



Baden-Württemberg

Abschlussbericht RABus (Phase 1)

Reallabor für den Automatisierten Busbetrieb im ÖPNV
in der Stadt und auf dem Land



1 Inhalt

1. Inhalt	2	4.6 Öffentlichkeitsarbeit	26
2. Vorwort	5	4.6.1 Zielgruppen	27
3. Einleitung	6	4.6.2 Tage der Technik	28
4. Projektergebnisse	8	5 Projekt-Beirat	30
4.1 Das autonome Transportsystem	8	5.1 Mitglieder des Beirats	30
4.2 Reallabor Friedrichshafen	12	5.2 Beiratsempfehlungen	31
4.2.1 Aufbau einer Mobility-as-a-Service-Datenbank (MaaS-Datenbank)	12	5.2.1 Weiterentwicklung der Standardisierung für den Einsatz von autonom fahrenden Elektrobussen im ÖPNV	31
4.2.2 Vorbereiten der Infrastruktur und des Fahrbetriebes	13	5.2.2 RABus-Beiratsempfehlung aus Fahrgastsicht	31
4.2.3 Vorbereitung Betrieb	15	5.2.3 RABus-Beiratsempfehlung aus Sicht der Verkehrsunternehmen und Flotten-Betreiber	32
4.3 Reallabor Mannheim	16	5.2.4 Technische Systemgestaltung und Zulassung	33
4.3.1 Vorbereiten der Infrastruktur und des Fahrbetriebes	16	6 Erkenntnisse und Perspektiven zur Weiterentwicklung	36
4.3.2 Datensammlung und Testbetrieb	19	7 Impressum	38
4.4 Wissenschaftliche Begleitforschung	20	8 Projektinformationen	38
4.4.1 Akzeptanzforschung	21		
4.4.2 Technische Bewertung des Fahrbetriebs	23		
4.5 Rechtliche Begleitung	25		

2 Vorwort

Der vorliegende Bericht stellt die zentralen Ergebnisse der ersten Projektphase von RABus in zusammengefasster Form dar. In Phase 1 wurden entscheidende Grundlagen geschaffen, um hoch-automatisierte Shuttles im öffentlichen Nahverkehr zu entwickeln, zu erproben und deren Integration in bestehende Verkehrssysteme vorzubereiten. Die erzielten Erkenntnisse umfassen sowohl technische als auch organisatorische und gesellschaftliche Aspekte und bilden die Basis für die weiterführenden Arbeiten in der zweiten Projektphase.

Da die beiden Phasen des Projekts eng miteinander verzahnt sind und sich viele der erzielten Fortschritte erst im Kontext der gesamten Projektlaufzeit abschließend bewerten lassen, erfolgt eine umfassende Berichterstattung erst nach Projektabschluss am 30. Juni 2025. In diesem finalen Bericht werden die Ergebnisse beider Phasen zusammengeführt, analysiert und in einem übergreifenden Kontext dargestellt. Dies betrifft insbesondere die Wechselwirkungen zwischen technischer Entwicklung, operativem Betrieb und der Akzeptanz durch die Bevölkerung.

Die vorliegende Zusammenfassung bietet daher einen Einblick in die wichtigsten Ergebnisse und Herausforderungen der ersten Phase, ohne jedoch den finalen Umfang und Detailgrad eines Gesamtberichts zu erreichen. Sie soll als Grundlage für die weitere Projektarbeit und als Zwischenbilanz dienen.

Wir möchten uns bei allen Projektpartner:innen und Beteiligten herzlich bedanken, die durch ihre Expertise, ihr Engagement und ihre Zusammenarbeit die erfolgreiche Umsetzung der ersten Projektphase ermöglicht haben. Die Erkenntnisse und Erfahrungen, die wir gemeinsam gesammelt haben, sind nicht nur für das Projekt RABus von zentraler Bedeutung, sondern leisten auch einen wichtigen Beitrag zur Weiterentwicklung des automatisierten und vernetzten Fahrens. Wir freuen uns darauf, diese Arbeiten in Phase 2 fortzusetzen und einen weiteren Schritt in Richtung der Mobilität der Zukunft zu gehen.

Dieser Bericht stellt den Erkenntnisstand zum 31. Dezember 2023 dar und gibt somit den damaligen Stand der Projektarbeiten wieder.

3 Einleitung

Im Rahmen der kontinuierlichen Bestrebungen, die Mobilität der Zukunft aktiv zu gestalten und zu optimieren, hat das Land Baden-Württemberg mit seiner „Strategie zur automatisierten und vernetzten Mobilität“ im Rahmen des Strategiedialogs Automobilwirtschaft eine wegweisende Richtung eingeschlagen. Die Strategie zielt darauf ab, die Mobilität von Menschen und Gütern zu verbessern und gleichzeitig die Forschungs-, Innovations-, Wertschöpfungs- und Beschäftigungspotenziale im Land zu stärken. Durch die Fokussierung auf eine integrierte Entwicklung und Anwendung neuer Technologien in der Mobilitätsbranche betont Baden-Württemberg die Bedeutung einer zukunftsorientierten, nachhaltigen und effizienten Verkehrsgestaltung. Diese Vision umfasst sowohl die technologische als auch die gesellschaftliche Dimension der Mobilitätstransformation, indem sie Innovationen fördert, die sowohl die Lebensqualität verbessern als auch die Umweltbelastung minimieren.

Die ÖPNV-Strategie 2030 des Landes beinhaltet ebenfalls die Integration automatisierter Fahrsysteme in den öffentlichen Personenverkehr. Ziel beim autonomen Fahren ist es, ein zukunftsfähiges, effizientes und klimafreundliches Verkehrssystem zu schaffen, das die Mobilitätsbedürfnisse der Bevölkerung auf nachhaltige Weise erfüllt. Ein Schlüsselement dieser Strategie ist die Einführung von Technologien und Konzepten, welche die Effizienz und Attraktivität des ÖPNV steigern und gleichzeitig auf die Herausforderungen, wie das zunehmende Fehlen von Fachkräften im Verkehrssektor, reagieren.

Die Verabschiedung neuer Gesetze zum autonomen Fahren auf Bundesebene hat zudem eine wichtige Grundlage für die Weiterentwicklung und den Einsatz automatisierter Mobilitätslösungen geschaffen. Durch die Novellierung des Personenbeförderungsgesetzes (PBefG) und des Straßenverkehrsgesetzes (StVG) wurden entscheidende Rahmenbedingungen angepasst, die es ermöglichen, innovative Verkehrsformen rechtlich zu verankern und in die Praxis umzusetzen.

Die zunehmende Automatisierung soll perspektivisch für den ÖPNV auch dafür genutzt werden, Verkehre trotz Personalmangels bei Fahrzeugführer:innen nicht nur aufrechtzuerhalten, sondern erheblich auszubauen. Zudem kann die Effizienz der Verkehrssysteme gesteigert werden. Die fortschreitende Digitalisierung und Automatisierung eröffnet überdies neue Perspektiven für neue Geschäftsmodelle und somit die Stärkung des Wirtschaftsstandortes Baden-Württemberg.

Im Rahmen des Projektes „Reallabor für den Automatisierten Busbetrieb im ÖPNV in der Stadt und auf dem Land“ wird der Einsatz großer, vollautomatisierter Busse wissenschaftlich erforscht und real erprobt. Ziel ist es, die Fahrzeuge so weiterzuentwickeln, dass sie sich mit akzeptablen Geschwindigkeiten in den regulären Verkehr integrieren lassen – innerorts mit mindestens 40 km/h und außerorts mit bis zu 60 km/h. Dabei werden nicht nur technische, sondern auch betriebliche und wirtschaftliche Fragestellungen untersucht.

Die Entwicklung, Umsetzung und Erprobung eines wirtschaftlichen und zuverlässigen Fahrbetriebs mit vollautomatisierten Fahrzeugen ist von großer Bedeutung für die Zukunft des ÖPNV. Diese Technologie kann die Einführung eines attraktiven, bezahlbaren und umweltfreundlichen 24-Stunden-Busshuttle-Services ermöglichen, der eine Tür-zu-Tür-Beförderung sicherstellt und bestehende Mobilitätsangebote ergänzt.

Das Projekt RABus wird im Ergebnis eine Beurteilung der landesweiten Übertragbarkeit autonomer Busverkehre liefern und Handlungsempfehlungen für eine zukünftige Einführung erarbeiten. Dazu gehören Erkenntnisse über die technische Umsetzung, die betriebliche Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit sowie die rechtlichen Rahmenbedingungen und verkehrlichen Auswirkungen. Auch die Nutzerakzeptanz wird intensiv untersucht, um eine bedarfsgerechte und erfolgreiche Implementierung zu gewährleisten. Das Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg fördert das Projekt mit 14 Mio. Euro.

Die zentralen Projektziele sind:

- Erprobung von hoch- und vollautomatisierten Fahrzeugen in unterschiedlichen Gebietstypen mit realistischen Geschwindigkeiten im ÖPNV-Realbetrieb und begleitender Öffentlichkeitsarbeit.
- Darstellung automatisierter und flexibler Mobilitätsangebote für eine verbesserte Erreichbarkeit und Effizienz des ÖPNV.
- Bewertung der technischen Umsetzung, der betrieblichen Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit, der Nutzerakzeptanz sowie der rechtlichen und verkehrlichen Auswirkungen.
- Entwicklung von Handlungsempfehlungen zur landesweiten Übertragbarkeit autonomer Shuttlesysteme als Grundlage für eine zukunftsfähige ÖPNV-Strategie in Baden-Württemberg.

Zusammenfassend stellt die Ausgangssituation in Baden-Württemberg eine vielversprechende Basis für die Weiterentwicklung der automatisierten und vernetzten Mobilität dar. Mit einer klaren strategischen Ausrichtung und unterstützt durch rechtliche Anpassungen auf Bundesebene ist das Land auf einem guten Weg, die Mobilität der Zukunft nachhaltig zu gestalten und das Wirtschafts- und Beschäftigungspotenzial im Bereich der automatisierten Mobilität voll auszuschöpfen. Die ambitionierte ÖPNV-Strategie 2030 unterstreicht das Engagement Baden-Württembergs, innovative Lösungen zu fördern, die nicht nur die Mobilitätsbedürfnisse der Bevölkerung adressieren, sondern auch nachhaltige, effiziente und inklusive Verkehrssysteme schaffen. Durch die Kombination aus fortschrittlicher Technologie, strategischer Planung und der Förderung von Fachkräften legt Baden-Württemberg den Grundstein für eine Mobilitätswende, die als Vorbild für andere Regionen dienen kann und den Weg für eine zukunftsfähige, wettbewerbsfähige und umweltfreundliche Mobilitätslandschaft ebnet.

4 Projektergebnisse

4.1 Das autonome Transportsystem

Ab 2024 sollen die RABus Shuttle der ZF Group zum Einsatz kommen. Die Fahrzeuge fahren elektrisch und streben mit dem übergeordneten Ökosystem einen Funktionsumfang gemäß SAE-Level 4 an. Der Genehmigungsprozess für die Shuttles startet Anfang 2024 und soll mit Erteilung der § 16 Erprobungsgenehmigung in Quartal 2 abgeschlossen werden.

Entsprechend der Vorgaben der Autonome-Fahrzeuge-Genehmigungs-und-Betriebs-Verordnung (AFGBV) wurde speziell für das RABus-Projekt von den Konsortialpartnern ein Shuttle gezielt weiterentwickelt, das den technischen Anforderungen im Mischverkehr gerecht wird. Dazu ist der Technologiekonzern ZF eine projektbezogene Partnerschaft mit dem Shuttle-Hersteller eVersum aus Österreich eingegangen, der für das Projekt vier Elektro-Shuttles liefert, die mit modernster AD-Technik von ZF ausgestattet wurden. Ausgehend von einem bestehenden SAE Level-0-Fahrzeug wurden die AD- Komponenten ergänzt sowie Lenkung, Bremse und Antrieb angepasst. Zunächst erfolgt die Einzelbetriebserlaubnis für das SAE Level-0 Basisfahrzeug, gefolgt von der Zulassung der AD-Umfänge durch das Kraftfahrtbundesamt (KBA).

Die Montage der Fahrzeuge startete im Jahr 2023 und wird Anfang 2024 abgeschlossen.

Die Anforderung an ein Level-4-Fahrzeug ergibt sich primär aus dem Prinzip, den Fahrer zu ersetzen, einschließlich seiner Rolle als letzte Rückfallebene im Falle von Fehlern im System. Die Gesetzgebung verlangt Sicherheitskonzepte für alle automatisierten Fahrsysteme (z. B. Antrieb, Lenkung, Bremse etc.), um sicherzustellen, dass kein unverhältnismäßiges Risiko für Fahrzeuginsassen und Verkehrsteilnehmer besteht. Im Falle eines fahrerlosen Fahrzeuges müssen Fehlerfälle vom Fahrzeugsystem autark beherrscht werden. Zum aktuellen Zeitpunkt sind Level-4-fähige Komponenten wie Bremse und Lenkung noch in der Entwicklung und nicht auf dem Markt erhältlich. Dies hat zur Konsequenz, dass



Länge x Breite x Höhe: 6,90 x 2,30 x 3,20 m; Kapazität: max. 10 Personen inkl. Rollstuhlplatz; Höchstgeschwindigkeit: 40 km/h (in der Entwicklung: 60 km/h); **Abbildung 1: RABus Shuttle**

während des RABus Projektes der Sicherheitsfahrer durchgehend die Rückfallebene im Falle von Fehlern des Systems darstellt.

Fahrzeugklasse	M3a
Länge, Breite, Höhe	6,9 x 2,4 x 3,1 m
Fahrzeuggewicht inkl. AD Komponenten	9.200 kg
Motor	110 kW nominal / 190 kW Peak (650 V)
HV Batterie	112 kWh
Laden	120 kW DC / 22 kW AC
Vmax	54 km/h
Wenderadius	9,4 m
Einstiegshöhe	270 mm (nach Absenkung)
Einstiegsrampe	Ja, manuell ausziehbar
Anzahl Plätze im Fahrzeug	9 (+1 Sicherheitsfahrer & + 1 AD System Operator) +1 Rollstuhl

Tabelle 1: RABus Shuttle Parameter

Was bedeuten die SAE-Level?

Die SAE-Level (nach dem Standard SAE J3016) definieren international einheitlich den Automatisierungsgrad von Fahrzeugen – von der vollständigen Kontrolle durch den Menschen (Level 0) bis hin zum vollautonomen Fahren ohne Fahrer oder Lenkrad (Level 5). Die Einteilung hilft dabei, den technologischen Fortschritt und die Einsatzmöglichkeiten automatisierter Fahrzeuge besser einzuordnen.

Level	Bezeichnung	Kurzbeschreibung
0	Keine Automatisierung	Der Mensch fährt; Assistenzsysteme geben ggf. Hinweise (z. B. Warnsignale).
1	Fahrerassistenz	Einzelne Fahrfunktionen automatisiert (z. B. Tempomat, Spurhalteassistent).
2	Teilautomatisierung	Lenken und Beschleunigen/Bremsen automatisiert, Mensch überwacht dauerhaft.
3	Bedingte Automatisierung	Fahrzeug fährt selbstständig, Mensch muss bei Bedarf eingreifen können.
4	Hochautomatisierung	Selbstständiges Fahren in definierten Betriebsbereichen (ODD), kein menschlicher Eingriff erforderlich.
5	Vollautomatisierung	Komplett autonomes Fahren in allen Situationen, ohne Fahrer oder Bedienelemente.

Autonomous Driving System
(kurz AD-System) von ZF

Die Sensoren des AD-Systems dienen der Umfelderkennung und übernehmen die Funktion des menschlichen Auges, eine hoch performante Recheneinheit verwertet diese und leitet über das X-by-Wire System Befehle an die ausführenden Fahrzeugaktuatoren weiter.

Sensorset

Die Hauptaufgabe in diesem Funktionsblock ist die Wahrnehmung der Umgebung und die Verarbeitung der erfassten Daten. ZF verwendet eine Kombination verschiedener Sensortypen wie Radar, Lidar, Kamera, IMU, GPS und weitere. Die Kombination und Platzierung der Sensortypen ist das Ergebnis einer umfassenden Sensorset-Analyse.

Im Mittelpunkt galt es ein System zu definieren, welches der zu erfüllenden Fahraufgabe gerecht wird. Der Einsatz im Mischverkehr erfordert Fernfeld, Nahfeld und direkte Fahrzeugumgebung abzudecken.

Abbildung 3 zeigt die Kombination von Front- und seitlichen Sensoren, die am Shuttle montiert sind. Der Fokus im Projekt RABus richtet sich zunächst auf die Front-Sensoren.

Hochleistungsrechner

Ein wesentlicher Bestandteil des AD Systems ist die hoch performante Recheneinheit. Die hohe Rechenleistung wird durch ein sogenanntes System-on-a-Chip (SoC) dargestellt. Zusätzlich ist die Recheneinheit mit einem Safety-Microcontroller ausgestattet, welcher für die nötige Integrität sorgt. Aus Gründen der Redundanz wird die Software des AD-Systems auf mehrere dieser Recheneinheiten verteilt. Diese Software ist wiederum in zwei Hauptpfade unterteilt.

Der erste Pfad, der sogenannte Leistungspfad, hat die Aufgabe der vorgegebenen Mission zu folgen, die Straßenverkehrsordnung einzuhalten und dabei eine vorausschauende Fahrweise an den Tag zu legen, damit der Fahrgast eine bequeme Personenbeförderung erfährt.

Der zweite Pfad, der sogenannte Sicherheitspfad, hat die Aufgabe zu überwachen, dass die gefahrene Trajektorie jederzeit kollisionsfrei ist und die Mission nicht verlassen wird. Im Falle einer Abweichung wird das Fahrzeug in den sicheren Zustand gebracht.

Durch die Komplexität des Gesamtsystems und den entsprechenden Aufwand der betrieben werden muss, um das System auf die Straße zu bringen, können nicht alle Komponenten im Rahmen des Forschungsprojekts entwickelt werden. Ein Großteil der Entwicklungsaufgaben, die mit dem autonomen Transportsystem verknüpft sind, werden von ZF und ihren Entwicklungspartnern außerhalb des RABus Projektes durchgeführt und für die Erreichung der Projektziele dem Projekt zur Verfügung gestellt.

Aktuatorik

Abhängig von den Befehlen, die aus dem Abschnitt kommen, betätigt das X-by-Wire-System die Aktuatoren der Bremse, Lenkung und Antrieb. Es handelt sich dabei um einen Regelkreis. Der Fahrzeugzustand wird vom AD-System kontinuierlich überwacht und bei Bedarf angepasst. Weicht das Fahrzeugverhalten vom erwarteten Verhalten ab, ist der Sicherheitsfahrer jederzeit in der Lage, die Kontrolle zu übernehmen.

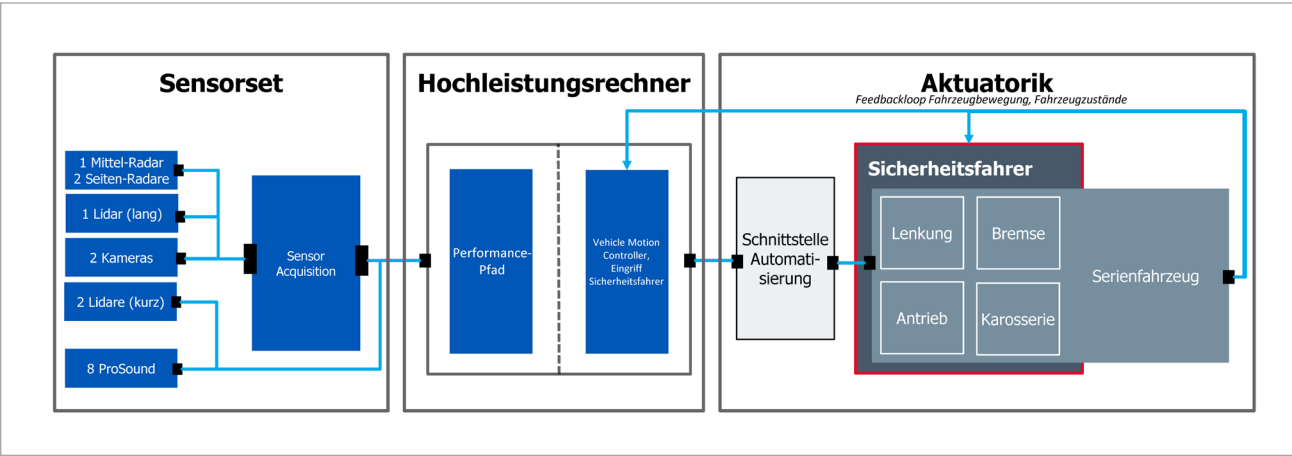


Abbildung 2: Autonomous Driving System (dt. Autonomes Fahrsystem) von ZF

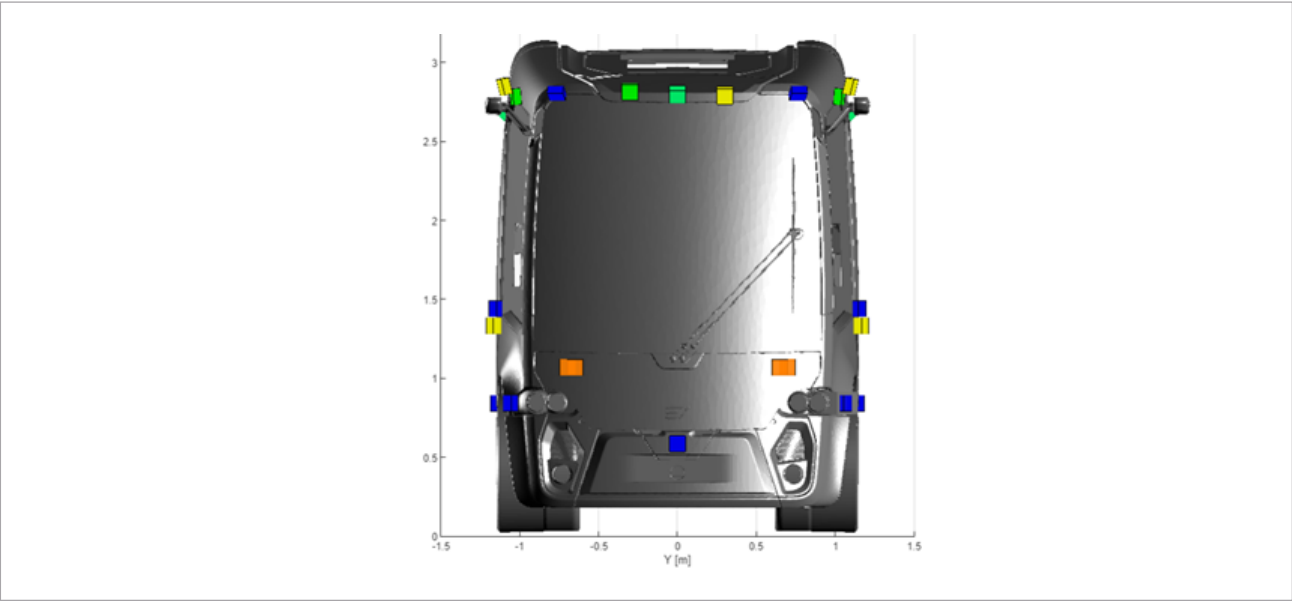


Abbildung 3: Exemplarisches Sensor-Set (Front-Ansicht) mit Kameras (gelb), Radaren (blau), Lidaren (grün) und Mikrofonen (orange)

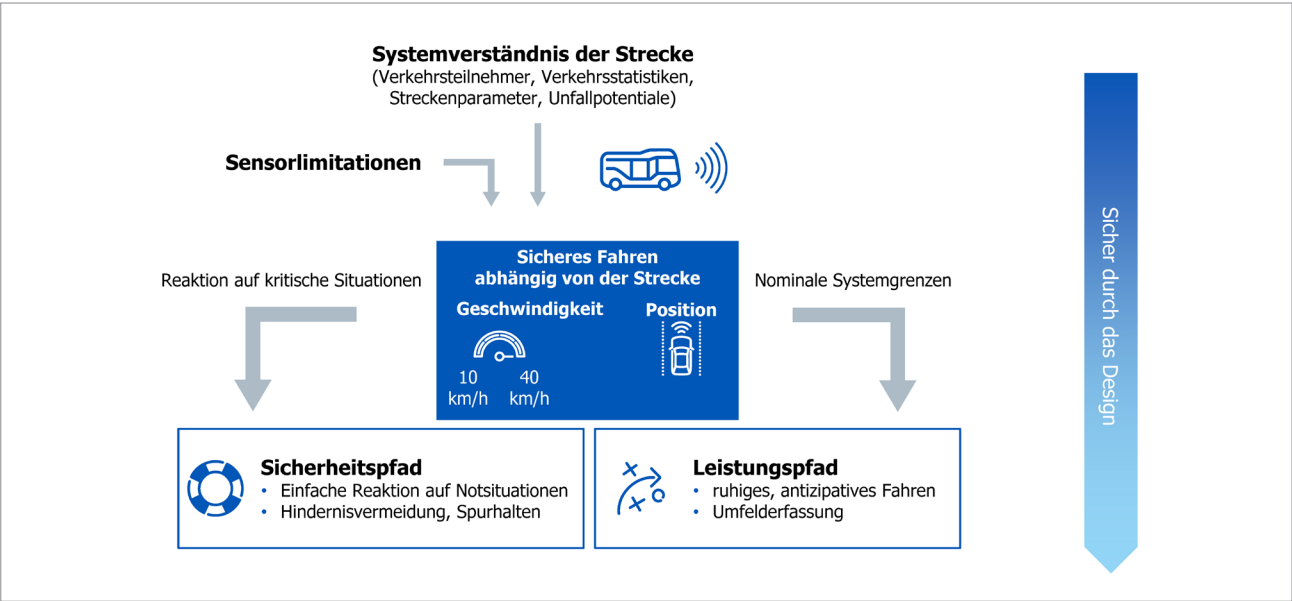


Abbildung 4: Virtueller Fahrer – 2-stufiger Ansatz

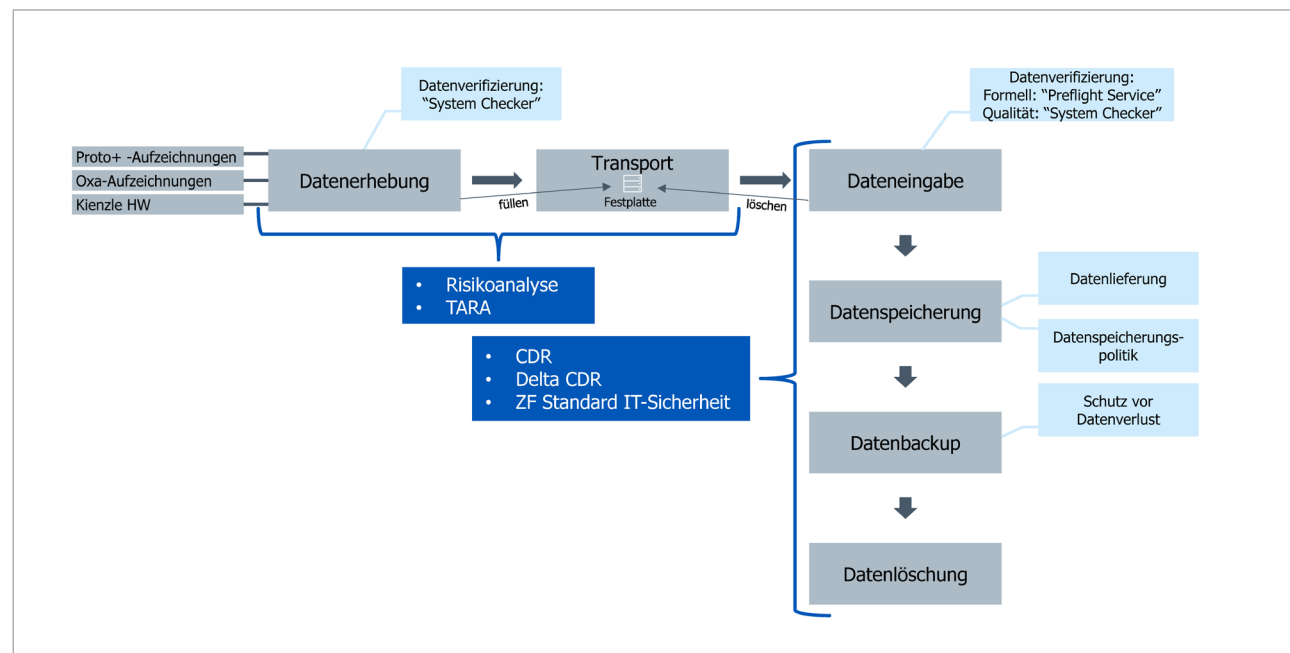


Abbildung 5: Daten Lifecycle Konzept

4.2 Reallabor Friedrichshafen

4.2.1 Aufbau einer Mobility-as-a-Service-Datenbank (MaaS-Datenbank)

Im Rahmen des Projekts RABus wurde eine Datenbank aufgebaut, mit der Rückschlüsse auf die Verkehrsszenarien ermöglicht werden. Dazu wurden Daten während des Betriebs in den Fahrzeugen aufgezeichnet, aufbereitet und anschließend in die Datenbank eingespeist.

Um eine effiziente und DSGVO (Datenschutz-Grundverordnung) konforme Handhabung der Daten zu gewährleisten, wurde das Daten Lifecycle Konzept entwickelt. (siehe Abb. 5)

Während der Datenerhebungsphase (Data Acquisition) werden Sensordaten innerhalb eines Fahrzeugs gesammelt. Je nach Zweck der Messkampagne steht für diese eine Aufbewahrungsrichtlinie zur Verfügung. Festplatten, die zum Transport der Daten verwendet werden, sind verschlüsselt, um die DSGVO-Anforderungen zu erfüllen.

Nach dem Kopiervorgang folgt die Datenverifikation. Die Prüfung erfolgt in zwei Schritten. Der Preflight Service führt formale Checks auf den Recordings durch (z. B. Benennung oder Vollständigkeit) und der Sanity Checker schaut in die Daten und analysiert die Qualität der aufgezeichneten Sensordaten.

Datenakquise und Datenhaltung

Die Datenerfassung im Projekt RABus hatte das primäre Ziel, szenarienbasierte Daten zu sammeln, die für die zukünftige Entwicklung der Fahrfunktionen essenziell sind. Dabei wurde nicht nur die RABus-Route erfasst, sondern auch andere Strecken, um Daten für ähnliche Verkehrsszenarien zu gewinnen.

Die erste Datenakquise im Jahr 2020 führte zu etwa **500 TB** an Fahrzeug- und Sensordaten. Im Jahr 2021 wurde die Erfassung stark erweitert, sodass die Datenbanken zum Jahresende **8.700 TB (8,7 PB)** sensibler Sensordaten umfassten. Diese Daten bilden die Grundlage der MaaS-Datenbank und sind unverzichtbar für die Entwicklung der geplanten Funktionalitäten. Neben Kamera- und Lidardaten wurden auch Radar-, GPS- und CAN-Daten aufgezeichnet.

Von den **8,7 PB** Ende 2021 entfallen **5,15 PB** auf Rohdaten aus den Fahrzeugen und **3,6 PB** auf temporär nachprozessierte Daten, die zur Algorithmusentwicklung benötigt wurden. Durch Weiterentwicklungen in der Tooling-Landschaft konnten die temporären Daten im Jahr 2022 reduziert werden,

wodurch die gespeicherte Datenmenge auf **5,15 PB** sank. Zusätzlich führte die Komprimierung der Kameradaten zu einer weiteren Reduktion von **1,2 PB**.

Trotz dieser Optimierungen bleiben hohe Datenmengen beim autonomen Fahren unvermeidlich und werden mit fortschreitenden Entwicklungsstufen weiter ansteigen. Die Daten werden je nach Verwendungszweck auf kostengünstige Speicher verteilt, um sie zu archivieren oder zwischenspeichern. Beim Verarbeiten der Daten sind jedoch hohe Datenraten entscheidend, insbesondere bei der Validierung von Softwarepaketen. Ein voll aufgelöster Kamerastream erreicht Datenraten von **250 bis 300 GB pro Stunde** und in Kombination mit anderen Sensoren entstehen im Fahrzeug Datenraten von über **1 TB pro Stunde**.

4.2.2 Vorbereiten der Infrastruktur und des Fahrbetriebes

Vehicle-to-Infrastruktur Kommunikation

V2X (Vehicle-to-Everything) ermöglicht die Kommunikation zwischen vernetzten Fahrzeugen und ihrer Umgebung, wie beispielsweise anderen Fahrzeugen (V2V) oder Infrastruktureinrichtungen wie Lichtsignalanlagen oder Baustellenanlagen (V2I). Diese Technologie erweitert den Informationshorizont autonomer Transportsysteme (ATS) und trägt zur Verbesserung von Verkehrssicherheit, Effizienz und Komfort bei. Im Projekt RABus liegt der Schwerpunkt auf der Fahrzeug-zu-Infrastruktur-Kommunikation (V2I).

Zur Umsetzung von V2I sind spezifische Standards und Entwicklungsschritte erforderlich. Der Funkstandard IEEE 802.11p (ITS-G5 bzw. DSRC) ermöglicht die direkte Kommunikation zwischen Fahrzeugen und Infrastruktur im 5,9-GHz-Band. Er basiert auf dem WLAN-Standard IEEE 802.11 und wurde für kurze Latenzzeiten und hohe Zuverlässigkeit optimiert.

Im Projekt RABus werden folgende standardisierte Nachrichtentypen eingesetzt:

- **SPaTEM (Signal Phase and Timing Extended Message):** Überträgt Informationen über den aktuellen und prognostizierten Signalstatus der Lichtsignalanlage.
- **MAPEM (MAP (Topology) Extended Message):** Sendet die Kreuzungstopologie an vernetzte Fahrzeuge.
- **SREM (Signal Request Extended Message):** Übermittelt eine Anfrage an die Lichtsignalanlage, um eine Grünphase anzufordern (nur in Mannheim).
- **SSEM (Signal Status Extended Message):** Beantwortet die Anfrage nach dem Status der Lichtsignalanlage. (Standards: SAE-J2735, ISO/TS 19091:2019, ETSI EN 302 637-2)

Die Nachrichtenübertragung erfolgt über Roadside-ITS-Stations (RSU), die als Schnittstelle zwischen Infrastruktur und vernetzten Fahrzeugen dienen. Auf der RABus-Teststrecke in Friedrichshafen befinden sich fünf signalisierte Lichtsignalanlagen, von denen alle bis auf die LSA505 an der Manzeller Straße mit RSUs ausgestattet sind. In Mannheim sollen vier Knotenpunkte mit einer Lichtsignalanlage ausgestattet werden. Ausgewählt wurden dafür Rot-Dunkel Anlagen, die direkt vom Shuttle aktiviert werden, wenn es sich dem Knotenpunkt nähert.

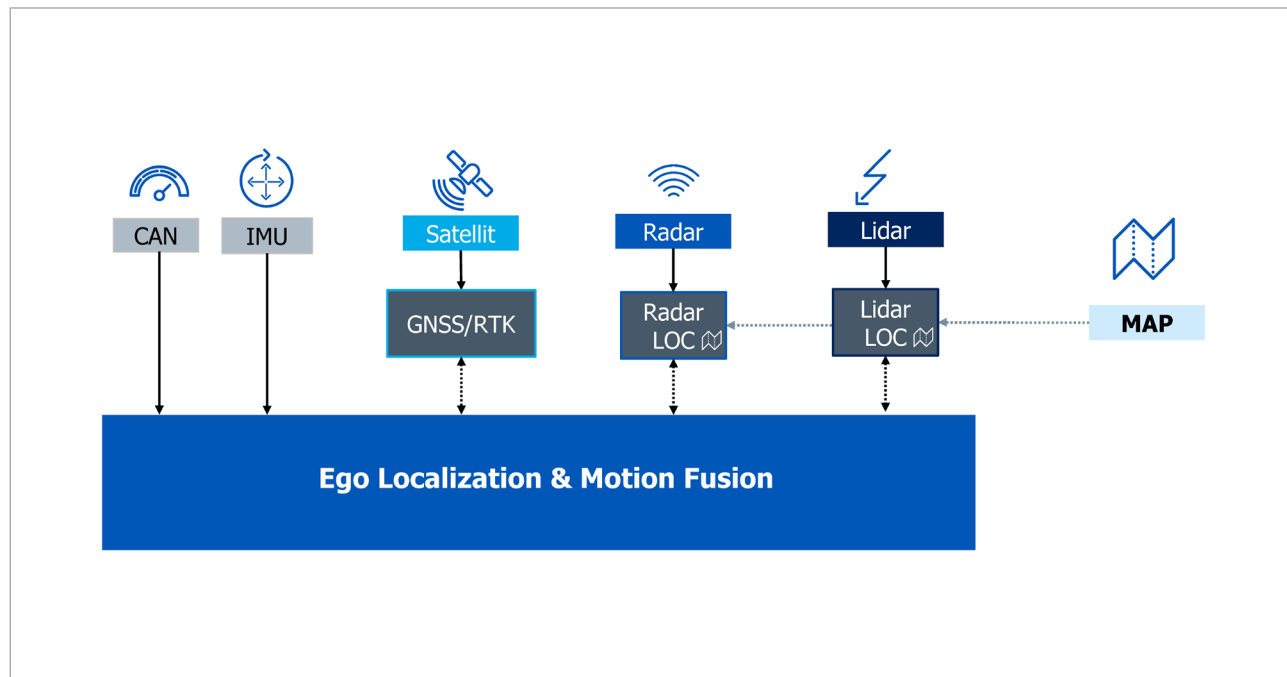


Abbildung 6: Leistungspfad Fahrzeuglokalisierung

Fahrzeuglokalisierung

Das Ziel ist, die Position des Shuttles jederzeit präzise zu bestimmen. Dies wird durch die Fusion mehrerer redundanter Sensormodalitäten erreicht: GNSS (Global Navigation Satellite System), Radar, Lidar sowie Daten aus einer inertialen Messeinheit (IMU) und der Fahrzeugodometrie.

Das Radar- und Lidar-Lokalisierungsmodul berechnet die Fahrzeugposition auf Basis aktueller Sensordaten und einer hochauflösenden Karte der bekannten Strecke. Im Gegensatz dazu benötigt die GNSS/RTK-basierte Lokalisierung keine Karteninformationen, jedoch Korrekturdaten, um die Genauigkeit zu erhöhen. Ohne diese Korrekturdaten liegt die Positionsgenauigkeit aufgrund von Faktoren wie Orbitfehlern oder atmosphärischen Einflüssen im Meterbereich. Mit Korrektursignalen kann die Genauigkeit jedoch auf wenige Zentimeter verbessert werden, vorausgesetzt, die Umgebungsbedingungen sind optimal.

Die verschiedenen Lokalisierungsansätze werden unabhängig voneinander berechnet, fusioniert und anschließend auf Plausibilität geprüft. Dies minimiert potenzielle Fehler einzelner Systeme und gewährleistet eine hohe Verfügbarkeit der Positionserkennung in unterschiedlichen Umgebungen.

Wenn die Umgebung ausreichend strukturiert ist, etwa durch Gebäude, Schilder oder Bäume, sind keine zusätzlichen infrastrukturellen Maßnahmen erforderlich. Die Notwendigkeit solcher Strukturen variiert jedoch je nach Streckenabschnitt und wird vorab geprüft.

Das Kartenmaterial, das für die Lidar- und Radarlokalisierung verwendet wird, muss regelmäßig aktualisiert werden, um die Übereinstimmung mit der Realität sicherzustellen und eine präzise Lokalisierung zu gewährleisten.

Hochauflösende Karte (HD Karte)

Für die Umsetzung des autonomen Fahrens sind neben Sensordaten hochauflösende, digitale Karten unverzichtbar. Sie liefern Zusatzinformationen, die eine intelligente und sichere Routenführung ermöglichen. HD-Karten spielen eine Schlüsselrolle bei der Eigenlokalisierung des Fahrzeugs und unterstützen die vorausschauende Routenplanung, indem sie potenzielle Hindernisse wie Baustellen frühzeitig identifizieren. Dadurch können autonome Fahrzeuge Manöver effizient vorbereiten, was die Sicherheit für Passagiere und andere Verkehrsteilnehmer erhöht.

Zudem ermöglichen HD-Karten die Simulation bestimmter Fahrscenarien, wodurch die Fähigkeiten und Sicherheit des Fahrsystems vor dem Einsatz im öffentlichen Verkehr optimiert werden. Im Projekt RABus wurden verschiedene Kartenlayer gezielt genutzt, um die Herausforderungen der unterschiedlichen Strecken zu bewältigen. Semantische Layer dienen der Pfadplanung, während sensor-spezifische Layer eine hochgenaue Lokalisierung sicherstellen. Diese sind besonders wichtig, wenn GNSS-Signale durch hohe Gebäude beeinträchtigt werden. Hier bietet der Lidar-basierte Kartenlayer eine zuverlässige Alternative, die eine präzise Navigation unabhängig von der Signalqualität ermöglicht.

4.2.3 Vorbereitung Betrieb

Streckenentwicklung

Für ein Projekt wie RABus, das großes öffentliches Interesse erfährt, sollte die Strecke in Friedrichshafen Relevanz und Wiedererkennungswert haben.

Folgende Kriterien spielten deshalb bei der Streckenauswahl eine Rolle:

- Repräsentative Streckenabschnitte mit einer Auswahl an verschiedenen Straßentypen: innerstädtisch und Überland mit der Möglichkeit, höhere Geschwindigkeiten zu erreichen
- Anbindung und Verbindung wichtiger Orte von besonderem Interesse: ZF Forum, Stadtbahnhof, Friedhof, ZF Werk 2, Universität und Klinikum Schnetzenhausen
- Sichtbarkeit in der Stadt für das Shuttle und das Projekt
- Gutes Fahrgastpotenzial an den Haltestellen, das entweder durch vorangegangene Verkehrszählungen oder Nahverkehrspläne ermittelt werden kann.

So wurde die in Abbildung 7 dargestellte Strecke ausgewählt, die sich in Projektphase 1 im Wesentlichen nicht verändert hat.



Abbildung 7: Aktueller Streckenverlauf Friedrichshafen

Abstimmung mit städtischen Behörden

Ohne die Unterstützung kommunaler Behörden ist ein Projekt wie RABus nicht umsetzbar. Im Reallabor Friedrichshafen wurden die Behörden regelmäßig über den Projektfortschritt und geplante Maßnahmen informiert, sei es in Gremiensitzungen oder eigens anberaumten Terminen. Da das Shuttle autonom fährt, besteht die Möglichkeit, dass es den Verkehr verlangsamt oder zu einem Hindernis wird. Deshalb ist es notwendig, die Verkehrsbehörden frühzeitig einzubinden und Genehmigungen für infrastrukturelle Maßnahmen einzuholen.

Um die Abstimmung zu erleichtern, bietet sich die Einführung einer zentralen Koordinierungsperson an. Diese würde als Schnittstelle zwischen Projekt und Behörden fungieren und die Kommunikation effizienter gestalten. Gleichzeitig ist es essenziell, die Entscheidungsträger von Beginn an für das Projekt zu gewinnen, indem der Mehrwert für die Kommune klar aufgezeigt wird.

4.3 Reallabor Mannheim
4.3.1 Vorbereiten der Infrastruktur und des Fahrbetriebes

Bewertung und Analyse der Streckenabschnitte

Ziel des Reallabors Mannheim ist die Erforschung und Umsetzung des automatisierten Fahrens im Mischverkehr mit allen übrigen Verkehrsteilnehmern. So ist vorgesehen, die Shuttles auf möglichst vielen Abschnitten ohne Eingriff des Sicherheitspersonals im Fahrzeug zu betreiben. Dazu sind verschiedene Vorbereitungen notwendig, die als Ganzes betrachtet ein sicheres Befahren der definierten Strecke ermöglichen.

Zur Einschätzung der Umgebungsverhältnisse auf dem Realisierungsgelände in Franklin war die Analyse vorhandener Unterlagen insbesondere des Bebauungsplans und der Straßenquerschnitte dazu erforderlich. Die Tatsache, dass sich das Areal während der gesamten Projektlaufzeit verändert, stellte eine besondere Herausforderung für alle Projektpartner dar und erforderte regelmäßige Abstimmungen mit der Stadtentwicklungsgesellschaft sowie diverse Vorort Termine.

Netzabdeckung

Mobilfunktechnologien sind entscheidend für autonomes Fahren, da sie eine zuverlässige Kommunikation zwischen Fahrzeugen, Infrastruktur und anderen Verkehrsteilnehmern ermöglichen. Eine stabile Internetverbindung ist essenziell, um Sicherheit und reibungslosen Betrieb zu gewährleisten. Sie erlaubt der technischen Aufsicht in Notfällen direkte Anweisungen an das Fahrzeug zu übermitteln und sorgt dafür, dass Fahrzeugzustandsdaten kontinuierlich übertragen sowie Software-Updates in Echtzeit installiert werden können.

Die Analyse der Mobilfunkabdeckung entlang der Strecken zeigte jedoch erhebliche Diskrepanzen zwischen den von Netzbetreibern bereitgestellten Informationen und den gemessenen Werten. Schwachstellen und Funklöcher wurden identifiziert, die ein Risiko für den autonomen Betrieb darstellen, insbesondere in Notfallsituationen. Zudem wurde festgestellt, dass die verfügbare Bandbreite stark vom Zeitpunkt abhängt: Nachts war die Verbindung häufig besser als tagsüber, was vermutlich auf eine geringere Netzauslastung zurückzuführen ist.

Zur Verbesserung der Abdeckung könnten zusätzliche Mobilfunkmasten, eine optimierte Netzwerkkonfiguration oder alternative Technologien eingesetzt werden. Im Projekt RABus wurde eine innovative Anwendung entwickelt, um die Mobilfunkabdeckung präzise zu analysieren. Messdaten wie Cell ID, Zeitstempel, GNSS-Koordinaten, Mobilfunktechnologie und Bandbreite wurden in ein Cloud-basiertes Backend hochgeladen und in georeferenzierte Kacheln unterteilt. Diese dynamische Analyse ermöglichte eine gezielte Optimierung der Konnektivität, sodass die Fahrzeuge nur die Daten erhielten, die sie benötigten – und das zum optimalen Zeitpunkt.

Routenentwicklung

Im Reallabor Mannheim liegt der Schwerpunkt auf dem Betrieb der Shuttles im Mischverkehr. Ziel ist es, das Neubaugebiet „Franklin“ flächendeckend zu erschließen, an die vorhandenen ÖPNV-Strukturen anzubinden und einen Betrieb mit akzeptablen Geschwindigkeiten sicherzustellen. Die Streckenführungen sollten eine direkte Anbindung an den ÖPNV gewährleisten, insbesondere über den

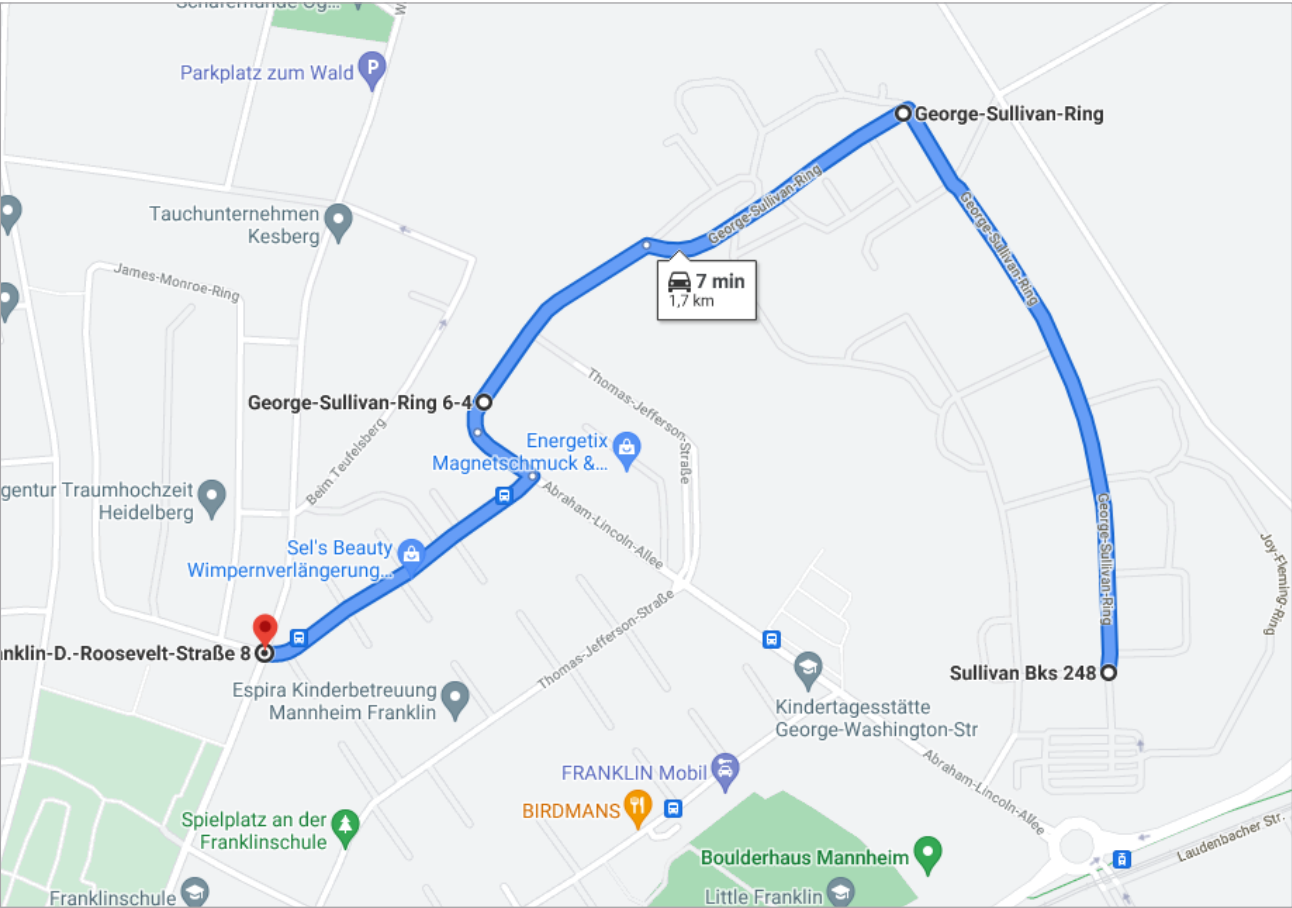


Abbildung 8: Finale Routenführung im Reallabor Mannheim

Kreisverkehr am Platz der Freundschaft, an dem eine Straßenbahnlinie verläuft. Eine ringförmige Routenführung wurde bevorzugt, um aufwendige infrastrukturelle Anpassungen wie den Bau von Wendekreisen zu vermeiden.

Nach mehreren Abstimmungsrunden mit den verkehrlichen Behörden und technischen Bewertungen der Fahrsituationen entlang der Route wurde schließlich die in Abbildung 8 dargestellte finale Routenführung entwickelt. Diese Lösung bietet weiterhin eine gute Erschließung des Stadtteils: Die Anwohner:innen der Offizierssiedlung können über die Endhaltestelle „Offizierssiedlung“ in der F.D.-Roosevelt-Straße zum Platz der Freundschaft und weiter zur Endhaltestelle „Sullivan Süd“ gelangen.

Infrastruktur

Die Vorbereitung der Infrastruktur begann mit der Auswahl einer geeigneten Routenführung. Dabei war es wichtig, die Strecke sowohl an die technischen Anforderungen der Fahrzeuge als auch an flexible

infrastrukturelle Anpassungsmöglichkeiten anzupassen. Im Folgenden werden die wesentlichen Infrastrukturmaßnahmen des Projekts beschrieben.

Zwei zentrale **Tiefbaumaßnahmen** wurden durchgeführt: die Errichtung einer Wendeschleife und die Vorbereitung einer Depotfläche. Die Wendeschleife am südöstlichen Ende der Route dient gleichzeitig als Haltestelle „Sullivan Süd“ und wurde barrierefrei ausgebaut. Dabei wurde die Schleppkurve der Shuttles berücksichtigt, um eine ausreichende Breite zu gewährleisten. Der Bordstein an den Auf- und Abfahrtsbereichen wurde angekeilt, um eine nahezu stufenlose Fahrt zu ermöglichen. Die Arbeiten am Depot umfassten die Erstellung von Zu- und Abfahrten, die Befestigung der Vorfläche sowie die Neuasphaltierung des Depots.

Entlang der RABus-Route sind acht **Haltestellen** vorgesehen (siehe Abbildung 9), von denen die Einstiegshaltestelle „Sullivan Süd“ barrierefrei gestaltet wird. Aufgrund der verkürzten Route wurde die ursprüngliche Anzahl der Haltestellen reduziert.

Die übrigen sieben Haltestellen werden durch Markierungen und Beschilderungen ausgewiesen. Zwei davon, nördlich der Franklin-D.-Roosevelt-Straße, sind bereits bestehende Haltestellen, die gemeinsam genutzt werden.

Das **Depot** dient als nächtlicher Abstellort der Fahrzeuge sowie für das Laden, Fahrfertigmachen und kleinere Wartungsarbeiten. Zudem wird dort die Leitstelle für die Simulation des L4-Betriebs eingerichtet. Die technischen Anforderungen wurden zwischen ZF und rnv abgestimmt, die Fertigstellung ist für Q2/2024 geplant. Da das Depot nach Projektende zurückgebaut wird, wird es von der rnv für die Laufzeit des Projekts angemietet.

ZF hat entlang der Route vier Standorte für **Lichtsignalanlagen (LSA)** identifiziert, die in Abbildung 9 dargestellt sind. Zunächst wird nur die LSA am Depot errichtet, während die übrigen Anlagen in einem zweiten Schritt folgen. Die LSA werden mit mobilen Signalgebern ausgestattet und sind für die Projektlaufzeit gemietet. Zur Kommunikation zwischen Fahrzeugen und Infrastruktur kommt ITS-G5-Technologie zum Einsatz. RSU (Road Side Units) an den LSA kommunizieren mit den OBU (On Board Units) der Fahrzeuge. Die Planung erfolgt gemäß den geltenden Gesetzen (z. B. StVO), Richtlinien (z. B. RiLSA) und Normen (z. B. DIN 0832).



Abbildung 9: Haltestellen und Lichtsignalanlagen entlang der RABus-Route

4.3.2 Datensammlung und Testbetrieb

Datensammlung für Entwicklung des Automatisierten Systems

Zu Beginn der Entwicklung lag der Fokus darauf, eine möglichst breite Datenbasis entlang der Operational Design Domain (ODD) zu generieren, um damit die Entwicklung zu versorgen. Es wurden dazu Versuchsträger mit einem Teil jener Sensoren und Recheneinheit ausgestattet, die später auch in den Shuttles zum Einsatz kommen sollen. Nachdem erste Testfahrten auf dem firmeneigenen Testgelände absolviert und Fehler korrigiert worden sind, startete die Datenaufzeichnung in den Betriebsbereichen.

Die Messfahrten mussten kontinuierlich erfolgen, da durch den Baufortschritt ständig neue Szenen dazukamen und sich die Umgebung verändert hat. Die Daten entlang der ODD dienten als Grundlage für

- ODD Analyse mit Ableitung der notwendigen Fahrfunktionen
- Sicherheitskonzept und Parametrisierung der Sicherheitsfunktionen
- Erstellung der HD-Karte zur Fahrzeuglokalisierung und Planung der Fahrmission

Operational Design Domain (ODD)

Die Operational Design Domain (ODD) beschreibt die Umgebung, in der ein Automated Driving (AD)-System betrieben wird. Sie erfasst unveränderliche Rahmenbedingungen wie den Straßenverlauf sowie mögliche Bedingungen während des Betriebs, beispielsweise erwartete Geschwindigkeiten anderer Verkehrsteilnehmer:innen oder typische Wetterverhältnisse. Nicht abgedeckt wird jedoch, was erst während der Fahrt konkret auftritt, wie der aktuelle Status einer Ampel oder ein bremsendes Fahrzeug. Stattdessen wird nur berücksichtigt, ob solche Situationen statistisch oder realistisch auftreten können.

Die präzise Definition der ODD ermöglicht es, die AD-Funktion innerhalb der Betriebsbereichsgrenzen zu analysieren, zu testen und zu validieren. Zudem eröffnet die Anpassung des zulässigen Betriebsbereichs die Möglichkeit, das System mit für die ODD notwendigem Funktionsumfang sicher zu betreiben. So könnte die ODD beispielsweise so gestaltet werden, dass das Fahrzeug stets Vorfahrt hat, wodurch Entwicklungs- und Absicherungskosten deutlich reduziert werden könnten.

Ableitung der dynamischen Fahrfunktion

Die dynamischen Fahrfunktionen sind zentrale Bausteine zur Bewältigung der Fahraufgabe innerhalb der ODD und wurden darauf ausgelegt, die gesetzlichen und sicherheitsrelevanten Anforderungen für den Mischverkehr auf öffentlichen Straßen zu erfüllen. Im Projekt RABus müssen die Fahrzeuge unterschiedliche Verkehrssituationen sicher meistern, darunter die Navigation auf vorgegebenen Routen, das Reagieren auf andere Verkehrsteilnehmer sowie die Interaktion mit Ampeln und Haltestellen.

Besondere Aufmerksamkeit erhielt das Szenario „Fußgänger hinter Sichtverdeckung“, das laut GIDAS-Unfalldaten eine häufige Unfallursache darstellt. Aufgrund seiner Komplexität und Relevanz wurde die Beherrschung dieses Szenarios priorisiert. Die EU-Richtlinie 2022/1426 sieht vor, dass die Kollisionsgeschwindigkeit um mindestens 20 km/h reduziert werden muss. Simulationen zeigten jedoch, dass eine rechtzeitige Bremsung nicht immer möglich ist, wenn Fußgänger erst sehr spät sichtbar werden.

Um dies zu vermeiden, wurde eine Strategie entwickelt, den lateralen Abstand des Fahrzeugs zu vergrößern, sodass Fußgänger früher erkannt werden können. Abhängig vom Abstand wird die Geschwindigkeit des Fahrzeugs entsprechend angepasst, um das Risiko zu minimieren.

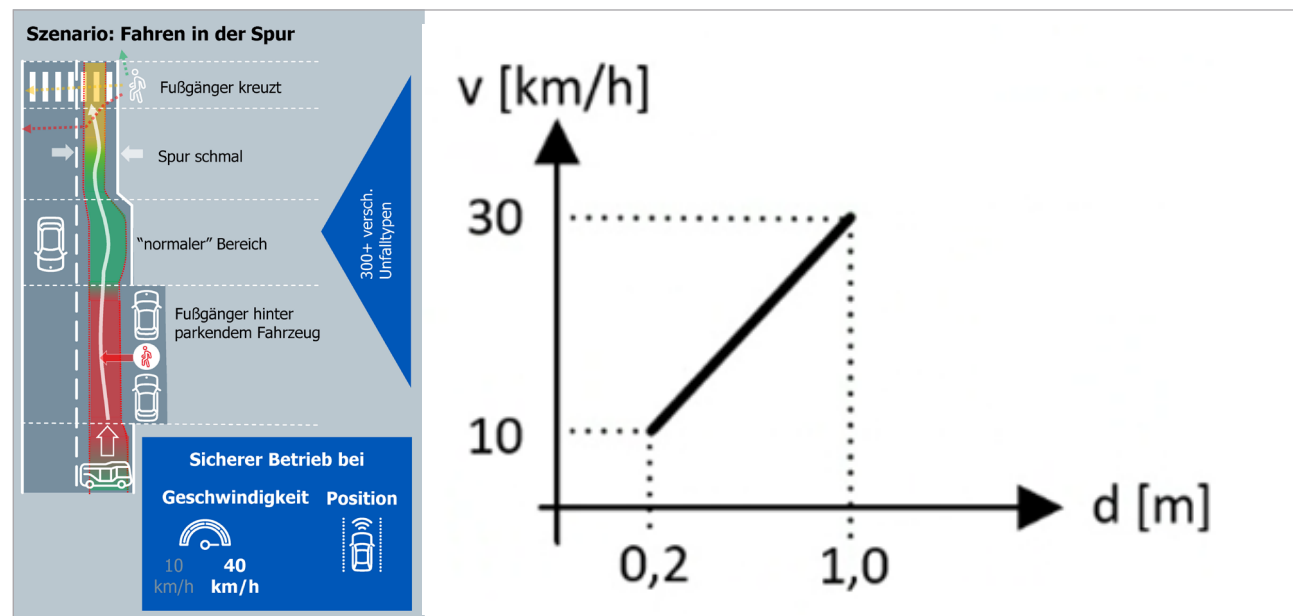


Abbildung 10: Geschwindigkeit in Abhängigkeit vom lateralen Abstand zu Objekten

Da die Reduktion der Kollisionsgeschwindigkeit die Mindestanforderung der EU-Richtlinie ist, legt das Projekt RABus den Schwerpunkt auf die vollständige Kollisionsvermeidung. Kollisionen mit Fußgängern sind nicht akzeptabel und könnten das Vertrauen in autonome Fahrzeuge erheblich schädigen.

Basierend auf diesen Anforderungen wurden Fahr-funktionen entwickelt, die Geschwindigkeit und Abstand dynamisch anpassen, notfalls eine Bremsung oder den Eingriff eines Sicherheitsfahrers ermöglichen und den ursprünglichen Fahrzustand nach einer Gefahrensituation wiederherstellen.

4.4 Wissenschaftliche Begleitforschung

Die Technik des autonomen Fahrens spielt eine zentrale Rolle für die Mobilität der Zukunft. Ihr erfolgreicher Einsatz im öffentlichen Verkehr als Beitrag zu einer flächen- und energiesparenden Verkehrswende hängt entscheidend von Akzeptanz sowie ökonomischen und technischen Rahmenbedingungen ab.

Im Projekt RABus untersucht das KIT die Akzeptanz und verkehrlichen Wirkungen verschiedener Angebotsformen autonomer Kleinbusse im ÖPNV.

Ziel ist es, zu ermitteln, welche Personengruppen welche Angebote nutzen würden und welche verkehrlichen Effekte daraus resultieren. Das FKFS bewertet die technischen Ansätze, insbesondere die Hinderniserkennung automatisierter Shuttles, und identifiziert Verbesserungspotenziale. Zudem werden die Betriebskosten von Elektrobussen, Dieselnissen und autonomen Shuttles wirtschaftlich verglichen.

4.4.1 Akzeptanzforschung

Der vorliegende Bericht zu Phase 1 von RABus erläutert die Methodik der Begleitforschung für Phase 1 und 2. Ergebnisse werden nur für vollständig abgeschlossene Bestandteile von Phase 1 vorgestellt. Eine umfassende Übersicht mit Empfehlungen folgt im Abschlussbericht zu Phase 2.

In den folgenden Abschnitten werden das Konzept der Akzeptanzforschung und der verkehrlichen Bewertung vorgestellt. Anschließend werden Ergebnisse aus Veranstaltungsbefragungen und der BW-Online-Erhebung erläutert.

Konzept der Akzeptanzforschung und der verkehrlichen Bewertung

Um die Akzeptanz von autonomen Kleinbussen zu erforschen, werden mehrere quantitative Befragungen und qualitative Interviews in unterschied-

lichen Formaten durchgeführt. Mit den Ergebnissen der Befragungen wird die Nutzungsakzeptanz analysiert, Personengruppen und ihre Bedürfnisse aggregiert und Nutzungsbarrieren beziehungsweise Gründe für ein ausbleibendes Nutzungsinteresse erfasst (Abschnitt BW-Online-Erhebung). Hieraus werden Empfehlungen für das nötige, durch autonome Kleinbusse ergänzte ÖPNV-Angebot und dessen Kommunikation abgeleitet.

Zusätzlich werden die Befragungsdaten für die Verkehrsmittelwahlentscheidungen in den in Phase 2 genutzten Modellen verwendet, mit Hilfe derer die verkehrlichen Wirkungen quantitativ ermittelt werden. Hierfür werden agentenbasierte Verkehrsnachfragemodelle für die beiden Reallabore aufgebaut. Damit werden die Befragungsergebnisse auf die gesamte Bevölkerung in Mannheim und Friedrichshafen angewendet. Anhand der Modelle können einzelne Maßnahmen (Aufbau einer Buslinie oder Aufbau eines On-Demand-Services) sowie kombinierte Maßnahmen in Form von Szenarien und ihre verkehrliche Wirkung (z. B. Veränderung des Modal Split) bestimmt werden. Anhand der Ergebnisse wird zudem ein abstraktes Baden-Württemberg-weites Modell erstellt, das auf Gemeindeebene (in größeren Städten je Stadtteil) das Potential der Nutzung von autonomen ÖV-Angeboten darstellt.

Ergebnisse der tablet-gestützten Kurzbefragungen und qualitativen Interviews bei Veranstaltungen

Das Projekt RABus war auf verschiedenen öffentlichen Veranstaltungen präsent, um die Bevölkerung über das Projekt und die Technik des autonomen Fahrens zu informieren. Gleichzeitig wurden qualitative Interviews und ein projektbegleitend modifizierter Tablet-Fragebogen genutzt, um ein Stimmungsbild der Besucherinnen und Besucher zu erfassen. Es ist zu beachten, dass die Ergebnisse dieser Befragungen nicht repräsentativ sind, da nur ein Teil der Bevölkerung erreicht wurde.

Die Befragungen ergaben folgende qualitative Eindrücke:

- Hohe Neugierde und Aufgeschlossenheit gegenüber autonomem Fahren und den Kleinbussen
- Unsicherheiten bezüglich der Sicherheit der Technik, der Angebotsformen und der Barrierefreiheit, die jedoch durch die bereitgestellten Informationen meist ausgeräumt wurden
- Sorgen über den Verlust von Arbeitsplätzen, die ab 2023 kaum noch thematisiert wurden
- Wahrnehmung ländlicher und schlecht erschlossener Gebiete als bevorzugte Einsatzorte

Die häufigsten Gründe für den Wunsch nach autonomen Shuttles waren unzureichende ÖPNV-Angebote zu Randzeiten (41 %), niedrige Taktung (40 %), zu lange Reisezeiten (31 %) und weite Zugangswege zu Haltestellen (28 %). Die Ergebnisse verdeutlichen, dass der bestehende ÖPNV zumeist ausbaufähig ist. Die gesammelten Daten fließen in die modellbasierten Untersuchungen von Phase 2 ein.

BW-Online-Erhebung

Ziel der Begleitforschung war es, Ergebnisse zur Akzeptanz autonomer Kleinbusse für die Bevölkerung Baden-Württembergs zu generieren. Dazu wurde Anfang 2022 eine Online-Erhebung durchgeführt, bei der 1.434 Personen über ein Access Panel eines Meinungsforschungsinstituts sowie Social-Media-Kanäle befragt wurden. Obwohl alle Altersgruppen über 18 Jahre vertreten waren, sind ältere Menschen und Frauen leicht unterrepräsentiert.

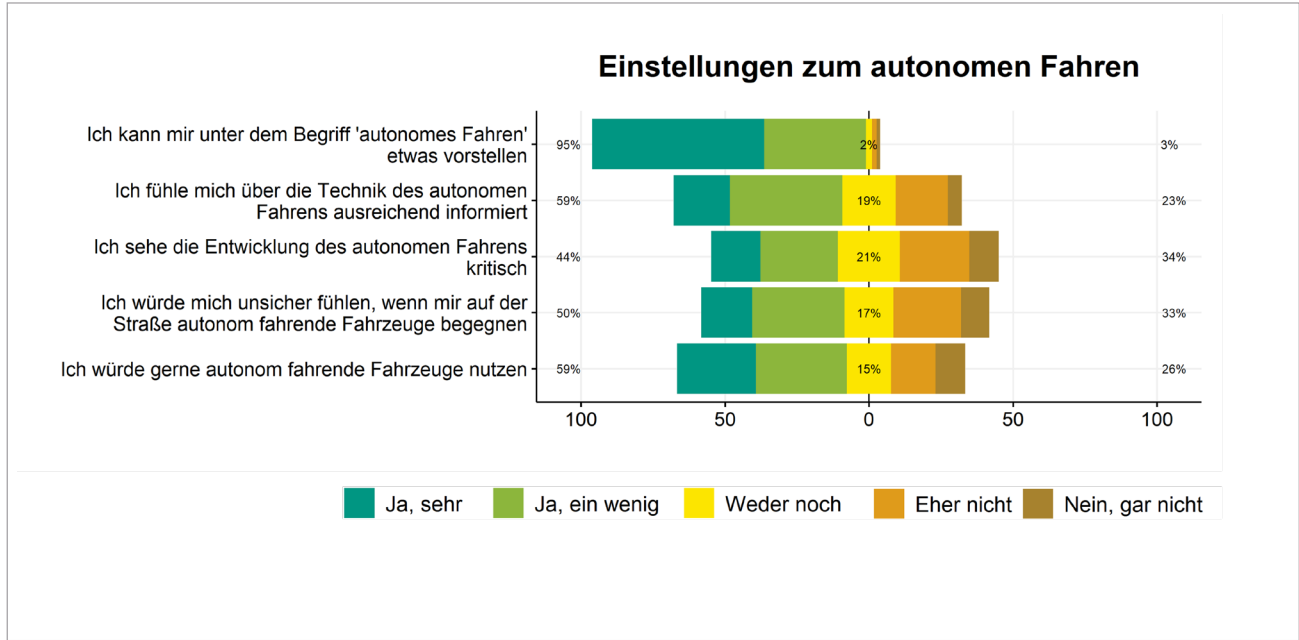


Abbildung 11: Zustimmung zu Aussagen zum autonomen Fahren

Die Befragung zeigte, dass nahezu die gesamte Bevölkerung den Begriff „autonomes Fahren“ kennt, aber jede fünfte Person sich noch nicht ausreichend informiert fühlt. Ein Drittel der Befragten steht der Technik kritisch gegenüber, während 59 % Interesse an der Nutzung zeigen (Abbildung 11). Diese Werte liegen unter den Ergebnissen der Veranstaltungen, wo die Zustimmung höher ausfiel.

Besonders positiv wurde die Nutzung autonomer Kleinbusse als Zubringer zum Schienenverkehr bewertet, was sich 69 % der Befragten vorstellen konnten. Auch die Möglichkeit, Fahrten per App zu bestellen, wurde von 95 % als unproblematisch eingestuft.

Hinsichtlich Verbesserungen im ÖPNV sprachen sich 83 % der Befragten für ein besseres Angebot zu Randzeiten aus, gefolgt von direkteren Verbindungen (81 %) und näher gelegenen Haltestellen (77 %). Kritische Argumente gegen die Nutzung der Busse waren die Sorge um Arbeitsplatzverluste sowie mögliche Fehler der Technik und Hackerangriffe (siehe Abbildung 12).

Abschließend wurden Entscheidungssituationen analysiert, um Rückschlüsse auf die potenzielle Nutzung autonomer Kleinbusse zu ziehen. Die Ergebnisse zeigen, dass Personen mit einer ÖV-Zeitkarte oder einem Smartphone die Kleinbusse eher nutzen würden, während PKW-Besitzer das Interesse senkt. Interessanterweise würden PKW-Besitzer eher einen autonomen Kleinbus als den klassischen ÖPNV wählen, besonders für Arbeits- und Freizeitwege.

Die detaillierten Ergebnisse dieser Analyse sowie die lokalen Online-Erhebungen und qualitativen Interviews aus Phase 2 werden im Abschlussbericht der nächsten Projektphase vorgestellt.

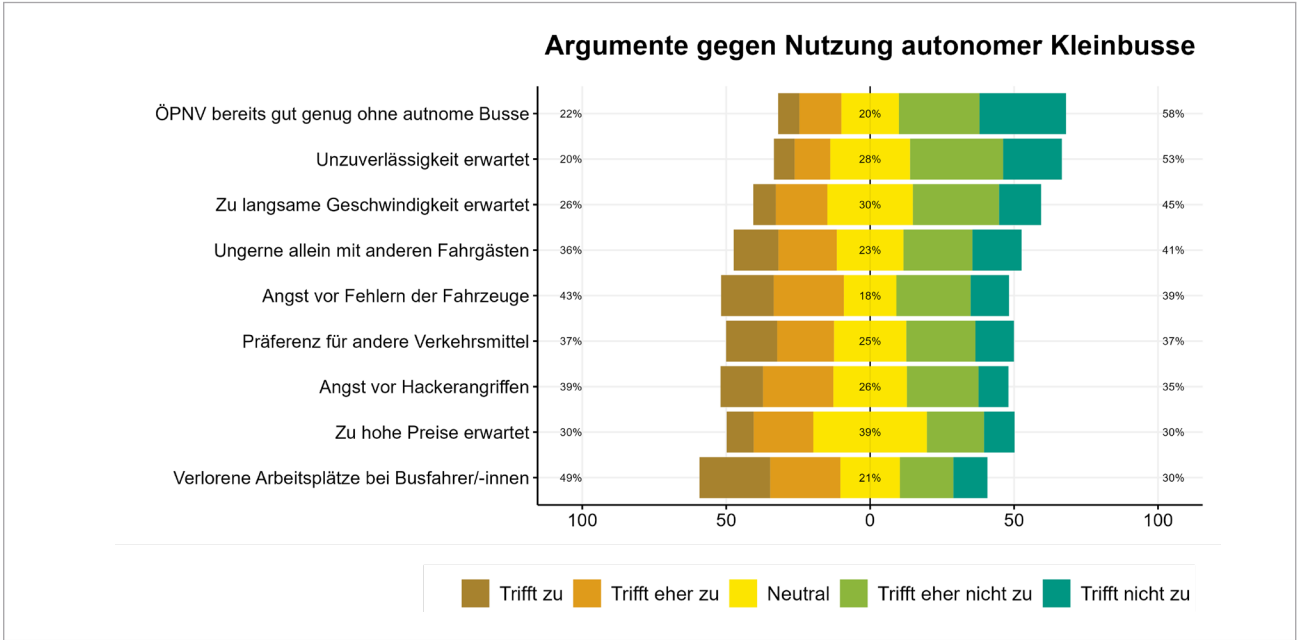


Abbildung 12: Zustimmung zu Argumenten gegen die Nutzung der autonomen Busse

4.4.2 Technische Bewertung des Fahrbetriebs

Die Implementierung automatisierter Fahrsysteme erfordert die Gewährleistung von Sicherheit und Zuverlässigkeit unter realen Bedingungen. Ein sicherer Betrieb im öffentlichen Straßenverkehr setzt einen ausreichenden technischen Reifegrad sowie eine umfassende Testtiefe voraus. Statistische Berechnungen zeigen, dass für die Absicherung der Funktionssicherheit Fahrstrecken von etwa 10^8 bis 10^9 Testkilometern nötig wären. Diese hohen Anforderungen machen traditionelle Testverfahren zunehmend unpraktikabel, insbesondere da Änderungen an Software oder Hardware umfangreiche Retests erfordern.

Virtuelle Testverfahren wie Simulationen, beschleunigte Tests und szenariobasierte Validierungen gewinnen daher an Bedeutung. Sie ermöglichen die effiziente Generierung und Analyse zahlreicher Gefahrenszenarien im virtuellen Raum, ohne reale Risiken einzugehen. Dadurch können sicherheitskritische Fahrfunktionen wie die Hinderniserkennung sicher und effizient bewertet werden.

Methodik zur Bewertung der Hinderniserkennung

Zur Beurteilung sicherheitskritischer Funktionen wie der Hinderniserkennung wurde eine Methode entwickelt, die aus der Perspektive eines Endnutzers (z. B. eines ÖPNV-Betreibers) anwendbar ist. Da das Hinderniserkennungssystem in automatisierten Shuttlebussen eine Blackbox darstellt, können dessen interne Abläufe nicht direkt beobachtet werden. Die Systemleistung wird daher durch die Analyse von Ein- und Ausgängen bewertet, um Rückschlüsse auf die Zuverlässigkeit zu ziehen.

Zur Bewertung der Hinderniserkennung wurden verschiedene Metriken herangezogen, die es ermöglichen, die Genauigkeit und Effizienz des Algorithmus quantitativ zu messen. Zu den wichtigsten Kennzahlen zählen Schlüsselindikatoren (Key Performance Indicators, KPI) wie Precision und Recall, die Leistung und Zuverlässigkeit bewerten.

	Datensatz 1	Datensatz 2	Datensatz 3	Datensatz 4
	(Blunder, Thiel, Schrick, Hinckeldeyn, & et al., 2022)	(Asvadi, Premebida, Peixoto, & Nunes, 2016)	(Połap, Kęsik, Książek, & Woźniak, 2017)	(Bovcon, Muhovic, Pers, & Kristan, 2019)
S	1	1	0.31	1
DR	0.90	0.94	0.91	0.64
MR	0.10	0.06	0.18	0.36
P	0.59	0.97	0.91	0.82
R	0.90	0.94	0.83	0.64
F1 _α (α=0.2)	0.82	0.94	0.85	0.67
F1 _α (α=0.5)	0.71	0.95	0.87	0.72
F1 _α (α=0.8)	0.63	0.96	0.89	0.77

Tabelle 2: Bewertungsmaßstäbe für relevante Studien (grün steht für „ausgezeichnet“, hellrot für „akzeptabel“ und rot für „schlecht“)

Eine zentrale Rolle spielt der gewichtete F1-Score, der das harmonische Mittel aus Precision und Recall bildet. Da für autonome Shuttles die vollständige Erkennung aller Hindernisse essenziell ist, wird der Recall stärker gewichtet. Ein höherer Recall erhöht die Sicherheit, verringert jedoch die Verfügbarkeit, da das Fahrzeug häufiger anhält. Der gewichtete F1-Score berücksichtigt diese unterschiedlichen Prioritäten:

$$F1_{\alpha} = \frac{1}{\alpha \frac{1}{P} + (1-\alpha) \frac{1}{R}}$$

wobei das Gewicht $\alpha \in [0, 1]$ liegt. Wenn $\alpha < 0,5$, hat der Recall ein höheres Gewicht (Fokus auf Sicherheit), während bei $\alpha > 0,5$ die Precision wichtiger ist (Fokus auf Verfügbarkeit).

Die Bewertungsmethode wurde anhand von Versuchsdaten aus vier repräsentativen Veröffentlichungen evaluiert. Dabei wurden Metriken wie **Detection Rate**, **Miss Rate**, **Recall** und **Precision** sowie drei Varianten des gewichteten **F1**-Scores analysiert. Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse und teilt sie in die Kategorien „ausgezeichnet“, „akzeptabel“ und „schlecht“ ein.

Um die Hinderniserkennung verschiedener Fahrzeuge vergleichbar zu machen, sind standardisierte Testszenarien erforderlich. Diese sichern die Vergleichbarkeit der Ergebnisse und ermöglichen eine objektive Bewertung der Funktion.

4.5 Rechtliche Begleitung

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über die zentralen Schritte im Zusammenhang mit der Erteilung der Erprobungsgenehmigung für die automatisierten **Technikträger** im Projekt RABus. Bei den sogenannten „Technikträgern“ handelt es sich um technisch genehmigte Fahrzeuge (Mercedes-Benz eVito), die mit dem automatisierten Fahrsystem von ZF ausgestattet wurden. Die Fahrzeuge kamen **2023** auf festgelegten Routen im öffentlichen Verkehrsraum zum Einsatz und verfügten zu Beginn über einen Funktionsumfang entsprechend SAE-Level 2+.

Für den Betrieb im Kontext des Einsatzzweckes (z. B. auf öffentlichen Straßen) begehrte ZF eine Erprobungsgenehmigung gemäß § 1 Abs. 1 Straßen-

verkehrsgesetz („**StVG**“) i.V.m. § 16 Abs. 3 der Autonome-Fahrzeuge-Genehmigungs-und-Betriebs-Verordnung („**AFGBV**“).

Die damit verbundenen Anforderungen und Stationen des Genehmigungsprozesses gemäß § 1i StVG i. V. m. § 16 AFGBV – insbesondere im Hinblick auf die Genehmigung des Kraftfahrtbundesamt („KBA“) – werden im Folgenden beschrieben und sind in Abbildung 13 grafisch dargestellt. Für weiterführende Informationen wird auf das ergänzende Dokument verwiesen: [RABus \(Phase 1\) Erprobungsgenehmigung](#)

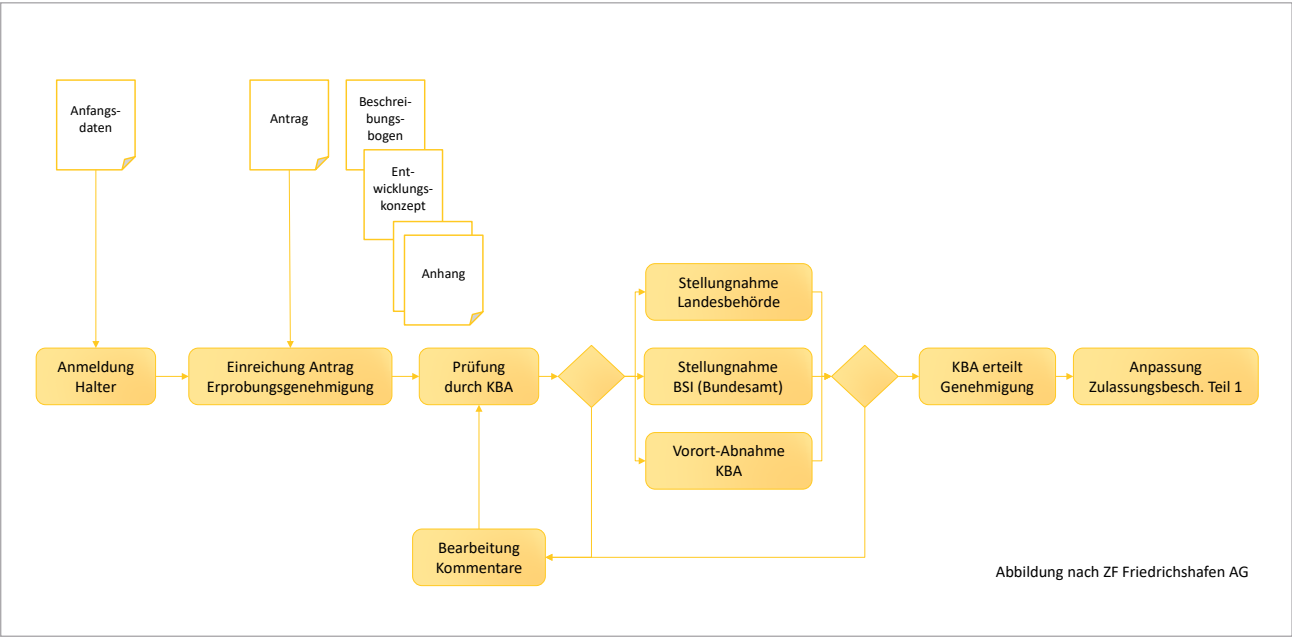


Abbildung 13: Genehmigungsprozess gemäß § 1i StVG i. V. m. § 16 AFGBV

1. Nach Antragsstellung prüft das **KBA** den Antrag auf dessen Genehmigungsfähigkeit. Die Bearbeitungszeit ist stark vom Umfang des Erprobungsvorhabens abhängig.
2. Für die Erprobung der eVito Fahrzeuge im Projekt RABus dauerte diese Prüfung **zwei bis drei Wochen**.
3. Das KBA beteiligt ferner die anderen **zuständigen Behörden**. Dabei wird gemäß § 1i Abs. 2 Satz 3 StVG, § 28 VwVfG zu Nebenbestimmungen, die den Betriebsbereich beschränken, die nach Landesrecht zuständige Behörde des örtlich betroffenen Landes angehört.
4. Das Gesetz sieht für die Anhörung der anderen Behörden keine Frist vor. Das KBA kann jedoch eine angemessene Frist setzen. Was angemessen ist, hängt von den Umständen des Einzelfalls – insbesondere vom Umfang des Erprobungsvorhabens – ab.
5. Für die Erprobung der eVito Fahrzeuge im Projekt RABus hatte die Landesbehörde eine **zweiwöchige Frist** zur Stellungnahme.
6. Gemäß § 1i Abs. 3 StVG wird das **Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik** („BSI“) zu Fragen der Sicherheit in der Informationstechnik bei der Erstellung, Umsetzung und bei der Weiterentwicklung und Bewertung technischer Anforderungen beteiligt.
7. Die Prüfung durch das BSI dauerte im Projekt RABus ca. **zwei Wochen**.
8. Für die Erprobung der eVito Fahrzeuge im Projekt RABus führte das KBA eine **Vor-Ort-Abnahme** durch. Dabei wurde insbesondere das Entwicklungskonzept mit dem Fahrzeug abgeglichen und durch den TÜV überprüft. In dem **vierstündigen Termin** wurde auch das freie Fahren, die Fahrgastfahrt und das Bremsen als Reaktion auf einen Radfahrer geprüft.
9. Die Erprobungsgenehmigung eVito **Mannheim** wurde gemäß § 1i Abs. 2 Satz 1 StVG, § 16 Abs. 1 Satz 1 AFGBV am **22.09.2023** durch das KBA erteilt. Die Erprobungsgenehmigung eVito

Friedrichshafen wurde gemäß § 1i Abs. 2 Satz 1 StVG, § 16 Abs. 1 Satz 1 AFGBV am **24.10.2023** durch das KBA erteilt.

10. Nach Erteilung der Erprobungsgenehmigung mussten die eVito Fahrzeuge mithin **erneut zugelassen** werden und ein Hinweis auf die Erprobungsgenehmigung unter Angabe des Datums der Ausstellung durch das KBA in die Zulassungsbescheinigung Teil I eingetragen werden, § 16 Abs. 7 AFGBV.

4.6 Öffentlichkeitsarbeit

Die Einführung neuer Mobilitätskonzepte, speziell im Bereich des Autonomen Fahrens, stellt zweifellos einen bedeutenden Schritt in der technologischen Evolution für die Gesellschaft dar. Die Integration autonomer Fahrzeuge wirft nicht nur technische, sondern auch soziale Fragestellungen auf, die für eine erfolgreiche Implementierung von grundlegender Bedeutung sind. Die Verbreitung von Erkenntnissen und Fortschritten über Vorort-Veranstaltungen als auch auf digitale Plattformen ermöglicht eine direkte Ansprache und Interaktion mit verschiedenen Zielgruppen.

In diesem Zusammenhang werden auch die unterschiedlichen Zielgruppen – die allgemeine Bevölkerung sowie das Fachpublikum – in Betracht gezogen. Die Vermittlung von Informationen an die breite Masse erfordert eine klare und verständliche Kommunikation, um Akzeptanz und Verständnis für die neue Technologie zu schaffen.

Die Öffentlichkeitsarbeit spielt eine entscheidende Rolle, die Akzeptanz von automatisiertem Fahren in der Bevölkerung zu erhöhen. Für die erfolgreiche Einführung und weitreichende Verbreitung dieser Technologie ist es essentiell, eine umfassende Zustimmung in der Gesellschaft zu erreichen. Um die Chancen des automatisierten Fahrens zu nutzen, ist es wichtig, dass die Öffentlichkeit Vertrauen in die Sicherheit und Zuverlässigkeit dieser Technologie hat. Die Information über die Vorzüge, Funktionsweisen und potenziellen Auswirkungen autonomer Fahrzeuge ist dabei essentiell.

Die Ziele der Öffentlichkeitsveranstaltungen zum Thema automatisiertes Fahren sind daher:

- Informieren: Die Öffentlichkeit über die Chancen aber auch Risiken automatisierten Fahrens informieren.
- Ängste nehmen: Das Vertrauen in die Sicherheit automatisierter Fahrzeuge stärken.
- Animieren / Motivieren: Die Möglichkeit bieten, die Technik anfassend und „erfahren“ zu können.
- Positives Image herstellen: Die Akzeptanz der Öffentlichkeit für automatisiertes Fahren erhöhen.

4.6.1 Zielgruppen

Erwerbstätige / Pendler*innen

Für Menschen, die täglich zur Arbeit pendeln, ist eine gute Anbindung an das Verkehrsnetz unerlässlich. Sie sind auf schnelle, zuverlässige Verkehrsmittel angewiesen, um ihren Arbeitsplatz erreichen zu können. Dazu zählt insbesondere eine starke Vernetzung mit dem öffentlichen Verkehr, die direkte Verbindungen und eine häufige Beförderungsfrequenz zu wichtigen Zielen wie Innenstädten, Bahnhöfen und Arbeitszentren bietet.

Die Integration automatisierter Shuttle-Dienste in den öffentlichen Nahverkehr kann hier revolutionäre Veränderungen bewirken. Diese technologische Innovation verspricht, die Anbindung an den Arbeitsplatz flexibler und effizienter zu gestalten, indem sie sich besser an individuelle Zeitpläne und Bedürfnisse der Pendler anpasst. So könnten Arbeitswege nicht nur angenehmer, sondern auch effektiver gestaltet werden, was den Alltag vieler Berufstätiger erheblich erleichtert.

Allerdings bringen solche Neuerungen auch Unsicherheiten mit sich. Berufstätige könnten besorgt sein über die Zuverlässigkeit der Technologie und mögliche technische Störungen, die ihre tägliche Fahrt beeinträchtigen könnten. Datenschutz ist ebenfalls ein kritisches Thema, da die Nutzung automatisierter Mobilitätsservices oft die Verarbeitung persönlicher Informationen erfordert. Darüber hinaus

gibt es Bedenken hinsichtlich der Auswirkungen dieser Technologien auf bestehende Arbeitsplätze im traditionellen Verkehrssektor, was die Angst vor einem möglichen Verlust von Arbeitsstellen schürt.

Kinder und Jugendliche

Die Förderung einer eigenständigen Mobilität, einschließlich der selbstständigen Nutzung des öffentlichen Nahverkehrs, ist für die Entwicklung von Kindern und Jugendlichen von großer Bedeutung. Sie unterstützt nicht nur den Erwerb von Selbstständigkeit, sondern auch die Entwicklung motorischer und kognitiver Fähigkeiten. Für den Weg zur Schule, zu Freizeitaktivitäten und sozialen Veranstaltungen ist es entscheidend, dass Kinder und Jugendliche auf sichere und zuverlässige Transportmöglichkeiten zurückgreifen können.

Die Einführung von Technologien zum autonomen Fahren eröffnet neue Perspektiven für die Mobilität von Kindern und Jugendlichen, indem sie eine sichere und effiziente Beförderung ohne ständige elterliche Begleitung ermöglicht. Diese technologischen Fortschritte könnten den Alltag von Familien erleichtern, indem sie für eine reibungslosere Organisation des Schulwegs oder der Fahrt zu Freizeitaktivitäten sorgen. Die Innovationen im Bereich des fahrerlosen Transports könnten insbesondere in der Einführungsphase auf großes Interesse stoßen und als wegweisend betrachtet werden.

Trotz der potenziellen Vorteile sind bei Eltern und Erziehungsberechtigten Sicherheitsbedenken für ihre Kinder und Jugendlichen in autonomen Fahrzeugen präsent. Es besteht die Sorge, wie verlässlich diese Technologie in unerwarteten Situationen reagieren kann und inwieweit sie in der Lage ist, junge Nutzer:innen vor möglichen Gefahren zu schützen. Diese Unsicherheiten unterstreichen die Notwendigkeit, Sicherheitsstandards ständig zu evaluieren und transparent zu kommunizieren, um das Vertrauen in die neue Technologie zu stärken.

Senior*innen und Menschen mit Mobilitätseinschränkungen

Im Zuge der demografischen Veränderungen verdienen insbesondere Senior*innen und Menschen mit Mobilitätseinschränkungen erhöhte Aufmerksamkeit. Obwohl viele ältere Menschen auch nach dem Eintritt in den Ruhestand aktiv mit dem Auto unterwegs sind, gewinnen mit fortschreitendem Alter und aufgrund körperlicher Einschränkungen alternative Fortbewegungsmethoden an Bedeutung. Für diese Personengruppen ist die Zugänglichkeit von Verkehrsmitteln entscheidend, um ihre Unabhängigkeit zu bewahren und am sozialen Leben teilhaben zu können.

Die Technologie des autonomen Fahrens bietet diesen Gruppen eine komfortable und sichere Möglichkeit, sich fortzubewegen, ohne auf die Hilfe Dritter angewiesen zu sein. Fahrzeuge, die für ihre spezifischen Bedürfnisse konzipiert sind, und die Flexibilität der Technologie eröffnen neue Wege der Mobilität, selbst für jene, die nicht mehr selbst am Steuer sitzen können oder wollen.

Gleichwohl könnten Senior:innen und Menschen mit Mobilitätseinschränkungen Vorbehalte gegenüber der Handhabung und dem Verständnis der Technologie hinter autonomen Fahrzeugen hegen.

Das Fehlen einer direkten Ansprechperson im Fahrzeug könnte Befürchtungen hinsichtlich potenzieller Überforderung im Umgang mit dem System hervorrufen und somit eine Hürde für die vollständige Akzeptanz und Nutzung dieser innovativen Transportlösung darstellen.

4.6.2 Tage der Technik

Bei der Planung und Durchführung von Veranstaltungen für die Allgemeinheit, aber auch spezielle Zielgruppen, stehen die (zukünftigen) Nutzenden der automatisierten Shuttles im Vordergrund. Diese hatten die Gelegenheit, sich zum Projekt allgemein sowie zum automatisierten Fahren und der Technik zu informieren und Sorgen sowie Ängste mit den Projektbeteiligten zu besprechen. Ein besonderes Augenmerk wurde bei den Bürgerveranstaltungen auf die „Tage der Technik“ gelegt. An diesem Tag wurde die Technik hinter dem automatisierten und vernetzten Fahren vor Ort anhand von Technikträgern erklärt. Der Tag der Technik wurde dazu genutzt, das Verhalten des automatisierten Fahrzeugs zu erklären und um auf das Sicherheitskonzept einzugehen. Mithilfe der verbauten Sensorik am Technikträger konnte visualisiert werden, wie das Fahrzeug seine Umgebung wahrnimmt (vgl. Abbildung 14).



Abbildung 14: Umfeldwahrnehmung der Sensoren



Abbildung 15: Fotodokumentation Tag der Technik in Mannheim (Bilder: ZF)

Im Rahmen der Veranstaltung fanden mehrere Vorführungen des automatisierten Fahrbetriebs des Technikträgers statt, zunächst auf einer abgesperrten Fläche, später, nach der Erteilung der Erprobungsgenehmigung durch das Kraftfahrt-Bundesamt (KBA), auch auf öffentlichen Straßen. Die Besucherinnen hatten die Möglichkeit, durch eine Live-Übertragung sowohl Einblick ins Innere des Fahrzeugs zu erhalten, als auch insbesondere den Fahrer:innen bei der Arbeit zu beobachten. Parallel dazu wurden die Ansichten der Sensordaten angezeigt, was einen tiefgreifenden Einblick in die Funktionsweise der Technologie ermöglichte. Durch die Teilnahme von Bürgermeister:innen, Mitarbeiter:innen des Ministeriums für Verkehr und Vertreterinnen der Presse erhielt die Veranstaltung zusätzliche Aufmerksamkeit und unterstrich die Bedeutung des Projekts für die Öffentlichkeit (Abbildung 15).

Die sorgfältige Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung einer Öffentlichkeitsveranstaltung wie dem „Tag der Technik“ waren entscheidend, um für die gewünschte Aufmerksamkeit zu sorgen. Dadurch wurde nicht nur ein reibungsloser Ablauf des Tags der Technik sichergestellt, sondern auch eine informierte und beteiligte Öffentlichkeit erreicht. Die Veranstaltung erfuhr positive Resonanz sowohl in der Presse als auch bei den Teilnehmenden, was die erfolgreiche Vermittlung des Potenzials und der Sicherheitsaspekte des automatisierten Fahrens unterstreicht.

5 Projekt-Beirat

Das Projekt RABus wurde über die Laufzeit von einem Beirat begleitet, der das Konsortium bei strategischen Fragestellungen begleitete, bestehende Expertise bündelte und den Dialog zwischen den relevanten Akteuren förderte. Die Vertretungen aus Verbänden, Verkehrsverbünden, Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Hochschulen wurden vom Konsortium und dem Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg benannt.

5.1 Mitglieder des Beirats

Die Mitglieder des Beirats lauten (Stand 31.12.2023):

Dr. Till Ackermann Fachbereichsleiter, Verband Deutscher Verkehrsunternehmen
Peter Dörfler Teamleiter, IVU Traffic Technologies AG
Dr. Wolfgang Fischer Leiter Bereich Projekt- und Clusteraktivitäten, e-mobil BW
Julian Gedemer Referent Mobilität, Städtetag Baden-Württemberg
Bernd Hasenfratz Geschäftsführer, Bodensee-Oberschwaben Verkehrsverbund GmbH
Dr. Thomas Huber Leiter Innovative Verkehrskonzepte, DB Regio Bus
Yvonne Hüneburg Geschäftsführerin, Verband Baden-Württembergischer Omnibusunternehmen e.V.
Dr. Eike-Christian Kersten Mitglied des Landesvorstandes, Verkehrsclub Deutschland Baden-Württemberg e.V.

Der Beirat sollte bei der Entwicklung mittel- und langfristiger Ziele beratend mitwirken und die Zusammenarbeit mit Länderbehörden und anderen Einrichtungen des öffentlichen Verkehrs, wissenschaftlichen Institutionen, Fachverbänden, Standes- und Berufsorganisationen fördern.

Reinhard Langer Vorsitzender für Internes, Dachverband der Jugendgemeinderäte
Dietmar Maier Geschäftsbereichsleiter Leistungsangebot, Verkehrsverbund Rhein-Neckar GmbH
Prof. Ullrich Martin Professur für Schienenbahnen und Öffentlicher Verkehr und Direktor des Instituts für Eisenbahn- und Verkehrswesens, Universität Stuttgart
Dr. Christian Schudy Manager, Strategische Unternehmensentwicklung, ZF Friedrichshafen AG
Dr. Heiko Tempel Stv. Referatsleiter, Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg
Prof. Adrian Zlocki Bereichsleiter Automatisiertes Fahren, fka GmbH

5.2 Beiratsempfehlungen

5.2.1 Weiterentwicklung der Standardisierung für den Einsatz von autonom fahrenden Elektrobussen im ÖPNV

Ausgangslage	- Einigung bei der Aufgabenverteilung von Aufgabenträgern und weiterer Stakeholder, um Effizienzen zu heben - Standardisierung von technischen Schnittstellen, z. B. zwischen ÖV-Leitstelle und technischer Aufsicht
Im Projekt RABus wurden verschiedene Aspekte des Einsatzes von zukünftig autonom fahrenden Elektrobussen oder ÖPNV-Shuttles getestet. Am Ende zeigt sich an einigen Stellen noch weiterer Entwicklungs- und Standardisierungsbedarf, um zukünftig derartige Fahrzeuge einfacher und umfänglicher einsetzen, d. h. skalieren zu können. Die Technologie und die rechtliche Basis sind dabei noch in Entwicklung. Grundsätzlich gilt es hier auf das „richtige“ Level zu setzen. Eine Ausrichtung, die zu sehr auf die heute teilweise eingeschränkte Technik setzt ist genauso unpassend, wie eine Ausrichtung an einem noch nicht marktreifen Ideal. Dies betrifft die daraus abzuleitenden Einsatzräume und -szenarien sowie die für einen ÖPNV-Betrieb notwendigen Fahrzeuge.	Zu der Standardisierung der fahrerlosen L4-Fahrzeuge gehört es, die kundenbezogenen Prozesse im ÖPNV-Betrieb zu vereinheitlichen. Diese umfasst die Bereiche - Kommunikation und Verhalten im Regel- und im Havariefall - Innenraumüberwachung - Zugang, Identifikation und Ticketkontrolle - Außenkommunikation
Eine wichtige Erkenntnis ist aber, dass die aktuellen Anbieter auf dem deutschen Markt noch das Potenzial haben, zur aktuellen Weltspitze in der Technologie des autonomen Fahrens aufzuschließen. Hier sind US-amerikanische, chinesische und israelische Firmen zu nennen. Dafür ist die seit Juni 2022 in Deutschland geltende Gesetzeslage tatsächlich im Weltmaßstab sehr fortschrittlich. Ein Marktdurchbruch für die Shuttle-Hersteller hängt an der Leistungsfähigkeit der autonomen Technik und einer grundsätzlichen Finanzierung.	
Empfehlung	
Insbesondere sollte in folgenden Bereichen die Entwicklungen intensiv weiterbetrieben werden:	
- Standardisierung von Fahrzeugen: autonome (L4) – Busse, autonome (L4) - Shuttles (8 – 20 Plätze) - Beschreibung von ÖPNV-Einsatzfeldern: automatisierte und autonome Fahrzeuge wie L4 -Kleinbusse/Shuttles, L4-Pkw im On-Demand-Einsatz - Standardisierung von Prozessen, z. B. durch Informationstransfer in Richtung Kommunen	

5.2.2 RABus-Beiratsempfehlung aus Fahrgastsicht

Ausgangslage
Ein attraktiver, häufig verkehrender ÖPNV ist ein wichtiger Baustein zur Erreichung der Klimaschutzziele im Verkehr. Mit dem Deutschlandticket wurden auf der Tarifseite viele Hemmnisse für eine stärkere Nutzung des ÖPNV beseitigt. Auf der Angebotsseite, gerade im Busverkehr außerhalb der Hauptachsen, fehlen heute aber vielfach die Angebote. Es gibt zu wenige und zudem wenig flexible Verbindungen. Zudem begrenzt neben den hohen Kosten auch die demografische Entwicklung und der ausgeprägte Fachkräftemangel beim Fahrpersonal die Angebotsausweitung. Im Rahmen der wissenschaftlichen Untersuchungen des Projektes RABus wurde bisher nachgewiesen, dass bei potenziellen Nutzenden eine Akzeptanz für ein autonom verkehrendes Fahrzeug besteht.

Empfehlung

Bei der Gestaltung der Inneneinrichtung des Fahrzeuges sollte sich bei geplantem Linieneinsatz an Linienbussen (barrierefreier Zugang, Sitzplätze, Multifunktionsflächen) orientiert werden - insofern wird begrüßt, dass das Fahrzeug mehr Sitzplätze als zunächst vorgesehen erhalten soll. Im On-Demand Verkehr ist es ausreichend, wenn Teile der Flotten barrierefrei gestaltet sind, sofern für alle Fahrgäste ein gleiches Servicelevel geboten werden kann. Angesichts des Mangels an Fahrpersonal, der perspektivisch noch zunehmen dürfte, kommt dem Projekt RABus eine große Bedeutung zu, die Betriebskosten bei gleichzeitiger Leistungsausweitung senken zu können und damit auch mehr Flexibilität im ÖV-Angebot zu ermöglichen. Deshalb ist der Beginn der öffentlich produktiven Erprobungsphase mit Fahrgastbetrieb dringend zu empfehlen. Dabei ist besonders auf die Fahrgastinformation, die Integration in bestehende Auskunftssysteme und die Anschlusssicherung, aber auch auf die subjektiven Sicherheitsempfindungen der Fahrgäste zu achten.

Um die vorgenannten Ziele zu erreichen, ist eine Ausweitung in ein flächenhaftes Bediensystem, welches ohne Begleitpersonal im Mischverkehr mit verkehrsüblichen Geschwindigkeiten operieren kann, eine notwendige Bedingung.

5.2.3 RABus-Beiratsempfehlung aus Sicht der Verkehrsunternehmen und Flotten-Betreiber

Ausgangslage

Die Verkehrswende als Mobilitätswende und Antriebswende stellt die Betreiber vor vielfältige Herausforderung. Die Verkehrsmenge als Angebotsmenge ist in den letzten Jahren stetig gestiegen. Verkehrsleistung kann derzeit nur erbracht werden, wenn das erforderliche Fahrpersonal dafür zur Verfügung steht. Die Situation ist aktuell schon sehr schwierig: Der Bestandsverkehr kann an vielen Stellen nur noch mit viel Mühe und Aufwand aufrechterhalten werden, Themen wie die Mobilitätsgarantie drohen schon am Mangel an Personal zu scheitern. Das belastet die Unternehmen wie auch das Personal, das mit Überstunden und Vertretung

belastet ist. In den Unternehmen bindet die Mangel-situation in den Personalabteilungen, Disposition und Geschäftsführung unglaublich viel Zeit und Energie, die dann für andere betriebliche Themen fehlt.

Die Aussichten sind noch trüber: Nach aktuellen Branchenschätzungen fehlen bis 2030 bundesweit rund 76 000 Busfahrerinnen und Busfahrer. Diese Mangelsituation gefährdet die angestrebte Verkehrswende massiv.

Empfehlung

Damit die Verkehrswende eine effizientere Chance hat, brauchen wir technische Innovationen im Busbetrieb, insbesondere auch beim Betreiben der Fahrzeugflotte. Autonomes Fahren setzt langfristig Personalkapazität frei und damit Personal, das heute schon kaum mehr verfügbar ist. Neue Aufgaben werden perspektivisch z.B. darin liegen, eine Flotte steuern, ohne dass jedes Fahrzeug selbst 1:1 besetzt sein muss. Das eröffnet neue Möglichkeiten hinsichtlich der Verkehrsmenge und auch der Feinerschließung / Anbindung des ländlichen Raumes an den Ballungsraum. Die Auswirkung dieser Effekte sind über das Projekt RABus hinaus verstärkt zu untersuchen.

Vorhandene Berufsbilder werden sich dabei verändern, neue werden im Bereich der ÖV-Dienstleistung im Busbetrieb entstehen: Der unterstützende Service sowie die Begleitung und die Fahrgastkommunikation wird in den Vordergrund treten. Über Weiterbildungsangebote, die aus dem Bedarf und dem technischen Fortschritt in der Übergangsphase resultieren, werden sich neue Berufsbilder entwickeln. Da diese Entwicklungen im Projekt nur angerissen werden konnten, sollten hierzu vertiefte Untersuchungen zeitnah beginnen.

Der Erfolg des Öffentlichen Verkehrs geht mit „funktionierenden Reiseketten“ einher. Der technische Fortschritt im Bereich des autonomen Fahrbetriebs ist wichtig, um hier in der Zukunft mit in der Summe weniger Fahrpersonal ein gutes ÖV-Angebot im Ballungsraum und im ländlichen Raum umsetzen zu können, das wirtschaftlich noch darstellbar ist. Für den Nachweis der Wirtschaftlichkeit sind belastbare Grundlagen- und Berechnungsmethoden zu entwickeln.

5.2.4 Technische Systemgestaltung und Zulassung

1) Erprobungsgenehmigung

Ausgangslage

Für die Erprobung von autonomen Fahrzeugen existiert mit der AFGBV in Deutschland ein aktueller Gesetzesrahmen. Innerhalb dieses Rahmens ist die Genehmigung zur Erprobung von autonomen Fahrzeugen geregelt. Der Gesetzesrahmen ist im weltweiten Vergleich bereits ausgereift und gut strukturiert, so dass Empfehlungen eher auf Details der Ausführung zielen.

Allerdings gibt es folgende Herausforderungen:

1. Aus der Formulierung § 16 AFGBV ergibt sich ein großer Interpretationsspielraum an einzureichenden Informationen und Umfang der Unterlagen. Für die Erprobungsgenehmigung hatten im Falle von ZF die eingereichten Unterlagen für ein Fahrzeug ca. 600 Seiten, davon ca. 200 fahrzeugspezifisch. Konkrete vergebene Testkataloge für die Fahrfunktion existieren als Minimalanforderung ebenfalls nicht, Tests des KBA erfolgen entlang des § 16 AFGBV Abs. 3 Nr. 5 fokussiert auf die Abschaltbarkeit.
2. Der Genehmigungsrahmen gilt pro Fahrzeug, so dass pro Fahrzeug ein eigener Antrag mit allen Anhängen eingereicht werden muss. Das KBA akzeptiert zwar auch Anhänge, die für mehrere Fahrzeuge gelten (Bsp. Entwicklungskonzept, Nachweis der Sachkunde), die Antragstellung ist dadurch aber für mehrere baugleiche Fahrzeuge unnötig bürokratisch.

Empfehlung

1. Konkrete Anforderungen oder Vorlagen, vergleichbar zur Mustervorlage „Entwicklungskonzept“, seitens des KBA wären hilfreich für die Antragsstellung. Zusätzlich könnten vereinheitlichte Testfälle, beispielsweise basierend auf NCAP-Testfällen, genutzt werden.

2. Der Genehmigungsprozess sollte seitens des Gesetzgebers so angepasst werden, dass eine Genehmigung für eine Reihe von Fahrzeugen beantragt werden kann, ohne dass jedes Fahrzeug als eigenständiges Genehmigungsobjekt mit allen Anlagen beantragt werden muss.

2) Homologation/Typzulassung

Ausgangslage

Für die Typzulassung und den Betrieb von autonomen Fahrzeugen existieren mit der VO (EU) 2022/1426 und der AFGBV in Deutschland ein aktueller Gesetzesrahmen.

Für autonome Fahrzeuge gelten alle technischen Bestimmungen wie für herkömmliche Fahrzeuge. Während der Entwicklung der Fahrzeuge ist es erforderlich, dass auch Fahrzeuge bzw. Prototypen, die perspektivisch ohne Fahrer und einen Fahrerarbeitsplatz ausgestattet sind, temporär mit einem Fahrerarbeitsplatz zugelassen werden.

Aktuell gibt es folgende Herausforderungen:

1. Für Fahrzeuge mit einem Fahrerarbeitsplatz, auch wenn nur temporär, gelten trotzdem alle Anforderungen an den Fahrerarbeitsplatz (z. B. Konstruktion eines Busses UN ECE R107, Fahrerarbeitsplatz UN ECE R79 oder Anforderungen an Sitze UN ECE R17). Damit sind für vollautonome Fahrzeuge z. B. Regularien wie Scheibenwischer, Spiegel, Anforderungen ans Sichtfeld etc. konstruktiv vorzusehen, die im Regelfall nicht technisch notwendig sind oder teilweise im Widerspruch zu der Auslegung eines autonomen Shuttles stehen.
2. Sicherheitsfunktionen, die für die Unterstützung des Fahrers über die Global Safety Regulations (GSR II) eingeführt werden, sind für den übergangsweisen Betrieb in der Erprobungsphase vollständige Voraussetzung zur Zulassung (z. B. Blind-Spot-Information System (UN ECE R 151), Intelligent Speed Assist (EU 2021/1958), Müdigkeitserkennung (EU 2021/1341) oder ein Alcohol Interlock (EU 2021/1243)).

- Die Anforderungen an autonome Fahrzeuge auf nationaler (AFGBV) und europäischer Ebene sind nicht angeglichen. So gelten für Prototypenstadien (nationale Zulassung) andere technische Regelungen als auf europäischer Ebene, wo üblicherweise die Typzulassung das Entwicklungsziel ist.

Empfehlung

1. & 2. Für Fahrzeuge, die konzeptionell nicht auf den Betrieb mit einem Fahrer ausgelegt sind, bei denen jedoch eine temporäre Nutzung mit Fahrerarbeitsplatz notwendig ist (Erprobung, temporärer Betrieb usw.), die perspektivisch keinen Fahrerarbeitsplatz haben, sollte ein Umgang mit den technischen Anforderungen rechtlich geregelt werden. Dies könnte analog EBO § 18 Abs. erfolgen. Dort wird in Regel- und Nebenfahrzeuge unterschieden. Nebenfahrzeuge brauchen diesen Vorschriften nur insoweit zu entsprechen, als es für den Sonderzweck, dem sie dienen sollen, erforderlich ist.
3. Eine Harmonisierung der technischen Anforderungen auf EU- und nationaler Ebene ist erforderlich, um die Fahrzeuge entlang einer konsistenten Regulation auszulegen.

3) Kommunikationstechnologien

Ausgangslage

Mobilfunktechnologien spielen eine entscheidende Rolle im Kontext des autonomen Fahrens, da sie eine zuverlässige Kommunikation und Konnektivität zwischen Fahrzeugen, Infrastruktur und anderen Verkehrsteilnehmern ermöglichen. Eine stabile Internetverbindung und eine zuverlässige Mobilfunkkommunikation sind aus mehreren Gründen von entscheidender Bedeutung für das autonome Fahren:

- Notfallkommunikation
- Fahrzeug- und Infrastruktur-Zustandsdaten
- Betrieb mehrerer autonomer Fahrzeuge innerhalb eines Systems
- Software-Updates
- Datensammlung und -analyse

Mobilfunktechnologie: Analysen haben deutlich gemacht, dass eine durchgehende und stabile Mobilfunkabdeckung entlang der Fahrtrouten autonomer Fahrzeuge von entscheidender Bedeutung ist. Unterbrechungen oder Schwachstellen in der Mobilfunkabdeckung können kritische Situationen verursachen und die Sicherheit des autonomen Fahrens gefährden.

Das Projekt RABUS hat durch eine Analyse der Mobilfunkabdeckung wichtige Erkenntnisse über die Netzwerkabdeckung und deren Einfluss auf das autonome Fahren gewonnen. Wichtige Ergebnisse der Mobilfunkabdeckungsanalyse sind:

- Diskrepanzen bei Angaben zur verfügbaren Bandbreite der Netzbetreiber
- Identifizierung von Schwachstellen und Funklöchern
- Schwankende Bandbreite über Tagesverlauf

Empfehlung

Aufgrund der identifizierten Schwachstellen und Funklöcher sind Maßnahmen zur Verbesserung der Mobilfunkabdeckung erforderlich. Dies könnte die Installation zusätzlicher Mobilfunkmasten, die Optimierung der Netzwerkkonfiguration, Redundanzen oder die Nutzung alternativer Technologien umfassen.

4) Nutzererlebnis (UX/UI) / Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmern

Ausgangslage

Durch die Einführung des autonomen Fahrens im öffentlichen Bereich fällt ein wichtiger Bestandteil zur Absicherung des Straßenverkehrs weg: die Kommunikation zwischen Fahrer und anderen Verkehrsteilnehmern, z. B. durch Gesten und Verfolgen von Blicken.

Empfehlung

Diese oft nonverbale Kommunikation muss dementsprechend beim autonomen Fahren durch andere Kommunikationswege ersetzt werden. Zum einen kann dies visuell z. B. durch nach außen gerichtete Displays erfolgen; zum anderen ist auch die Nut-

zung akustischer Kommunikation im Kontext autonomes Fahren im öffentlichen Raum empfehlenswert. Letzteres trägt auch dazu bei, beispielsweise visuell beeinträchtigte Personen besser zu informieren.

Leider sind die Gestaltungsmöglichkeiten für nach außen gerichtete Displays durch gesetzliche Rahmenbedingungen stark eingeschränkt und auch die akustische Kommunikation über Lautsprecher nach außen ist nicht erlaubt.

Die Gesetzgebung muss daher entsprechend angepasst werden, um das autonome Fahren für alle Beteiligten im Straßenverkehr hinreichend sicher zu gestalten. Dies sollte in Abstimmung mit den Herstellern und z. B. der Polizei und Rettungsdiensten sowie Vertreten von Interessengruppen der Verkehrsbeteiligten erfolgen, um verschiedene Perspektiven und Bedürfnisse zu berücksichtigen.

5) Wissenstransfer und Kommunikation

Ausgangslage

Bei der Bestellung und Inbetriebnahme von autonomen Shuttles sind viele verschiedene Teilnehmer in der Verantwortung. Neben dem Hersteller für autonome Transportsysteme übernimmt das kommunale Verkehrsunternehmen den Flottenbetrieb als Halter und integriert die Technische Aufsicht (lt. § 14 AFGBV) als zentrale Funktion in die bestehende Leitstelle, von der aus sämtliche Aktionen, die autonome Transportsysteme betreffen, koordiniert werden. Weitere wichtige Rollen übernehmen die Genehmigungsbehörden, die Aufgabenträger und Kommunen sowie die Infrastrukturbetreiber.

Empfehlung

Für eine zeit- und kostensparende Einführung von autonomem ÖPNV benötigt es eine gute Vernetzung der zuständigen Bezugsgruppen und Behörden sowie einen personellen und inhaltlichen kommunalen Kompetenzaufbau. Besonders hervorzuheben ist die Rolle der Kommunen bei der Straßenzulassung. Die Entwicklung transferierbarer Lösungen für kleinere Kommunen wäre sinnvoll.

Als gutes Beispiel für eine Vernetzung von Zuständigkeiten und Kompetenz könnten die zentralen Stellen für Digitalisierungsangelegenheiten dienen – viele Kommunen haben diese direkt am

Bürgermeisterbüro angesiedelte Koordinierungsstelle eingerichtet. Für den Kompetenzaufbau, der für das autonome Fahren notwendig ist, z. B. bei der Integration der Fahrzeuge in die Infrastruktur, könnte solch eine Schnittstelle zwischen der Verwaltung, Eigenbetrieben und kommunalen Unternehmen, lokalen Akteuren sowie den Bürgern, den Rollout beschleunigen.

6 Erkenntnisse & Perspektiven zur Weiterentwicklung

Das Projekt RABus hat in Phase 1 umfassende Erkenntnisse über die Potenziale und Herausforderungen autonomer Shuttles im öffentlichen Nahverkehr gewonnen. Die Erprobungen in den Real-laboren Friedrichshafen und Mannheim dienten dazu, technische, rechtliche und gesellschaftliche Anforderungen zu identifizieren und Lösungen zu entwickeln, die eine nachhaltige Mobilitätswende fördern.

Eine zentrale Erkenntnis aus Phase 1 ist, dass der erfolgreiche Einsatz autonomer Fahrzeuge weit über technische Machbarkeit hinausgeht. Eine frühzeitige Integration der Anforderungen in die Stadtplanung sowie eine enge Zusammenarbeit mit kommunalen Behörden sind essenziell, um die infrastrukturellen und rechtlichen Voraussetzungen zu schaffen. Dies gilt insbesondere für die Planung von Haltestellen, die Ladeinfrastruktur und die Anpassung von Verkehrsführungen, um einen reibungslosen Betrieb sicherzustellen.

Ein wichtiger Aspekt ist die Akzeptanz in der Bevölkerung. Die Forschung zeigt, dass die meisten Menschen offen gegenüber autonomen Shuttles sind, jedoch weiterhin Informationsbedarf besteht. Sicherheitsbedenken und Fragen zur Barrierefreiheit wurden häufig thematisiert, konnten jedoch durch gezielte Kommunikationsmaßnahmen weitgehend ausgeräumt werden. Barrierefreie Haltestellen und ein sicheres Fahrverhalten spielen dabei eine entscheidende Rolle, um das Vertrauen der Fahrgäste zu gewinnen.

Technologisch wurden in Phase 1 bedeutende Fortschritte erzielt, insbesondere in der Hinderniserkennung und der präzisen Fahrzeuglokalisierung. Hochwertige Sensordaten und eine robuste Datenverarbeitung sind unverzichtbar, um auch in komplexen Verkehrssituationen, wie in urbanen Gebieten mit hohem Verkehrsaufkommen oder bei schwierigen Witterungsbedingungen, eine sichere Navigation zu gewährleisten. Virtuelle Tests und szenariobasierte Validierungen haben sich dabei

als effektive Methoden erwiesen, um die Sicherheit der Systeme zu überprüfen und die notwendige Testtiefe zu erreichen.

Zentrale Learnings aus Phase 1

- **Datenqualität und Relevanz:** Eine klare Definition der Datenqualität und die gezielte Selektion relevanter Sensordaten sind essenziell, um Entwicklungsressourcen effizient zu nutzen. Metadaten ermöglichen zudem eine gezielte Filterung und Analyse der Datensätze.
- **Weiterentwicklung von Tools:** Robuste Tools für die technische Aufsicht sind unverzichtbar, um den Betrieb autonomer Fahrzeuge sicherzustellen, insbesondere bei unvorhersehbaren Verkehrssituationen oder notwendigen Regelverstößen.
- **Optimierung der ODD:** Die Operational Design Domain (ODD) sollte durch infrastrukturelle Maßnahmen erweitert werden, um Herausforderungen wie Sichtverdeckungen oder komplexe Verkehrssituationen zu reduzieren.
- **Vermeidung kritischer Szenarien:** Schwierige Vorfahrtsituationen und unklare Fahrspuren sollten durch eine angepasste Streckenplanung vermieden werden, um die Sicherheit und Zuverlässigkeit des Systems zu gewährleisten.
- **Berücksichtigung von Umweltbedingungen:** Um die Betriebssicherheit unter unterschiedlichen Wetterbedingungen zu gewährleisten, sind umfassende Tests erforderlich, welche die ODD iterativ erweitern.
- **Ringförmige Streckenführung:** Eine ringförmige Route reduziert infrastrukturelle Anpassungen wie Wendekreise und erleichtert die Anbindung an bestehende ÖPNV-Systeme.

- **Breite Fahrbahnen und Vermeidung von Kreuzungen:** Die Auswahl ausreichend breiter Straßen und die Vermeidung von Kreisverkehren oder ungesicherten Kreuzungen verbessern den Verkehrsfluss und die Betriebssicherheit.
- **Sicherstellung freier Flächen:** Entlang der Route sind ausreichend große Freiflächen für notwendige Infrastrukturmaßnahmen wie Haltestellen und Ladeeinrichtungen essenziell.
- **Angepasstes Fahrverhalten:** Automatisierte Fahrzeuge sollten menschliches Fahrverhalten nachahmen, etwa durch Geschwindigkeitsanpassungen in Bereichen mit Verdeckungen oder dynamisches Ausweichen.
- **Lateraler Abstand und Geschwindigkeit:** Eine situative Anpassung des seitlichen Abstands erhöht die Sicherheit, während eine Limitierung der Höchstgeschwindigkeit die Sensoranforderungen reduziert und die Systemstabilität erhöht.
- **Schnellladepunkte:** Eine zuverlässige Ladeinfrastruktur ist entscheidend, um eine hohe Verfügbarkeit der Shuttles sicherzustellen und häufiger getaktete Umläufe zu ermöglichen.
- **Barrierefreie Haltestellen:** Haltestellen müssen barrierefrei gestaltet sein und ausreichend Platz bieten, um den Bedürfnissen aller Fahrgäste gerecht zu werden.
- **Offenheit gegenüber autonomen Shuttles:** Die Bevölkerung zeigt großes Interesse an autonomen Shuttles, wobei gezielte Informations- und Aufklärungsmaßnahmen Unsicherheiten weiter abbauen können.
- **Last-Mile-Angebote für ländliche Regionen:** Der Einsatz autonomer Shuttles wird besonders in schlecht angebundenen Regionen als sinnvoll wahrgenommen, um die Mobilität zu verbessern.

- **Soziale Sicherheit und Barrierefreiheit:** Ängste hinsichtlich der Nutzung autonomer Fahrzeuge, insbesondere in sozialen und sicherheitsbezogenen Kontexten, müssen durch gezielte Maßnahmen und transparente Kommunikation adressiert werden.

Ausblick auf Phase 2

In der zweiten Projektphase wird der Fokus auf der Integration autonomer Shuttles in komplexe Verkehrssysteme und der Validierung der Technologien im erweiterten Maßstab liegen. Dabei sollen die technischen Systeme unter realen Bedingungen weiter optimiert werden, insbesondere in Bezug auf die Fahrsicherheit und die Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern. Auch die Weiterentwicklung der Lade- und Mobilfunkinfrastruktur wird eine zentrale Rolle spielen, um eine hohe Verfügbarkeit der Shuttles zu gewährleisten.

Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf der intensiveren wissenschaftlichen Begleitforschung. Die Akzeptanzforschung wird vertieft, um die spezifischen Bedürfnisse verschiedener Bevölkerungsgruppen noch besser zu verstehen. Gleichzeitig sollen die verkehrlichen Wirkungen des Einsatzes autonomer Shuttles in urbanen und suburbanen Gebieten detaillierter untersucht werden.

Die Erfahrungen aus Phase 1 bieten eine solide Grundlage für die nächste Projektphase und darüber hinaus. Sie leisten einen wichtigen Beitrag zur Etablierung nachhaltiger Mobilitätslösungen, die Baden-Württemberg als Vorreiterregion für autonome und vernetzte Mobilität stärken. Durch die enge Verzahnung von technischer Entwicklung, Infrastrukturplanung und Öffentlichkeitsarbeit kann das Ziel einer effizienten, inklusiven und umweltfreundlichen Verkehrswende erreicht werden.

7 Impressum

Titel des Berichts |
Abschlussbericht RABus (Phase 1)

Herausgeber | Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren Stuttgart (FKFS), Pfaffenwaldring 12, 70569 Stuttgart, Deutschland

Verantwortlich für den Inhalt |
Ulrike Weinrich (FKFS), Magdalena Linnig (SVF), Jonas Kufky (SVF), Katherina Grafl (RAB), Abdurrahman Pekyürek (rnv), Martin Kagerbauer (IfV, KIT), Christian Klinkhardt (IfV, KIT), Kim Marion Kandler (IfV, KIT), Sebastian Wirkert (ZF), Matthias Banholzer (ZF), Christian Kaes (ZF), Enrico Hölbing (ZF), Jonathan Scheu (ZF), Michael Frischmann (ZF)

Layout/Satz | FKFS

Jahr | 2025

DOI | <https://doi.org/10.18419/opus-16324>

Rechtliche Hinweise | Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit ausdrücklicher Genehmigung des Herausgebers. Der Inhalt des Berichts wurde mit größtmöglicher Sorgfalt erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Inhalte können wir jedoch keine Gewähr übernehmen.

Haftungsausschluss | Die Herausgeber übernehmen keine Haftung für Schäden, die durch die Nutzung der im Bericht enthaltenen Informationen entstehen könnten.

8 Projektinformationen

Projekt | Reallabor für den Automatisierten Busbetrieb im ÖPNV in der Stadt und auf dem Land – RABus (Phase 1)

Konsortialpartner | Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren Stuttgart (FKFS); Stadtverkehr Friedrichshafen GmbH (SVF); DB ZugBus Regionalverkehr Alb-Bodensee GmbH (RAB); Rhein-Neckar-Verkehr GmbH (rnv); Institut für Verkehrswesen (IfV) am Karlsruher Institut für Technologie (KIT); ZF Friedrichshafen AG

Förderung | Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg

Geschäftszeichen | VM5-3865-5/4/13

Projektvolumen | 10.782.539 Euro (davon Förderung in der Höhe von 6.999.997 Euro)

Projektlaufzeit | 01.09.2020 - 31.12.2023 (40 Monate)

