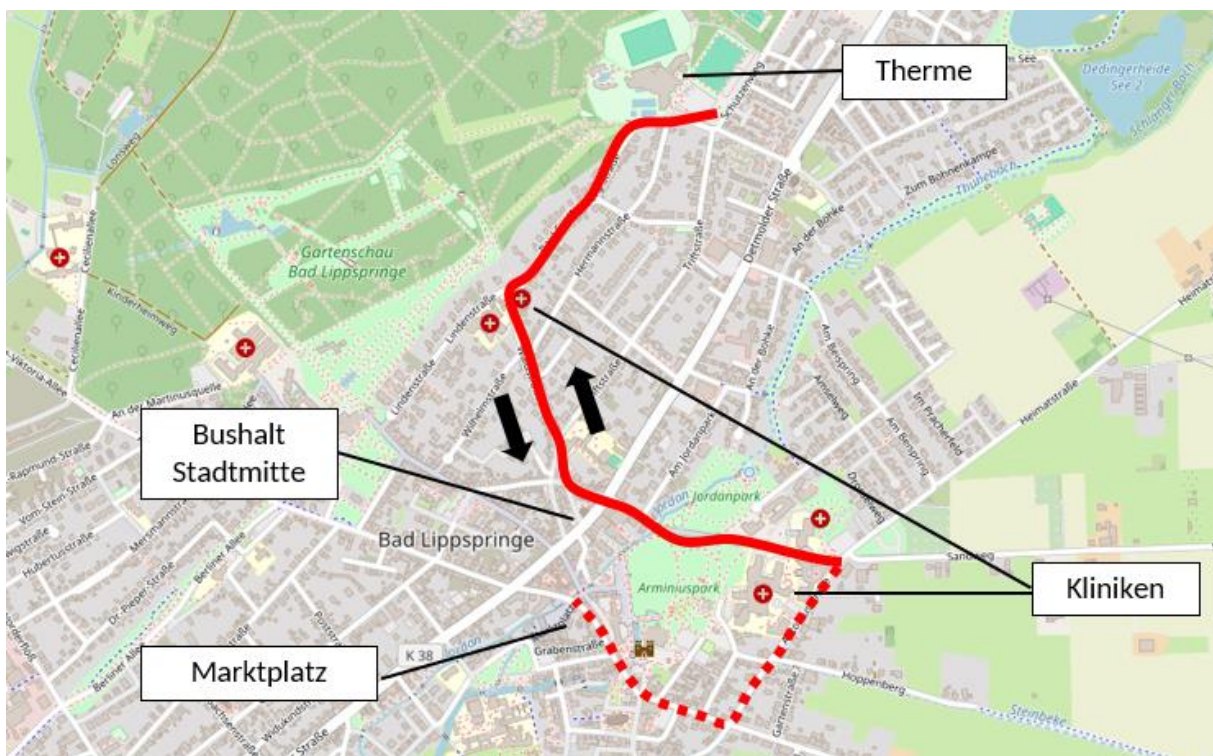


Abbildung 4: Route Bad Lippspringe (Kartengrundlage: <https://www.openstreetmap.org>)

Steckbrief Route 3: Horn-Bad-Meinberg

Hauptstrecke ca. 1,6 km, Nebenstrecken insg. ca. 1,5 km (transparente hellrote Fläche):

- Anbindung des Bahnhofs an die Innenstadt über das Gewerbegebiet an der Kampstraße
- Bei einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 8 km/h würde eine einfache Fahrt der Hauptstrecke ca. 12-15 Minuten benötigen
- Insbesondere zu Tagesrandzeiten wäre ein On-Demand-Betrieb sinnvoll. Busse nur bis gegen 19:30 Uhr (Linie 782), laut westfalentarif.de
- In der Innenstadt befinden sich Touristenattraktionen und bspw. ein Senioren- u. Pflegeheim, aber auch Restaurants und der Marktplatz

Infrastrukturelle Gegebenheiten und erwartete mögliche Problemstellen:

- Größtenteils ruhigere Straßenverhältnisse erwartet
- u.U. enge Straßenverhältnisse im Innenstadtkern
- u.U. Landmarken im Kurpark notwendig, um fehlende Lidar-Abdeckung zu kompensieren

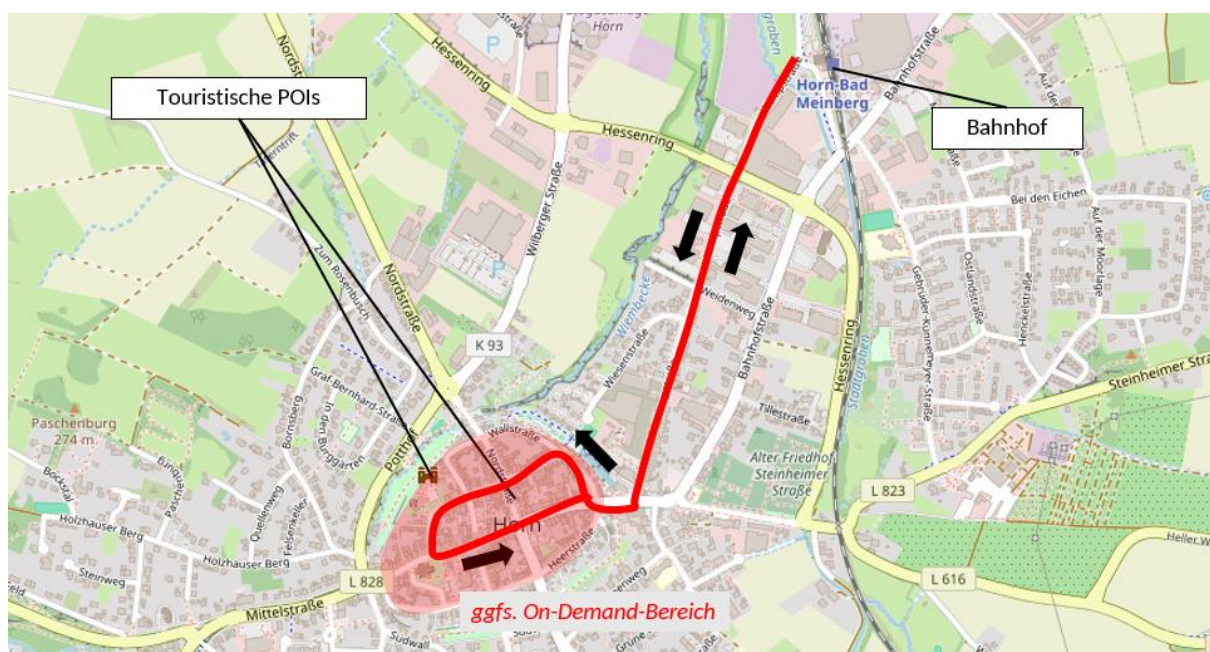


Abbildung 5: Route Horn-Bad-Meinberg (Kartengrundlage: <https://www.openstreetmap.org/>)

Für die Auswahl der Routen wurden nur innerörtliche Abschnitte ausgewählt, um eine Ausnahme-genehmigung wie oben beschrieben wahrscheinlicher zu machen. Straßen mit Geschwindigkeitsbegrenzungen über 50 km/h kommen aufgrund der hohen relativen Geschwindigkeitsdifferenz nicht in Frage, da davon auszugehen ist, dass die Fahrzeuge zulassungsbedingt zunächst nicht mehr als ca. 20-25 km/h erreichen dürfen. Die Höchstgeschwindigkeiten bei bisherigen vergleichbaren Vorhaben betrugen 15-20 km/h; dabei wurden Durchschnittsgeschwindigkeiten von ca. 8-9 km/h erreicht. Grund hierfür ist das relativ konservative, „vorsichtige“ Agieren der meisten automatisierten Fahrzeuge im realen Straßenverkehr. Eine Strecke, die verkehrlich und infrastrukturell wenig komplex ist, kann zu höheren Durchschnittsgeschwindigkeiten führen.

Einschätzung potenzieller Umsetzungsrisiken

Wie in diesem Ergebnisbericht geschildert, erweist sich der Prozess zur Realisierung eines Fahrbetriebs mit Passagieren in automatisierten Fahrzeugen bis SAE-Level 3 als sehr komplex. Die wesentlichen Umsetzungsschritte, die sich hauptsächlich um das mehrstufige Genehmigungsverfahren gruppieren, sind in AP 2 skizziert. Die Erfahrungen aus mehreren realisierten Vorhaben haben gezeigt, dass v.a. die Konzertierung aller Schritte und Stakeholder aus einer Hand dazu beiträgt, derartige Projekte auf die Straße zu bringen bzw. sie termingerecht auf die Straße zu bringen. Nichtsdestotrotz ergibt sich eine Reihe von Risiken, die den Gesamtprozess zumindest verzögern können.

Mögliche Risiken mit mehr oder weniger großer Tragweite sind hier in einer Auswahl aufgeführt (da u.a. die Parameter und der Entwicklungsstand des zum Einsatz vorgesehenen Fahrzeugs nur teilweise bekannt sind, ist diese Darstellung nicht vollständig):

- Keine fristgerechte Vorlage eines technischen Gutachtens zur Funktionalen Sicherheit (FuSi). Es ist eine Voraussetzung für den Genehmigungsprozess zum Einsatz auf öffentlichen Straßen.
- Keine rechtzeitige oder eine falsche Einschätzung von KO-Kriterien i.R. der Risiko-Analyse. Dadurch entsteht viel vermeidbarer Aufwand im Vergleich zur frühzeitigen Findung realisierbarer Alternativen.
- Infrastrukturmaßnahmen und eine Neuordnung der örtlichen Verkehrsführung treffen selbst bei zeitlich begrenztem Pilotbetrieb auf Widerstand, bspw. bei Behörden, Bevölkerung, Rettungsdiensten, Müllabfuhr, Verkehrsbetrieben. Ist die Straßenverkehrsbehörde nicht von den Maßnahmen überzeugt, könnte etwa die verkehrsrechtliche Anordnung versagt bleiben bzw. es kommt zu Verzögerungen.
- Keine oder mangelnde frühzeitige Abstimmung mit Behörden und anderen Stakeholdern i.R. des Genehmigungsprozesses. Dies kann zu teils längeren Verzögerungen führen.
- Mobilfunk- und GNSS-Abdeckung sind nicht in ausreichender Qualität vorhanden.
- Nicht alle erforderlichen Voraussetzungen zum Erhalt der (Ausnahme-)Genehmigungen, z.B. nach §§ 21 und 70 StVZO für Fahrzeug und Einsatzstrecke, wurden rechtzeitig bedacht bzw. getroffen. Dies kann zum Versagen der Genehmigung oder zu Verzögerungen führen.
- Der dem automatisierten Fahrbetrieb zugrunde liegende Stand der Software ändert sich derart, dass er neu durch den technischen Prüfdienst begutachtet und genehmigt werden muss. Dies führt zu Verzögerungen und Mehraufwand.
- Untersagung des Betriebs bei bestimmten Witterungsbedingungen. Dies schränkt die Einsatzzeiten für einen Pilotbetrieb ggfs. stark ein, v.a. im Winterhalbjahr.
- Keine rechtzeitige Abstimmung beim Aufgabenträger des ÖPNV bzgl. Liniengenehmigung nach § 42 PBefG und/oder Genehmigung als Bedarfsverkehr (§§ 44 oder 50 PBefG). Diese könnten versagt werden, weil das bisherige Busangebot als ausreichend angesehen wird oder dessen Betrieb beeinträchtigt werden könnte.
- Kein generelles frühzeitiges Abfragen von Genehmigungsfristen bei den jeweiligen Behörden kann zu Verzögerungen führen.
- Kein frühzeitiges „Mitdenken“ von Querverbindungen bzw. Bypässen im Straßennetz für den On-Demand-Modus. Dadurch kann es bei bestimmten Buchungen zu vermeidbaren Umwegen kommen.

- Keine festen Strukturen wie z.B. Gebäude entlang des Einsatzbereichs (sofern Systemanforderung). Daraus folgt ggfs., dass Landmarken in Form von Schildern angebracht werden oder andere Technologien zur Anwendung kommen müssen (bspw. zur Orientierung an Fahrbahnmarkierungen).
- Es steht keine geeignete Räumlichkeit als Depot für das/die Fahrzeug(e) zur Verfügung. Längere Strecken zur oder gar ein täglicher Transport bis hin zur Einsatzstrecke erhöhen den Aufwand.
- Es wird nicht rechtzeitig bedacht, dass ein sicheres und hinreichendes Laden der Fahrzeuge bestimmte Anforderungen stellt (Leistung in kW, Kapazität in kWh, Typ des Ladesteckers, abgesicherte Leitungen etc.).
- Entlang der Einsatzstrecke steht in zu großem Umfang Vegetation, welche die Orientierung durch die Sensorik beeinträchtigt. Dadurch wird Mehraufwand bei Grünschnitt und -pflege erzeugt bzw. durch die ständige Kommunikation mit Grundstücksbesitzern, sofern es sich um private Anrainer handelt.
- Die Verfügbarkeit von Fachfirmen und Materialien z.B. für Bau- und Umbaumaßnahmen wird nicht rechtzeitig geklärt. Im Zweifel kommt es zu zusätzlichen Verzögerungen aufgrund inzwischen eingetretener Witterungsverhältnisse (z.B. Frost), was u.a. den Tiefbau oder das Aufbringen von Straßenmarkierungen beeinträchtigen kann.
- Der Mangel an geeignetem Personal zur Umsetzung von Pilotvorhaben im Allgemeinen oder von Personal, dass zur Ausbildung für Fahrzeug-Begleitpersonal (Operatoren) in Frage kommt, wird nicht rechtzeitig bedacht. Dabei sollte auch eine ausreichende Reserve mitbedacht werden.
- Sind alle Genehmigungen vorhanden, kann eine zu späte Information der örtlichen Bevölkerung über den Betrieb und seine Besonderheiten (ggfs. niedrige Geschwindigkeit, strikte Befolgung von Verkehrsregeln, vorsichtige Fahrweise etc.) negative Auswirkungen auf die Akzeptanz nach sich ziehen, insbesondere bei Autofahrern und Anwohnern. Gleiches gilt für Anordnungen im Straßenraum (Wegfall Parkplätze, Einbahnregelungen, Halteverbote etc.).
- Trotz der zuvor erfolgten Ausbildung von Operator:innen fehlt ein gut verständliches und mehrsprachiges Handbuch (dt./engl.) im Fahrzeug, das für sämtliche Eventualitäten Lösungen bereithält. Dies kann zu häufigen Anfragen beim Support und höherem Betreuungsaufwand auch für untergeordnete Probleme. Ähnliches gilt beim Einsatz weniger technikaffiner Personen oder „nicht-freiwilliger“ Operator:innen (z.B. ehemalige Busfahrer:innen). Eine frühzeitige Rekrutierung hilft darüber hinaus, Verzögerungen beim Betriebsstart zu vermeiden.