




Abschlussbericht AMEISE

 Ein Forschungsprogramm zum
autonomen Fahren in Baden-Württemberg

Gefördert durch



Baden-Württemberg
MINISTERIUM FÜR VERKEHR

 strategiedialog
automobilwirtschaft

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	4
AMEISE – Automatisierter Linienbus in Waiblingen/Ameisenbühl	5
Aufbau und Weiterentwicklung der Straßeninfrastruktur	7
Abschranken des Mischverkehrs im Projektgebiet	7
Unterstützung des gesonderten automatisierten Betriebs.....	9
Sensorische Erfassung am Kreisverkehr zur Maybach Straße	9
Maßnahmen für einen öffentlichen Betrieb.....	12
Weitere Tätigkeiten	13
Betrieb (teil-) autonom fahrender Fahrzeuge.....	14
Datenerfassung, -übertragung, -ablage sowie Diagnostik der Messsignale	18
Fahrzeugdatenerfassung	19
5G Campusnetzwerk und 5G Campus Telematikeinheit	22
Verkehrsökonomische und wirtschaftliche Gesamtbewertung und Nutzerakzeptanzanalyse	25
Linienoptimierung, Transportbedarfsanalyse und simulative Untersuchungen.....	25
Risikoanalyse und identifizieren von Gefahrensituationen.....	26
Nachfrageeffekte und Kosten.....	27
ÖV-Angebotsszenarien unter Verfügbarkeit autonomer Fahrzeuge	27
Effekte auf die Verkehrsnachfrage.....	29
Effekte auf die Kosten des öffentlichen Verkehrs	31
Nutzungsakzeptanz.....	31
Beschäftigungs- u. Berufsperspektiven im automatisierten Fahren	35
Ausgangslage zu Projektbeginn	36
Veränderungen der Tätigkeiten im Überblick.....	40
Ausblick auf die zweite Projektphase	45

Arbeitspaket 6: Projektkoordination und -kommunikation.....	47
Abbildungsverzeichnis	54

Vorwort



Prof. Dr. Ralf Wörner

Projektleitung

Hochschule Esslingen

**Institut für Automobil-
management (IAM)**

„Mobilität ist eine der Grundlagen unseres Wohlstandes.“

Dieses Zitat bildet einen wesentlichen Anspruch unserer Gesellschaft, der jedoch im Zuge einer fortwährenden Zunahme von sowohl Personen- als auch Güterverkehr zu einer immer größeren Herausforderung für die bestehenden Verkehrsinfrastruktur wird.

Es besteht infolgedessen die Notwendigkeit einer erhöhten Leistungsfähigkeit der Verkehrsinfrastruktur, die unter anderem auch durch erhöhtes Angebot an Transportkapazität (z.B. eines breitflächigen ÖPNV) geschaffen werden kann.

Um dieses vergrößerte ÖPNV-Angebot jedoch sowohl ökonomisch als auch operativ realistisch anwendbar zu gestalten, konnte Dank des Verkehrsministerium Baden-Württemberg im Konsortium „AMEISE“ eine Reallabor-Anwendung mittels automatisierter Kleintransportbusse in Waiblingen, Nähe Stuttgart, untersucht werden.

Der nachfolgende Bericht beschreibt Herausforderungen und Chancen, die im Zuge der Untersuchung durch das Konsortium erkannt wurden, und mit Vertretern sowie Nutzern im Raum Waiblingen sowie Landkreis Rems-Murr gemeinsam behandelt wurden.

Wir hoffen, dass die Erkenntnisse des Konsortiums eine Grundlage für weiterführende Projekte bilden werden.



AMEISE – Automatisierter Linienbus in Waiblingen/Ameisenbühl

Mit zunehmendem motorisiertem Individualverkehr (MIV) kämpfen Städte und Kommunen – besonders im innerstädtischen Raum – gegen die verkehrlichen Auswirkungen und die damit verbundenen Auswirkungen auf die Bevölkerung. Zur Entlastung der Städte wird nach neuen Mobilitätslösungen gesucht, die die Herausforderungen der Umweltbelastung, aber auch die physische und psychische Belastung der Bevölkerung zu reduzieren. Das Projekt *AMEISE – Automatisierter Linienbus in Waiblingen/Ameisenbühl* setzte sich deshalb das Ziel, eine Innovationsplattform zu errichten, in welchem die Entwicklung und Erforschung von autonomen, emissionsfrei angetriebenen Fahrzeugen zur Personenbeförderung unter der Integration innovativer Verkehrsinfrastrukturkonzepte und deren Einbindung in den Betriebsablauf des öffentlichen Personennahverkehrs unter Berücksichtigung besonderer Personengruppen und einer Bewertung der Wirtschaftlichkeit automatisierter ÖV-Transporte unter dem Gesichtspunkt der verkehrsökonomischen Bewertung erfolgt. Die Arbeitspakete des Projekts wurden entsprechend auf die Schwerpunkte der Untersuchungen ausgerichtet, in diesen wurden die infrastrukturelle Unterstützung automatisierter Fahrzeuge, der Betrieb autonomer Shuttles, die Erfassung und Übertragung der im Fahrzeug und der Infrastruktur erhaltenen Daten, die Verkehrsökonomie und Wirtschaftlichkeit autonomer Shuttle sowie die Veränderungen des Berufsbilds des Fahrpersonals untersucht.

Dank eines interdisziplinären Projektkonsortiums aus Wissenschaft, Kommunen und Industrie konnten somit alle relevanten Stakeholder berücksichtigt werden. So wurde der Betrieb beispielsweise von der Omnibus-Verkehr Ruoff GmbH (OVR) mit bereits vorhandener Busver-

kehr-Konzession in der Stadt Waiblingen durchgeführt. Der Verband deutscher Verkehrsunternehmen e. V. (VDV) mit deren Bildungseinrichtung VDV-Akademie e. V. sowie die IMU Institut GmbH untersuchten die Veränderungen der Tätigkeiten und Berufsbilder mit dem Fokus auf dem Fahrpersonal und explorativ für einen beispielhaften Busbetriebshof, die aus der Einführung eines automatisierten ÖPNVs folgen. Mit der Stadt Waiblingen unterstützte eine Kommune mit Ihrer Expertise der Realisierung einer autonomen Buslinie. Volkmann Strassen- und Verkehrstechnik GmbH übernahm als Experte im Bereich der Straßenausstattung die Veränderungen der Infrastruktur, Softing Engineering & Solutions GmbH setzten ihre Schwerpunkte auf die Übertragung und Erfassung der Daten aus Fahrzeug und Infrastruktur und dem damit verbundenen Aufbau eines Mobilfunknetzes mittels 5G-Technologie. Die BridgingIT GmbH konzentrierte sich auf die Nutzungsakzeptanz besonderer Personengruppen sowie in der Bevölkerung. Hierbei unterstützte das Kommunikationsbüro Ulmer kommunikativ und übernahm darüber hinaus die Öffentlichkeitsarbeit. Durch die Hochschule Esslingen in Zusammenarbeit mit der Universität Stuttgart erfolgte die wirtschaftlicher sowie verkehrsökonomische Untersuchung.

Für die Untersuchungen wurde das Projekt in zwei Phasen unterteilt. Während sich die zweite Projektphase von Oktober 2021 bis Juni 2023 mit der Umsetzung einer automatisierten Buslinie sowie der dazugehörigen Untersuchungen befassen wird, lag der primäre Fokus in der ersten Phase von Oktober 2020 bis Juni 2022 in der Vorbereitung der Umsetzung. Diese Vorbereitungen wurden nun abgeschlossen, womit der Startschuss für die zweite Projektphase fiel. In dieser gilt es nun die Anforderungen zur Realisierung einer automatisierten Buslinie umzusetzen sowie Ergebnisse aus den weiteren Forschungsschwerpunkten abzuleiten.

Aufbau und Weiterentwicklung der Straßeninfrastruktur

Auf ihrer ca. 2,2 km langen Strecke (Hin- und Rückweg) durch das Gewerbegebiet Ameisenbühl verknüpft die Forschungslinie den Waiblinger Bahnhof mit dem Berufsbildungswerk. Gemeinsam mit der Stadt Waiblingen sowie dem Industriepartner Volkmann Strassen-Verkehrstechnik wurde im Jahr 2021 erfolgreich ein vollumfängliches Zwei-Stufen-Konzept zur Absicherung des automatisierten Betriebs erarbeitet und bis 2022 umgesetzt. Dieses unterscheidet sich in fachlicher Form zwischen dem Abschränken des Mischverkehrs im Projektgebiet und der zusätzlichen Unterstützung des gesonderten automatisierten Betriebs. Weiter wurden infrastrukturelle Maßnahmen für einen öffentlichen Betrieb geplant.

Abschränken des Mischverkehrs im Projektgebiet

Abbildung 1 zeigt das Design eines Verkehrsschilds zur temporären Anzeige eines gesonderten Verkehrs. Als Teil des Konzepts befindet sich ein solches an jeder Straße, die zum Projektgelände führt. Es zeigt einen autonomen Bus sowie den Hinweis der Datenerfassung an.



Abbildung 1: Hinweisschild auf einen autonomen Fahrbetrieb und auf eine Datenerhebung (links) sowie QR-Code mit Verweis auf die Projektwebsite für weitere Informationen (rechts)

Damit ein vollständiger Beförderungsbetrieb abgebildet werden kann, wurde eine temporäre Haltestelle für den Haltepunkt in Bahnhofsnähe eingerichtet (Haltestelle „Ameisenbühl“ (Abbildung 2)). Es handelt sich um eine Lösung aus portablen Modulen mit einfacher Bodenverankerung und PV-versorgter Beleuchtung, die sich zugleich an den Anforderungen zur Barrierefreiheit des örtlichen Verkehrsverbunds orientiert. Als Vorbereitung auf einen möglichen On-Demand-Betrieb ohne feste Haltestellen umfasst die Endhaltestelle am Berufsbildungswerk (BBW) lediglich ein bewegliches Schild und den vorhandenen Bordstein des Gehwegs als Ablage für die ausfahrbare Rampe am Buseinstieg.



Abbildung 2: Beispiel der geänderten Markierung hier: der Überweg vom Bahnhof Waiblingen zur Bushaltestelle, die barrierefreie Bushaltestelle mit Wartehäuschen und Haltestellenschild. Firma Zicla, Vectorial Stecksystem für die Plattform & Firma Kienzler Stadtmobiliar GmbH, K13 Planum als Wartehalle

Auf Basis einer gemeinsamen Streckenbewertung mit Stakeholdern wie dem Fahrzeughersteller, der Verkehrsplanung, der Straßenverkehrsbehörde, der Feuerwehr und der Polizei wurden zudem verschiedene Anpassungen im Streckenverlauf zur Konfliktreduktion bzw. Optimierung des Betriebsablaufs vorgenommen.

Im Bereich der Haltestelle „Ameisenbühl“ wurde die Verkehrsführung an der Einfahrt der anliegenden P+R-Anlage für ein unkompliziertes Wenden der Forschungsfahrzeuge geändert. An

der Haltestelle auf dem BBW-Parkplatz wurde eine Einbahnstraßenregelung eingeführt. Teilweise wurde zudem ein bestehendes Parkverbot in zweiter Reihe durch Markierungen und zusätzliche Beschilderung verdeutlicht. Die notwendige Beschilderung wurde entsprechend temporär mit Standfüßen aufgestellt. Zum Einsatz kamen folgende Standardschilder gemäß StVO & VzKat: VZ 220-10/20, VZ 267, VZ 283-10/20, VZ 1053-30.

Unterstützung des gesonderten automatisierten Betriebs

Errichtung einer mobilen Ampelanlage: Im Sinne einer smarten Infrastruktur wurde ein Prototyp konzipiert, der einerseits den Status einer Lichtsignalanlage (LSA) über den automotive WLAN Standard 802.11p (Abbildung 3) an die Fahrzeuge überträgt, sowie eine erweiterte RADAR basierte Erfassung von vulnerablen Verkehrsteilnehmern ermöglicht, die ein gefährliches Rechtsabbiegeманöver mithilfe eines Signals anzeigt. Fokus hierbei ist die sensorische Erfassung von Fußgängern und Radfahrern mittels RaDAR Technik.

Nach Rücksprache mit der städtischen Verkehrsbehörde beinhaltet die derzeitige lokale Strategie, die Gewerbegebiete lediglich mit minimalen Einschränkungen im Verkehrsablauf zu versehen. Statt der kompletten Signalisierung einer Kreuzung in zentraler Lage des Gewerbegebietes wurde daher die Lichtsignalanlage in der Nähe der Haltestelle „Ameisenbühl“ errichtet.

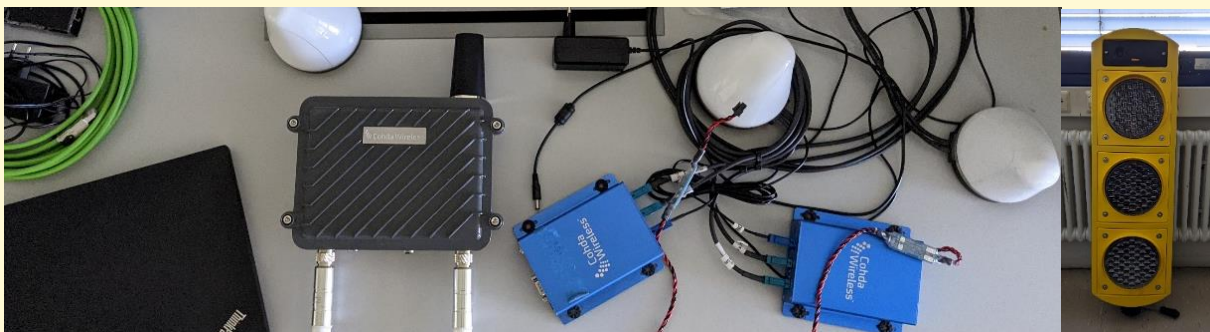


Abbildung 3: Das rechte Bild zeigt den Lichtsignalgeber (LSA), Besonderheit ist eine cloudbasierte Steuerung sowie dem Einsatz hocheffektiven LEDs. Im linken Bild sind Komponenten des so genannten automotive WLAN (IEEE 802.11p), von links nach rechts: ein Laptop eine Road-Site-Unit (RSU), eine On-Board-Unit (OBU) in blau sowie Antennen (weiß).

Sensorische Erfassung am Kreisverkehr zur Maybachstraße

Das sensorische Erfassungskonzept wurde für einen Kreisverkehr mit drei angrenzenden Straßen (Kreisverkehrsarmen) - darunter eine Betriebseinfahrt- mit insgesamt drei Sensoren erstellt. Hierbei steht ein Sensor zentral und ein Sensor an jedem Kreisverkehrsarm zur optimalen Ausleuchtung der Straßensituation in kritischen Manövern. Vorteile sind hierbei die Auflösung von Verdeckung, ein erweitertes maschinelles Sichtfeld sowie eine Validierung von Entscheidungen und Detektionen des AD-Bus. Die drei Prototypen befinden sich derzeit im Aufbau und

stehen vor den finalen Tests. Der Aufbau umfasst eine vollständige Autarkie zu Medien und Energie und ist mobil montiert. Ein Solarpanel erweitert die Laufzeit einer vollständigen Ladung. Die Fa. Volkmann Strassen- und Verkehrstechnik GmbH hat hierzu einen Prototyp zur infrastrukturellen Erfassung (Abbildung 4) entwickelt und beispielhaft zeigen können, wie ein statischer Perzeptionsablauf Fahrzeuge erfassen und verfolgen kann.

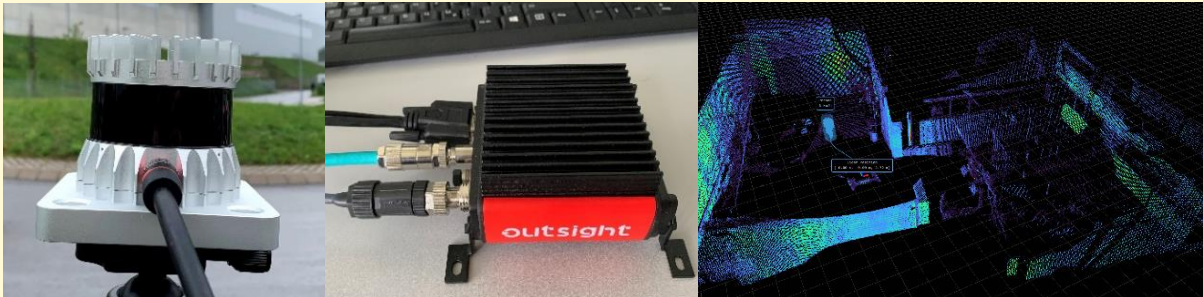


Abbildung 4: Die Bilder zeigen von links nach rechts einen LiDAR Sensor der Firma Ouster (OS1), eine Edge Device Verarbeitung (Perception Stack) der Firma Outsight (ALB) sowie eine Beispielpunktwolke mit erkannten Objekten innerhalb des Labors der Hochschule Esslingen

Hierüber hinaus hat der Projektpartner Volkmann SV ein Prototypenfeld am Hauptsitz der Firma eingerichtet und statische LiDARs auf Ihre Überwachungsfähigkeit im Sinne einer anonymen Datenerfassung untersucht. Gegenstand der Untersuchung war ein LiDAR der Fa. Blickfeld (Cube1), hierzu wurde ein 30 m langer Tunnel entlang der Einfahrt des Firmengeländes aufgebaut (Abbildung 5) und über einen Server betrieben. Anhand eines Perception Stacks konnte nun der Verkehrsraum überwacht werden und eine automatische Szenenbeschreibung erzeugt werden (z. B. Stau oder fließender Verkehr). Hintergrund der Applikation ist die dadurch bestehende Agilität eines Privatgeländes auszunutzen, ohne in die Abhängigkeit und Gefahr durch Vandalismus des öffentlichen Raums in Kauf zu nehmen. Für die zweite Phase des Projektes ist geplant ein Tracking Algorithmus zu entwickeln, der erkannte Objekte wieder neu zuordnen kann unter dem Hintergrund eines Konzepts zur ganzheitlichen Erfassung von Verkehrsdaten (Environment Model).



Abbildung 5: Das Bild zeigt den Aufbau eines LIDAR Tunnels, bestehend aus fünf fusionierten Cube1 Sensoren (Fa. Blickfeld), die eine gemeinsame Perzeption und anonyme Analyse von Verkehrsteilnehmern ermöglichen.

Notwendigkeit eines Environment Models (EM): Während der Arbeiten zur Integration der infrastrukturellen Erfassung stellte sich eine notwendige Anforderung bzgl. der Vernetzung heraus, zu dem als Lösung das sogenannte Environment Model konzipiert wurde und mit in die Planung im Sinne eines Backends im Berufsbildungswerk Waiblingen (BBW) aufgebaut wird. Hierbei handelt es sich um ein teilzentrales Konzept, bei dem verschiedene Access-Server die Umgebungsinformationen ihres Gebiets verwalten und für AV-Fahrzeuge freigeben. Basis der Informationen ist eine geometrische Vermessung (HD-Karte) des Gebiets sowie ein semantisches Abbild der HD-Karte. Das EM kann in dieser Phase des Projekts zunächst nur konzeptionell beschrieben werden es wurde jedoch bereits eine Machbarkeitsstudie durchgeführt und erste Konzeptideen verschriftlicht. Planerische Prioritäten ergaben sich zu dem wie folgt: Konsistenz, Verlässlichkeit, Präzision und Echtzeitfähigkeit. Basis hierfür soll ein direkt angebundener Server am 5G Mobilfunknetz des Areals sein, der über eine Datenbank (Abbildung 6), mit geeigneter Updatestrategie, verkehrsrelevante Daten persistiert und verteilt.



Abbildung 6: Das linke Schaubild zeigt das grobe Aufbaukonzept des EM von der Dateneinspeisung bis hin zum Monitoring und temporären Speicherung anonymer Daten. Das rechte Foto zeigt den geplanten Server mit Festplattenanbindung im BBW-Serverraum

Neben abschränkenden Schildern konnten neue für Maschinen optimierte Verkehrsschilder entwickelt werden. Das Schild umfasst eine kodierte Form (ähnl. QR-Code), die Vorteile der Lesbarkeit (z. B. Fehlerkorrekturmechanismen) oder der Informationssicherheit umfassen (z. B. Signatur oder Prüfsumme). Die Nachricht des Codes beinhaltet eine ID sowie einen Code für die Bedeutung des Schildes. Anhand der ID können weitere Informationen abgerufen werden wie z. B. Position des Schildes, Warnungen von Einsatzfahrzeugen oder Trajektorienempfehlungen. Dies führt zu neuen Anwendungsfällen wie z. B. einer Lokalisierung ohne SLAM oder GPS, Routenoptimierung oder der passiven Verkehrserfassung in Echtzeit (auf Basis der Anfragen). Das Schild wurde für verschiedene Integrationsstufen entwickelt und kann beispielsweise als zusätzlicher Ring auf Bestandschilder gesetzt werden.

Als weiteres industrialisierbares Konzept wurden intelligente Warnbaken (siehe Abbildung 7) beschafft, die es ermöglichen eine Baustelle dynamisch abzuschränken. Die Baken haben ein

GPS Modul sowie einen Lagesensor eingebaut, die einerseits ihre Position teilen können und andererseits ihren Gesundheitszustand (z. B. umgefallen oder stehend) bewerten können. Zum einen soll hier eine Monitoring Option für Baustellen geschaffen werden. Zum anderen soll ein dynamisches Anpassen der befahrbaren Bereiche innerhalb einer digitalen Karte geschaffen werden. Erste Untersuchungen haben eine hohe Präzision und Adaptivität gezeigt, eine Notwendigkeit für ein D-GPS System zeichnet sich jedoch bereits ab. Die Hochschule Esslingen wurde am Standort der Flandernstraße auf die Umsetzung einer dedizierten D-GPS Antenne bereits untersucht, eine Sendestation befindet sich als Konzept für die Phase II in Planung – sofern sich dies als projektförderlich herausstellt.



Abbildung 7: Intelligente Barke ohne Aufsteller der Firma CM1

Maßnahmen für einen öffentlichen Betrieb

Es wurde eine Bushaltestelle inkl. Haltestellenhäuschen entworfen und beschafft. Es handelt sich hierbei um eine vollständig mobile bzw. temporäre Lösung, die die Vorgaben der örtlichen Verkehrsbetriebe erfüllt (z. B. Inklusion). Die Aufstellung findet ausschließlich im Süden des Areals als Anbindung an die S-Bahn statt. Die nördliche Haltestelle besteht aufgrund von Platzgründen nur aus einem Schild. Zudem soll die nördliche Haltestelle mit einer Einbahnstraße versehen werden, um sämtliche Gefahrensituationen zu minimieren. Es wurde zudem ein Expansionsplan erarbeitet, bei dem weitere oder alternative Bushaltestellen auf dem Areal errichtet werden könnten.

In derzeitiger Prüfung befindet sich eine Strategie zur Speicherung von Daten, gemeinsam mit der Datenschutz Süd GmbH, die nach derzeitigem Stand keine Bedenken bzgl. der Speicherung von Daten haben, da hier explizit auf die Anonymität der Daten bereits beim Design geachtet

wurde (z. B. der Einsatz von LiDAR Sensoren). Lediglich das erzeugte Videomaterial des L0-Busses unterliegt derzeit einer weiteren Prüfung (siehe Datenerfassung, -übertragung, -ablage sowie Diagnostik der Messsignale). Falls ggf. in der Zukunft weitere Daten gespeichert werden sollen, die über das EM hinausgehen, so kann das Serverdatenmodell adaptiert werden und sich erneut einer Prüfung unterziehen.

Weitere Tätigkeiten

- Verwaltungsinterne Projektkoordination zwischen dem Fachbereich Stadtplanung, dem Fachbereich Städtische Infrastruktur, dem Fachbereich Bürgerdienste/Abteilung Ordnungswesen und den Stadtwerken Waiblingen
- Anfertigung von Ausführungsplänen für die Positionierung der baulichen Elemente der Bushaltestelle sowie für Beschilderungs- und Markierungsarbeiten
- Prüfung verschiedener Angebote zu Herstellern von Buswarteallen, Abstimmungen mit Herstellern, Ausarbeitung der Vorgaben
- Beauftragung, Einweisung bei Lieferung und Abnahme der Buswartealle
- Prüfung verschiedener Angebote zu Herstellern von mobilen Buskaps, Abstimmungen mit Herstellern, Ausarbeitung der Vorgaben
- Beauftragung, Einweisung bei Lieferung und Abnahme des mobilen Buskaps
- Termin mit dem Regierungspräsidium Stuttgart zum Zulassungsprozess von Fahrzeug und Strecke, inklusive Vor- und Nachbereitung
- Abstimmungen mit dem Fahrzeughersteller EasyMile zu den fahrzeugseitig notwendigen Anpassungen der Verkehrsinfrastruktur entlang der Fahrstrecke inklusive einer gemeinsamen Begehung und mehreren Telefonaten und Terminen
- Erarbeitung von Lösungen zur Verkehrsraumgestaltung in Abstimmung mit der Straßenverkehrsbehörde der Stadt Waiblingen
- Anfertigung von Markierungs- und Beschilderungsplänen zur Anpassung der Verkehrsführung und dem Straßenraum auf der Fahrstrecke der Buslinie
- Absperrung der Streckenabschnitte in Vorbereitung zur Ausführung durch den Projektpartner VSV
- Vertragsverhandlungen mit dem Grundstückseigentümer, auf dessen Fläche ein Teil der Forschungslinie sowie die neu eingerichtete Bushaltestelle „Ameisenbühl“ verortet sind zur Vermietung der Flächen für die Bushaltestelle

Betrieb (teil-) autonom fahrender Fahrzeuge

Das Teilprojekt 2 „Betrieb“ wurde im Projekt AMEISE mit der Beschaffung und dem Betrieb der Fahrzeuge betraut. In der hier vorgestellten Phase I konzentrierten sich die Arbeiten auf die Fahrzeugbeschaffung. Im ersten Halbjahr 2021 stand die Entwicklung einer Fahrzeugbeschaffungsstrategie im Fokus der Aktivitäten. Hier sei darauf hingewiesen, dass zu diesem Zeitpunkt aufgrund der Covid 19-Pandemie, Chipmangel und zu erwartenden neuen Gesetzgebung, die Beschaffung unter einiger Unsicherheit zu planen war. Nach Abwägung der verschiedenen Argumente (siehe Abbildung 8) entschied das Konsortium, die beiden geplanten Fahrzeuge getrennt voneinander in die Ausschreibung zu geben. Ein Fahrzeug sollte zu späteren Vergleichszwecken menschlich steuerbar bleiben und mit spezieller Forschungssensorik zur Umgebungserfassung ausgestattet werden, während das andere Fahrzeug direkt zu Beginn hochautomatisiert fahren sollte.



Abbildung 8: Auswirkungen auf die Fahrzeugbeschaffung bei unterschiedlichen Ausschreibungsstrategien

Bei der Erarbeitung der kommerziellen und technischen Lastenhefte für die Fahrzeuge konnte über den Projektpartner VDV, insbesondere für das hochautomatisierte Fahrzeug, auf die Erfahrungswerte anderer Projekte in Deutschland zurückgegriffen werden.

Da die Hochschule Esslingen Eigentümer der Fahrzeuge werden sollte, war eine Ausschreibung nach den Standards des öffentlichen Sektors erforderlich.

Es meldeten sich 5 Interessenten auf die Ausschreibung für das menschlich gesteuerte Fahrzeug, jedoch wurde nur ein Angebot abgegeben. Dieses konnte aufgrund von Nicht-Erfüllung der Muss-Kriterien (kein redundantes Bordnetz zum sicheren Betrieb der Forschungssensorik) nicht berücksichtigt werden. Infolgedessen wurde die Ausschreibung aufgehoben. Um den Erfolg des Projekts nicht zu gefährden, bemühte sich die Hochschule Esslingen um eine Alternative, die in Form eines kostenlos zur Verfügung gestellten hybriden Kleinbusses aus dem Hochschulprojekt Bürgerbus Schorndorf gefunden werden konnte. Dieser wurde nachfolgend von Studenten und wissenschaftlichen Mitarbeitenden mit dem redundanten Bordnetz und den Sensoren, die im Rahmen der Arbeitspakete 2 und 3 beschafft wurden, nachgerüstet (siehe Abbildung 9).



Abbildung 9: Umbau des ehemaligen Bürgerbuses mit zusätzlicher Sensorik

In einem zweiten Schritt wurden im Sommer 2021 die Ausschreibungsunterlagen für das automatisiert fahrende Fahrzeug fertiggestellt. Bei dieser Ausschreibung handelte es sich um ein Verhandlungsverfahren mit vorgeschaltetem Teilnahmewettbewerb. Die Veröffentlichung konnte im September 2021 erfolgen, im anschließenden Verhandlungsverfahren gaben 3 Anbieter ihre Angebote ab. Der Zuschlag ging letztendlich an die Firma EasyMile im Dezember 2021. Da es sich hierbei um ein Gebrauchtfahrzeug der neusten Generation handelte, konnten

die Kosten ggü. dem anvisierten Beschaffungswert und die Lieferzeit erheblich reduziert werden.



Abbildung 10: Hochautomatisiertes Easymile-Fahrzeug mit AMEISE-Folierung

Ein großes Arbeitspaket neben der Fahrzeugbeschaffung stellte in Phase I die vorgesehene Direktvergabe an den Projektpartner Omnibus-Verkehr Ruoff GmbH und anschließende Beantragung einer gemeinwirtschaftlich betriebenen Linienkonzession dar. Hier arbeitete das Team im AP 2 eng mit dem Aufgabenträger, dem Rems-Murr-Kreis zusammen. Das Verfahren zur Direktvergabe an ein privates und zudem eigenwirtschaftlich agierendes Verkehrsunternehmen unter Beachtung des Vergaberechts stellte sich als viel komplexer dar als ursprünglich zu Projektbeginn eingeschätzt, so dass die Hinzuziehung einer Kanzlei zur Unterstützung erforderlich wurde. Den Zuschlag erhielt die Firma BBG und Partner.

Das Rechtsgutachten bestätigte die vorangegangenen Diskussionen. Keines der entwickelten Szenarien konnte ohne das Risiko einer Nachprüfung umgesetzt werden. Bei dieser Erkenntnis handelt es sich nicht um ein projektspezifisches Problem, sondern vielmehr um ein strukturelles Problem im Vergaberecht, dass privaten Anbietern im ÖPNV die Möglichkeit erschwert, gemeinwirtschaftlich finanzierte Innovationsprojekte umzusetzen.

Nach sorgfältiger Abwägung der Möglichkeiten und in Rücksprache mit dem Fördermittelgeber entschied sich das Konsortium deshalb, das Projektziel „Direktvergabe und Linienkonzession“ zugunsten eines Forschungsbetriebs zu verwerfen. Auf diese Weise konnte zumindest eingeschränkt ein Betrieb ermöglicht werden.

Datenerfassung, -übertragung, -ablage sowie Diagnostik der Messsignale

Das Arbeitspaket 3 im Projekt AMEISE hatte die höchste technische Komplexität im Rahmen des Forschungsprojektes.

Im Wesentlichen ging es um

1. **Erfassung von Fahrzeug und Umgebungsdaten:** Mithilfe einer komplexen Messtechnik und entsprechenden Sensoren wie LiDAR- und Radar-Sensoren sowie Kameras wurden die Fahrzeug- und Umgebungsdaten ermittelt.
2. **Bündelung der Datenströme und Übertragung in cloudbasierte HOST-Systematik:** Die Datenströme im Fahrzeug mussten für eine Übertragung entsprechend aufbereitet und anschließend in eine Cloud übertragen. Die 5G-Technologie war hierbei eine entscheidende Anforderung, weshalb für das Projekt ein lokales 5G-Campusnetzwerk geplant, projektiert und umgesetzt wurde. Die entsprechende Lösungsübersicht ist in Abbildung 11 dargestellt.
3. **Analyse und Auswertung der Daten:** Die im Rahmen des Projektes von der Hochschule Esslingen erfassten Daten galt es auszuwerten, um die Anforderungen an die für das Fahrzeug relevanten Daten in Bezug auf das autonome Fahren zu analysieren.

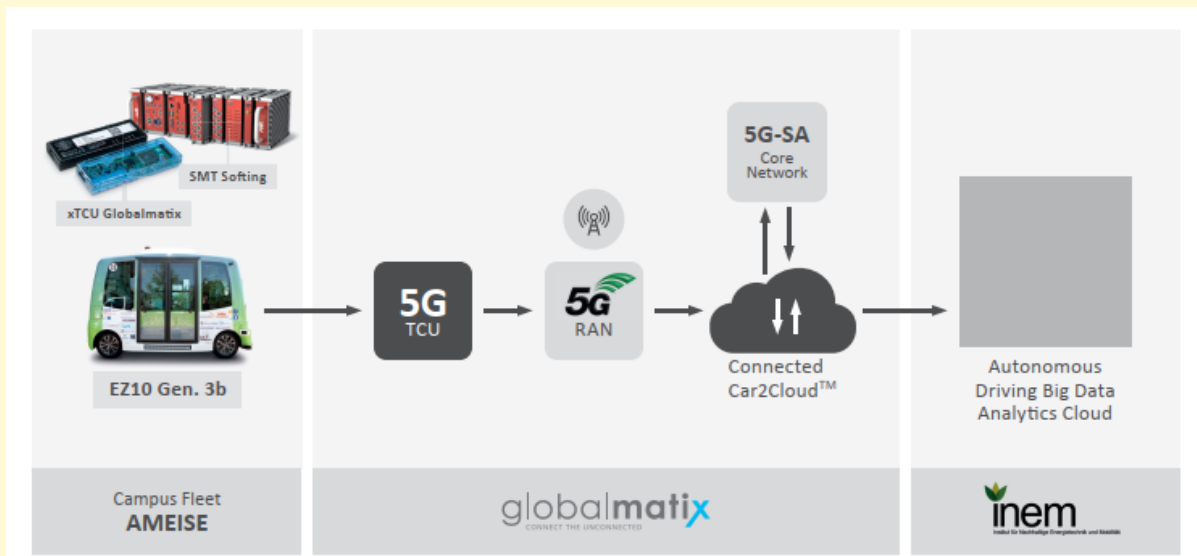


Abbildung 11: 5G E2E-Lösungsübersicht

Fahrzeugdatenerfassung

In Abstimmung mit den jeweiligen Fakultäten wurde ein Messtechnikkonzept (siehe Abbildung 12) entwickelt. Dabei wurde relativ schnell festgestellt, dass die zu erwartende Datenmenge mit den bisherigen öffentlichen Kommunikationstechnologien nicht übertragbar waren. Der Beschluss, dass ein lokales 5G-Campusnetzwerk benötigt wird, wurde dabei untermauert.

Als zentrale Einheit wurde die SMT „Softing Messtechnik“ konzipiert. Mit dieser universellen und hoch komplexen Messsystematik können nahezu sämtliche Fahrzeugdaten erfasst werden. Dabei muss jedoch unterschieden werden, um welche „Gattung“ von Daten es sich handelt. Zum einen gibt es für die physikalischen Größen entsprechende SMT-Module, über die Temperaturen, Beschleunigungen, usw. erfasst werden können. In diesem Zusammenhang ist es jedoch sehr wichtig, dass geeignete Sensoren korrekt appliziert im Fahrzeug angebracht werden.

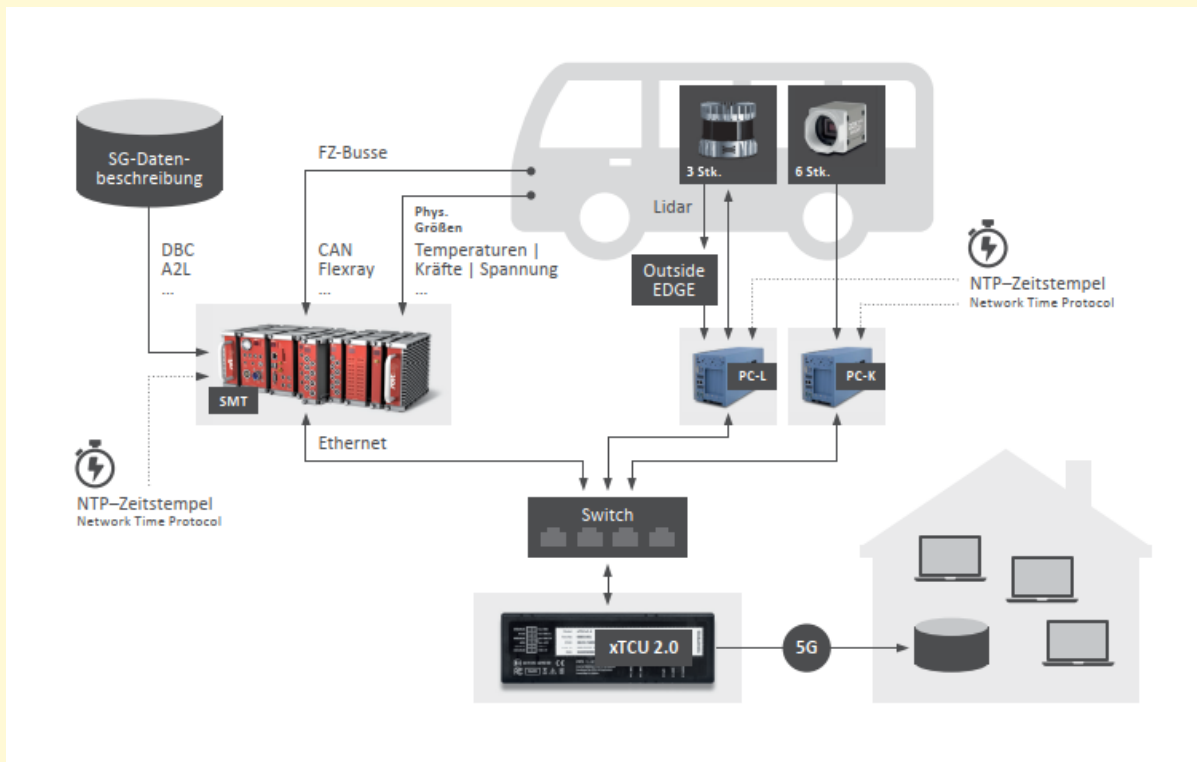


Abbildung 12: Messtechnikkonzept des Forschungsfahrzeugs

Über weitere SMT-Module, welche die gängigen Fahrzeug-Diagnose-Bussysteme erfassen können und auch entsprechende Kommandos zu den Steuergeräten absetzen können, sollten spezifische Fahrzeuggrößen erfasst werden. Einige dieser Daten sind quasi öffentlich und können über die Onboard Diagnose-Schnittstelle (OBD-Schnittstelle) abgegriffen werden. In diesem Fall war jedoch klar, dass das Projekt direkt auf die CAN-Bussysteme gehen mussten, was ein größeres Problem darstellte. Für die enorme Datenmenge gibt es standardisierte Beschreibungsformate wie DBC oder A2L. Diese sind jedoch in der Regel vertraulich und werden von den Fahrzeugherstellern nicht weitergegeben. Weiter erschwerend kam dazu, dass nicht wie geplant in Kooperation mit einem L4-Fahrzeughersteller das Thema umgesetzt werden sollte, sondern auf Basis eines fast 10 Jahre alten Mercedes-Benz Sprinter Transporter. Dank der Kompetenz und der verfügbaren Tools bei Softing Engineering & Solution GmbH konnten trotzdem die relevanten Daten von einem Reengineering-Team ermittelt werden. Folgende Daten standen somit für die Betrachtung und Auswertung zur Verfügung:

- Gierrate
- Querbeschleunigung
- alle 4 Raddrehzahlen
- Bremslichtschalter

- Lenkwinkel

Im nächsten Schritt wurde die Erfassung der LIDAR- und Kameradaten detaillierter betrachtet. Dabei wurde entschieden, dass für beide Systematiken Hochleistungsrechner benötigt werden. Im Messtechnikkonzept werden dieses als PC-L (Lidar) und PC-K (Kamera) dargestellt.

Das Herzstück für die Kommunikation stellt eine neue Entwicklungsstufe der Telematikkomponente xTCU der Schwesterfirma Globalmatix AG dar. Im Rahmen des Projektes wurde die Übertragung via 5G designed, entwickelt und implementiert.

Nun folgte eine weitere Herausforderung, welche zu Beginn des Projektes unterschätzt wurde. Diese Vielzahl von elektronischen Komponenten mussten in einem Straßenfahrzeug fahrzeugauglich verbaut werden. In diesem Zusammenhang kommen sehr viele Faktoren zum Tragen. Vibrationen, Stöße und Temperaturunterschiede sind nur wenige von den zu beachtenden Störgrößen. Des Weiteren musste die Systematik sichtbar, jedoch vor Vandalismus geschützt sicher im Fahrzeug verbaut werden. Zu guter Letzt dann noch die Tatsache, dass elektronische Komponenten mit Strom versorgt werden müssen. In diesem Zusammenhang durfte jedoch die fahrzeugeigene Versorgung nicht beeinträchtigt werden.

Aufgrund der Jahrzehnte langen Erfahrung wurde auch für diese Aufgaben die Firma Softing Engineering & Solutions GmbH beansprucht. In enger Abstimmung mit der Hochschule Esslingen entstand dann ein „Fahrzeug-Tower“, bei dem sämtlichen Anforderungen hervorragend umgesetzt werden konnten (siehe Abbildung 13).



Abbildung 13: Entstehung des Messtechnik-Towers

5G Campusnetzwerk und 5G Campus Telematikeinheit

Das lokale 5G Campusnetzwerk musste auf grüner Wiese konzipiert und projektiert werden. Die Experten der Globalmatix konnten in diesem Zusammenhang auf sehr viel Erfahrung und Kompetenz zurückgreifen. Für ein solches Projekt werden jedoch mehrere Zulieferer und Partner benötigt, was sich dann schon bald als großes Problem herausstellte.

Mit der 5G Firma Druid Software (Irland) wurde die Serverlandschaft mit einem gehostetem Kernsystem über die Amazon-Cloud designed und umgesetzt. Für das Funknetzwerk musste während der Projektierung ein Lieferantenwechsel durchgeführt werden. Ursache hierfür waren Lieferengpässe, welche der zuerst ausgewählte Lieferant nicht beseitigen konnte. Mit der Firma SunWave (China) konnte dann die Kleinzellen-Funkstandorte in Waiblingen vor Ort umgesetzt werden. Um einen performanten Datentransfer zwischen Funkstandorten und Kernsystem zu erreichen, musste eine spezielle Konfiguration vorgenommen werden, um die Datenaufteilung in Waiblingen auf der Funkstandortebene zu ermöglichen. Weitere Themen waren die Implementierung einer lokalen Zwischenspeicherung und eine Optimierung der Glasfaserverbindungen über eine sogenannte "daisy chain"-Lösung.

Während all dieser Tätigkeiten wurden Preisverhandlungen und Lizenzierungsgespräche für das eigentliche 5G Kernnetz geführt. Die dabei identifizierten Terminverschiebungen und höhere Kosten mussten bei der weiteren Projektierung berücksichtigt werden. Nach mehreren Wechsel der Funkstandorte und Verhandlungen mit den lokalen Eigentümern wurden die Antennen auf diversen Dächern installiert. Hierbei entstanden aufgrund der Beschaffung der benötigten Komponenten sowie der verspäteten Installation der Antennen durch einen Fachbetrieb terminliche und qualitative Schwierigkeiten. Parallel zur Installation der Antennen wurden die Funkfrequenzen mit der Bundesnetzagentur lizenziert.

Am Ende konnten dann all diese Probleme umgangen, bzw. beherrscht werden und die ersten Inbetriebnahmen durchgeführt werden.



Abbildung 14: Entwicklung und Aufbau eines nicht-öffentlichen Kleinzellen-Netzwerk (5G / WiFi 6) in 2 Stufen

Bei der Entwicklung der 5G-Telematikkomponente (vgl. Abbildung 15) wurde dann die aktuelle weltpolitische Lage zum großen Problem. Die notwendigen Chips für diese Neuentwicklung waren sehr speziell und auf dem Weltmarkt aktuell nicht im notwendigen Zeitrahmen zu beschaffen. Daher wurde beschlossen, dass auf Basis eines „Raspberry PI 4“ die vorgesehene Funktionalität umgesetzt wird, was dann auch erfolgreich abgeschlossen werden konnte.

- Auf Grundlage des bestehenden 4G/LTE Telematik Gateways wurde ein Konzept u.a. für die Anforderungen von 5G und WiFi 6 erstellt
- Entwicklung Prototyp auf Raspberry PI Hardwareplattform
- Entwicklung der Firmware



Abbildung 15: Entwicklung 5G xTCU Telematik Gateway

Verkehrsökonomische und wirtschaftliche Gesamtbewertung und Nutzungsakzeptanzanalyse

Durch verschiedene Simulationen und Berechnungen, Befragungen sowie Literaturrecherche werden in diesem Arbeitspaket Aussagen zur Verkehrsökonomie, Wirtschaftlichkeit und Nutzungsakzeptanz getroffen. Grundlage der Simulationen und Berechnungen sind Szenarien und Annahmen. Diese sind notwendig, um die diversen Möglichkeiten der Zukunft einzugrenzen.

Linienoptimierung, Transportbedarfsanalyse und simulative Untersuchungen

Im Rahmen der Erarbeitung einer (für den hochautomatisierten Fahrbetrieb) optimalen Streckenführung am Ameisenbühl Waiblingen wurde der Verlauf der Linienführung iterativ untersucht, angepasst und neu definiert. Durch die Tatsache bedingt, dass es sich bei dem Areal um ein Industriegebiet handelt, lassen sich charakteristische infrastrukturelle Bedingungen entlang der Strecke finden, welche den hochautomatisierten Betrieb des L4-Busses erschweren und demnach näher betrachtet werden mussten (z. B. Ein- und Ausfahrten von Firmengeländen, in zweiter Reihe parkende Personen- und Lastkraftwagen und/oder fehlende Fahrbahnmarkierungen entlang der Route). So sind insbesondere zwei Streckenabschnitte in den Fokus der Untersuchungen gerückt, da diese besondere Herausforderungen darstellen. Es handelt sich hierbei um den Pferdehof nahe des Waiblinger Bahnhofs und die Kreuzung ohne Ampelschaltung in der Max-Eyth-Straße.

Anhand der Analyse der beschriebenen Problemstellungen konnten mögliche Lösungsansätze in Form von infrastrukturellen Maßnahmen abgeleitet werden (z. B. die Anpassung bereits herrschender Vorfahrtsregelungen, das Anbringen zusätzlicher Verkehrszeichen oder das Auffrischen/Neuanbringen von Fahrbahnmarkierungen). Auf der Höhe des Pferdehofs reichen jedoch selbst starke infrastrukturelle Maßnahmen nicht aus, um eine problemlose Durchfahrt der Busse zu ermöglichen. Durch die Anwendung mikroskopischer Verkehrssimulationen, welche in der

Simulationssoftware SUMO DLR durchgeführt wurden, konnten entsprechend alternative Streckenführungen im Areal näher und unter zwei Geschwindigkeitsszenarien (12 km/h und 20 km/h) untersucht werden. Die simulativen Untersuchungen einer geeigneten Anpassung der Linienführung, wurden anhand einer durchgeführten Transportbedarfsanalyse der Mitarbeitenden der im Areal ansässigen Unternehmen ergänzt.

Durch die Ergebnisse der Verkehrsflusssimulationen, der Transportbedarfsanalyse sowie einer Risikoanalyse konnte die Linienführung, wie in Abbildung 16 dargestellt, optimiert und angepasst werden, sodass der problematische Streckenabschnitt umfahren werden kann.



Abbildung 16: Anpassung der Linienführung

Risikoanalyse und identifizieren von Gefahrensituationen

Um die Gefahrensituationen entlang der Linienführung aufdecken und deren Ursachen besser verstehen zu können, wurde eine Risikoanalyse für die Streckenführung der Linie durchgeführt. Hierbei konnten kritische Gefahrenstellen identifiziert und notwendige infrastrukturelle Maßnahmen abgeleitet werden. Das Geschwindigkeitsszenario, welches der Risikoanalyse zugrunde gelegt wurde, beläuft sich auf 20 km/h.

Im Rahmen der Analyse wurden 13 von 53.568 Situationen als sogenannte Worst-Case-Szenarien kategorisiert. Ein Worst-Case-Szenario zeichnet sich dadurch aus, dass die *Time to Collision*, sprich die Zeit bis zum Aufprall zweier oder mehrerer Verkehrsteilnehmenden, in diesen Situationen geringer ausfällt als die benötigte Zeit einer Gefahrenbremsung.

Die Gefahrenstellen befinden sich auf der Höhe des Berufsbildungswerks in Waiblingen (aufgrund des hohen Aufkommens von Passantinnen und Passanten), an den Kreuzungen entlang der Strecke, welche keine Ampelschaltung vorweisen sowie vereinzelt auch an unübersichtlichen Einfahrten/Mündungen. Die 13 Situationen sind als kritisch einzustufen und machen infrastrukturelle Maßnahmen (z. B. zusätzliche Verkehrszeichen oder Erneuerung der Fahrbahnen) erforderlich.

Nachfrageeffekte und Kosten

ÖV-Angebotsszenarien unter Verfügbarkeit autonomer Fahrzeuge

Im Rahmen des Projektes wurden Szenarien des zukünftigen Einsatzes autonomer Fahrzeuge im öffentlichen Verkehr bewertet, die über den derzeitig verbreiteten Einsatz in Pilotprojekten hinausgehen. Da die technologische Entwicklung und deren Fortschrittsgeschwindigkeit im Bereich des autonomen Fahrens mit hohen Unsicherheiten behaftet sind, werden zwei Technologieszenarien betrachtet, die jeweils einen bestimmten technischen Entwicklungsstand widerspiegeln, jedoch bewusst nicht quantitativ mit Jahreszahlen hinterlegt sind:

- **Übergangsphase:** Im Technologieszenario *Übergangsphase* ist das autonome Fahren bereits höher entwickelt, jedoch müssen die Anforderungen der AFGBV noch vollständig umgesetzt werden. Technologisch kann innerorts eine Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h und außerorts eine Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h erreicht werden.
- **Ausgereift:** Das Technologieszenario *Ausgereift* stellt eine Zukunft dar, in der deutlich geringere Anforderungen an die Überwachung autonomer Fahrzeuge gestellt werden, als es die AFGBV vorsieht. Autonomes Fahren ist vollständig entwickelt, die Fahrzeuge können alle gesetzlich vorgeschriebenen zulässigen Höchstgeschwindigkeiten mit sehr hoher Zuverlässigkeit ohne Begleitpersonal bewältigen.

Die Technologieszenarien werden jeweils einem Analysefall gegenübergestellt, in dem alle Fahrzeuge konventionell mit Fahrpersonal betrieben werden. Um Verzerrungen durch den Einfluss der Antriebstechnologie in der Kostenrechnung zu vermeiden, wird sowohl in allen Szenarien als auch im Analysefall ein vollständig batterieelektrischer Fahrbetrieb angenommen.

Die beschriebenen Technologieszenarien werden mit verschiedenen Angebotsszenarien kombiniert. Um wiederum die Vergleichbarkeit sicherzustellen, gelten für alle Szenarien einheitliche Prämissen. Es wird grundsätzlich der Verkehr im Raum Waiblingen betrachtet. Für den öffentlichen Verkehr wird im Ausgangszustand das derzeit in der Region Stuttgart erwartbare Angebot für das Jahr 2030 angenommen. Weiterhin werden preispolitische Maßnahmen unterstellt, die zur Erreichung des Ziels des Landes Baden-Württemberg führen würden, die Nachfrage im öffentlichen Verkehr gegenüber dem Jahr 2004 zu verdoppeln. Auch wird angenommen, dass einer Steigerung der Attraktivität des privaten Pkw, die bei einer Verfügbarkeit autonomer Fahrzeuge zu erwarten ist, ebenfalls durch preispolitische Maßnahmen begegnet wird, durch die diese kompensiert wird. Zuletzt wird bei allen Angebotsszenarien davon ausgegangen, dass eine vollständige Integration in die bestehende Tarifstruktur erfolgt. Aufbauend auf dem Gedanken, dass durch autonomes Fahren das Angebot des öffentlichen Verkehrs ausgeweitet werden kann, wurden folgende Angebotsszenarien entwickelt:

- **Stadtbuslinie:** Betrieb einer bisher mit geringem Takt verkehrenden Stadtbuslinie im 10-min-Takt.
- **Überlandlinie:** Betrieb einer bisher mit in hohem Takt verkehrenden Überlandlinie im 10-min-Takt.
- **Linienverkehr Waiblingen:** Alle Buslinien, die das Stadtgebiet von Waiblingen befahren, werden in einen 10-min-Takt überführt.
- **On Demand Bittenfeld:** Der Stadtteil Bittenfeld wird durch On Demand-Verkehr erschlossen.
- **On Demand Waiblingen:** Im gesamten Stadtgebiet Waiblingen werden On Demand-Verkehre angeboten, die für direkte Fahrten oder als Zubringer zu den S-Bahnhöfen in Waiblingen genutzt werden können.

Ergebnisse der Angebotsszenarien *Linienverkehr Waiblingen* und *On Demand Waiblingen* für die technologische *Übergangsphase* werden im folgenden nicht berücksichtigt, da diese sowohl

technologisch als auch wirtschaftlich als unplausibel angesehen wurden. Die betrachteten Szenarien sind in Abbildung 17 zusammengefasst.

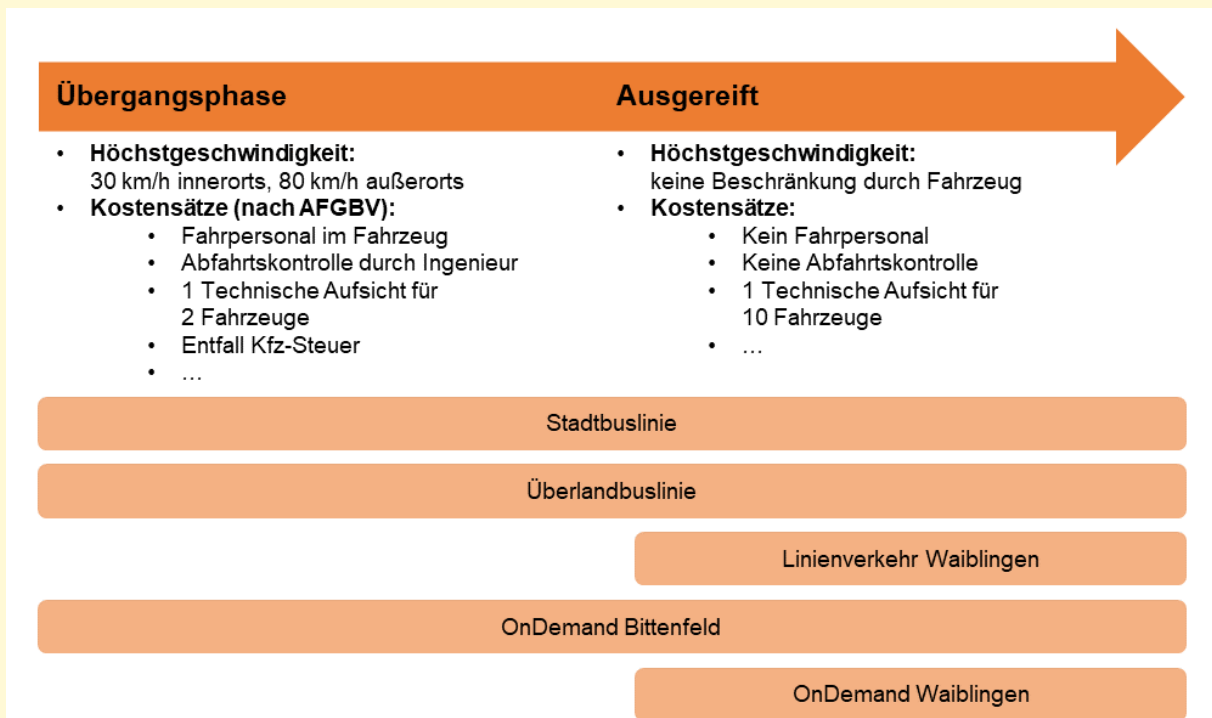


Abbildung 17: Kombination aus Technologie- und Angebotsszenarien

Effekte auf die Verkehrsnachfrage

Eine mit dem autonomen Fahren verbundene Hoffnung besteht darin, dass es möglich sein wird, einen attraktiveren öffentlichen Verkehr bei gleichen oder niedrigeren Kosten anzubieten. Da langfristig die Kosten für das Fahrpersonal entfallen werden, sinken die Kosten pro Einsatzkilometer. Damit können dichtere Takte oder On Demand-Verkehre realisiert werden, wobei unter Umständen kleinere Gefäßgrößen zum Einsatz kommen. Solche Angebotsverbesserungen sind durch die oben beschriebenen Angebotsszenarien abgebildet.

Die Wirkungen solcher Veränderungen im ÖV-Angebot wurden mit dem Verkehrsmodell des Verbands Region Stuttgart untersucht. In dem makroskopischen Verkehrsnachfragemodell ist das ÖV-Angebot fahrplanfein hinterlegt und es bestehen Modellerweiterungen, um die Wechselwirkungen zwischen betrieblichen und nachfrageseitigen Wirkungen von On Demand-Ver-

kehren abzubilden. Um das Modell für die Untersuchung einsetzen zu können, wurden im Untersuchungsraum Waiblingen die Verkehrszellen des Modells in 200x200 m-Raster unterteilt. Die nachfragerlevanten Strukturgrößen (Einwohner, Arbeitsplätze, Schulplätze etc.) wurden mit Hilfe unterschiedlicher Umlegungsschlüssel und zusätzlichen Informationen der Stadt Waiblingen auf die neuen verfeinerten Zellen verteilt. In Abbildung 18 ist beispielhaft die Aufteilung der Bevölkerung dargestellt.

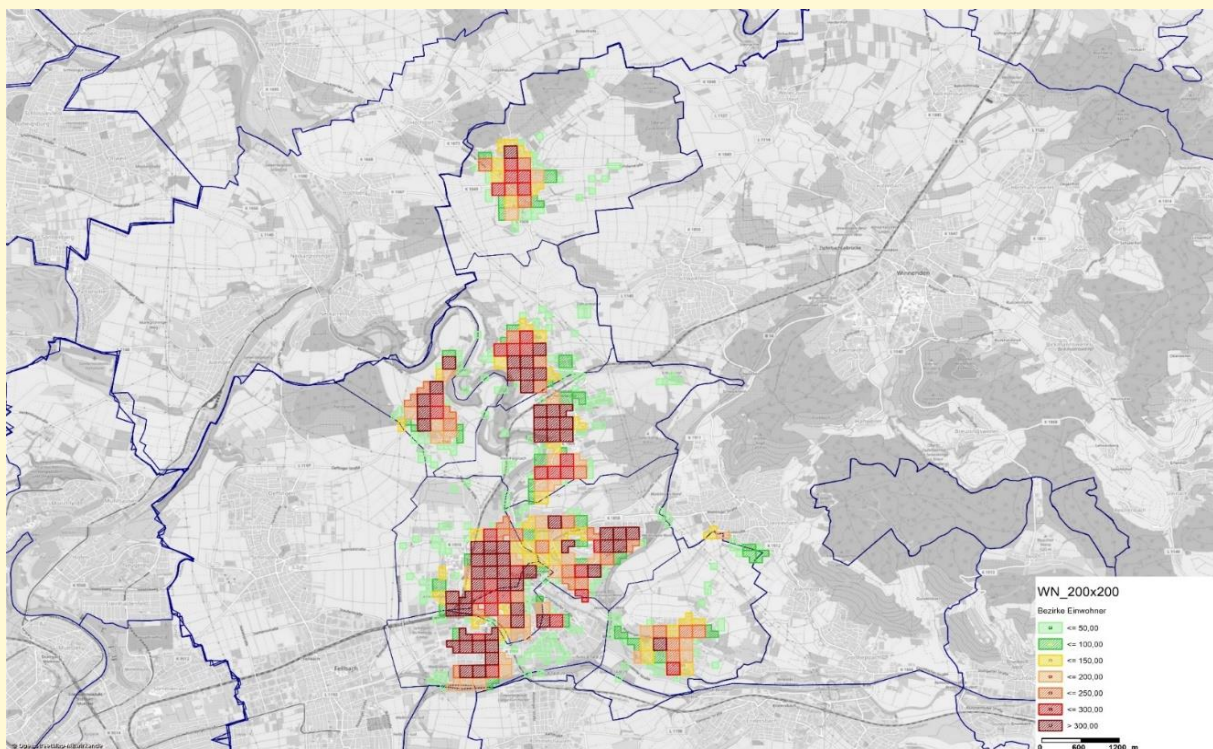


Abbildung 18: Abbildung des Untersuchungsraums Waiblingen im Verkehrsnachfragemodell

Darüber hinaus wurden weitere Modellanpassungen vorgenommen. Unter anderem wurden die beschriebenen Prämissen im Modell operationalisiert, die Fahrpläne entsprechend der Angebotsszenarien angepasst und weitere planerische Festlegungen, welche bei einem Angebot von On Demand-Verkehren notwendig sind, getroffen und modellhaft umgesetzt. Insgesamt wurde so Grundlage für die in der zweiten Projektphase durchgeführte Untersuchung der Nachfrageeffekte geschaffen.

Effekte auf die Kosten des öffentlichen Verkehrs

Die wichtigen Ergebnisse und Variablen, welche aus der Verkehrsflusssimulation und der Risikoanalyse gewonnenen werden konnten, wie die Umlaufzeit der Busse, die resultierende Linientakung und Laufzeit sowie die Ableitung notwendiger infrastruktureller Maßnahmen an den Knotenpunkten, wurden im Rahmen der Untersuchungen der Wirtschaftlichkeit anhand eines Total Cost of Ownership Ansatzes (TCO) sowie eines Total Cost of Mobility Ansatzes (TCM) mit entsprechenden Kalkulationen berücksichtigt.

Um eine Gegenüberstellung und damit eine Aufdeckung der Besonderheiten eines hochautomatisierten Linienbetriebs zu ermöglichen, wurde neben den elektrisch betriebenen (hochautomatisierten) Kleinbussen des AMEISE-Projektes, ferner auch das Szenario einer Streckenbedienung anhand zweier mit Dieselkraftstoff betriebener nicht automatisierter Kleintransporter untersucht. Das AMEISE- sowie das Referenzszenario unterliegen dabei den gleichen Einsatzprämissen. Aus der Gegenüberstellung geht die prozentuale Verteilung der Kostenblöcke an den Gesamtkosten der jeweiligen betrachteten Konzepte sowie die Ableitung kostentechnischer Besonderheiten hochautomatisierter Buslinie hervor.

Die für die Kalkulationen aufgesetzten TCO- und TCM-Kostenmodelle wurden im weiteren Projektverlauf weiter geschärft, verfeinert und mit Werten aus der Literatur bespeist. Auf Basis der kontinuierlich anhaltenden Recherche konnte die hinter der Kalkulation liegende Datenbank erweitert werden, sodass die Kostenblöcke in Vorbereitung für die weiteren Berechnungen der anstehenden zweiten Phase des Projektes aktualisiert werden konnten. Zudem konnte das Bild der optimalen Ergebniskombination zur Erhöhung der Aussagekraft geschärft werden.

Nutzungsakzeptanz

Die folgenden Zwischenergebnisse, welche in der ersten Phase des AMEISE-Projektes in Erfahrung gebracht werden konnten und hier dargelegt sind, beruhen auf Daten aus mehreren Interviews mit einzelnen Personen, welche nach einer Testfahrt interviewt wurden und Workshops mit Schüler:innen des BBW zur Thematik der Erwartung und Erfahrung der Nutzenden (Abbildung 20). Für Interviews und Workshops wurde derselbe Fragebogen und eine Fünf-Punkte- Bewertungsskala verwendet.

Die Forschungsfragen zur Nutzungsakzeptanz ermitteln in folgenden Punkten:

- Wie steht es um die Nutzungserwartung und die Bewertung von automatisierten Fahrzeugen im ÖPNV?
- Was sind die Bedürfnisse und Voraussetzungen nach ersten Nutzungserfahrungen für die Akzeptanz automatisierter Fahrzeuge im ÖPNV?

Der gewählte Forschungsansatz ist qualitativer Natur. Ziel ist es, die Erfahrungen von Einzelpersonen zu analysieren, zu verstehen und zu interpretieren, um daraus Ergebnisse abzuleiten, die sich auf die Gesellschaft in der Gesamtheit beziehen. Daher ist die Auswahl der Proband:innen bewusst und möglichst vielfältig gewesen. Die ausgewählten Methoden zur Datenauswertung setzen sich aus qualitativen Befragungen in Form einzelner Interviews und Gruppeninterviews sowie die Untersuchung der Meinungen und Verhaltensweisen der Befragten anhand einer Fünf-Punkte-Bewertungsskala zusammen.



Abbildung 19: Bürgerwerkstatt in der Stadt Waiblingen im April 2022

Bis zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichtes wurden 3 Interviews und 2 Workshops (Gruppengröße 18) organisiert. Geplant sind weitere 15 Interviews, ein Workshop, und 4 begleitende Fahrten – im Sinne von teilnehmender Beobachtung - mit Menschen mit oder ohne Mobilitätseinschränkungen.

Die bisherigen Auswertungen in Bezug auf die Nutzungsakzeptanz zeigen, dass die Bevölkerung unabhängig vom Alter, dem Geschlecht, dem Bildungsgrad oder z. B. auch der persönlichen technischen Affinität der Entwicklung autonomer Fahrzeuge positiv gegenüberstehen. Für den Einsatz im öffentlichen Nahverkehr wird das Angebot vor die gleichen kritischen Erwartungen und Anforderungen gestellt, wie die derzeitigen Angebote. Autonome Fahrzeuge sollten sich reibungslos in das Streckennetz und die Preisgestaltung der derzeitigen Angebote integrieren. Die Fahrt sollte nicht länger dauern als mit dem Auto.

Befragte mit einer bereits guten Anbindung an den öffentlichen Nahverkehr können sich ein Angebot eines autonomen Busses in ihrem Streckennetz nicht vorstellen. Bislang könnten sich die Befragten einen Einsatz eher in entlegenen Gemeinden oder für die Personenbeförderung von Passagieren am Flughafen vorstellen.



Abbildung 20: Infotag beim Berufsbildungswerk in der Stadt Waiblingen im September 2022

Der Punkt der Sicherheit scheint abhängig von der technischen Affinität der Probanden zu sein. Menschen mit einem hohen Verständnis von Technik verbinden auch mit neuen Techniken keine Unsicherheit. Sie vertrauen größtenteils der Technik und beschreiben, dass sie sich vorstellen können sich sicher zu fühlen, weil sie der Technik vertrauen oder sich sicher gefühlt haben, während der Fahrt. Vereinzelt wird trotz einem hohen technischen Verständnis der Komponente „Mensch“ interessanterweise nicht mehr vertraut, welche die Technik initialisiert.

Menschen, bei denen die technische Affinität im Bereich autonomer Fahrzeuge nicht so ausgeprägt ist, haben hingegen ein hohes Bedürfnis nach einem Sicherheitsgefühl und Vertrauen der Technik eher weniger. Die meisten Befragten mit diesen Bedenken könnten sich vorstellen, dass eine Sicherheitsperson während der Fahrt diese Besorgnis auflösen würde.

In der Erwartungshaltung der befragten Personen, welche eine Nutzungserfahrung aufwiesen, traten immer die gleichen Merkmale auf (siehe Abbildung 22): Die Geschwindigkeit und manuellen Eingriffe wurden meistens bemängelt und haben daher die Erwartungshaltung oft nicht getroffen. Im Rahmen des Projektes könnte dies künftig mit einer transparenten Kommunikation hinsichtlich der derzeitigen gesetzlichen Anforderungen verbessert werden. Allerdings gab es durchaus positive Bewertungen, wie Abbildung 21 zeigt.



Abbildung 21: Drei meistgenannten positiven Probandenaussagen



Abbildung 22: Drei meistgenannten negativen Probandenaussagen

Beschäftigungs- u. Berufsperspektiven im automatisierten Fahren

Das Arbeitspaket 5 hat zum Ziel, die Beschäftigungs- und Berufsperspektiven in einem automatisierten und autonomen Busbetrieb zu beschreiben, Empfehlungen für die Verkehrsunternehmen zu entwickeln, zu diskutieren und zu verbreiten und einen damit verbundenen Gestaltungsdialog für die Stakeholder im Land Baden-Württemberg aufzubauen und zu etablieren. Besonderer Fokus liegt hierbei auf den Beschäftigten des Fahrdienstes im Busbetrieb und der damit verbundenen Transformation ihres Berufsbildes.

Die Beschäftigungs- und Berufsperspektiven im Öffentlichen Verkehr (ÖV) unter der Einführung des autonomen Fahrens wurden noch nicht hinreichend erforscht, so dass das Projekt „AMEISE“ hier einen wichtigen und notwendigen Beitrag leistet.¹ Die Erforschung der Berufs- und Beschäftigungsperspektive wurde sowohl theoriegeleitet als auch empirisch betrieben. Mit den folgenden Schritten hat sich das Team der Fragestellung angenähert:

- Literaturrecherche zum aktuellen Forschungsstand (insbesondere im deutschsprachigen Raum);
- Tätigkeitsaufnahme beim Fahrpersonal im Linienverkehr einschließlich vor- und nachgelagerter Tätigkeiten auf dem Betriebshof durch eine teilnehmende Beobachtung;
- Tätigkeitsaufnahme zu Abläufen eines Busbetriebs in einem Workshop mit verantwortlichen Mitarbeitenden des Projektunternehmens Omnibus-Verkehr Ruoff;
- Diskussion der Tätigkeitsaufnahme und erwarteter Veränderungen durch automatisiertes Fahren in einem Workshop mit rund 30 Vertreterinnen und Vertretern aus Verkehrsunternehmen und Wissenschaft bei einem Workshop – als Auftakt des Gestaltungsdialogs – diskutiert.

¹ Das AP 5 bezieht sich hier auf den Forschungsstand der Jahre 2020 und 2021.



Abbildung 23: Workshop zur Aufnahme von Anwendungsfällen automatisierten Fahrens im ÖV

Der Einsatz qualitativer Forschungsmethoden war hier besonders geeignet, da es zu Beginn des Projekts an geeigneten detaillierten Tätigkeitsbeschreibungen des Fahrpersonals vor dem Hintergrund ihrer möglichen Automatisierung fehlte. Die durch die teilnehmende Beobachtung und die Workshops erlangten Erkenntnisse bilden wiederum eine geeignete Grundlage, um künftig größere Datenmengen zu erheben und statistisch auszuwerten.

Ausgangslage zu Projektbeginn

Die Ausgangslage zur Beschäftigungsperspektive bezüglich des autonomen Fahrens in Verkehrsunternehmen zeichnet sich im bestehenden Forschungsstand ab. 30 Publikationen aus dem Zeitraum 2015 bis 2021 wurden dafür auf Fragen der Beschäftigungs- und Berufsperspektiven hin untersucht und bewertet. Das Ergebnis: Bisherige Untersuchungen zum autonomen und automatisierten Fahren legen ihre Schwerpunkte auf grundsätzliche Einschätzungen zur technischen Umsetzung. Fragen zur Beschäftigungs- und Berufsperspektiven wurden jedoch kaum berücksichtigt. Eine einzige Studie aus dem Jahr 2021 beschäftigt sich im Auftrag des Freistaats Sachsen explizit mit den Beschäftigungsauswirkungen der Einführung autonomen Fahrens im Öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV). Abbildung 24 gibt einen Überblick über die Themenschwerpunkte der bewerteten Publikationen. Vereinzelt werden die Auswirkungen auf das

Fahrpersonal im Kontext juristischer oder allgemein ethischer Fragen diskutiert. Der Stand der Forschung zeigt, dass weitere fundierte Analysen der Beschäftigungs- und Berufsperspektiven noch ausstehen. Gleichzeitig zeigt sich, dass es noch keine branchenübergreifenden etablierten Vorgehen oder Regelungen zur Einführung des autonomen Betriebs gibt.

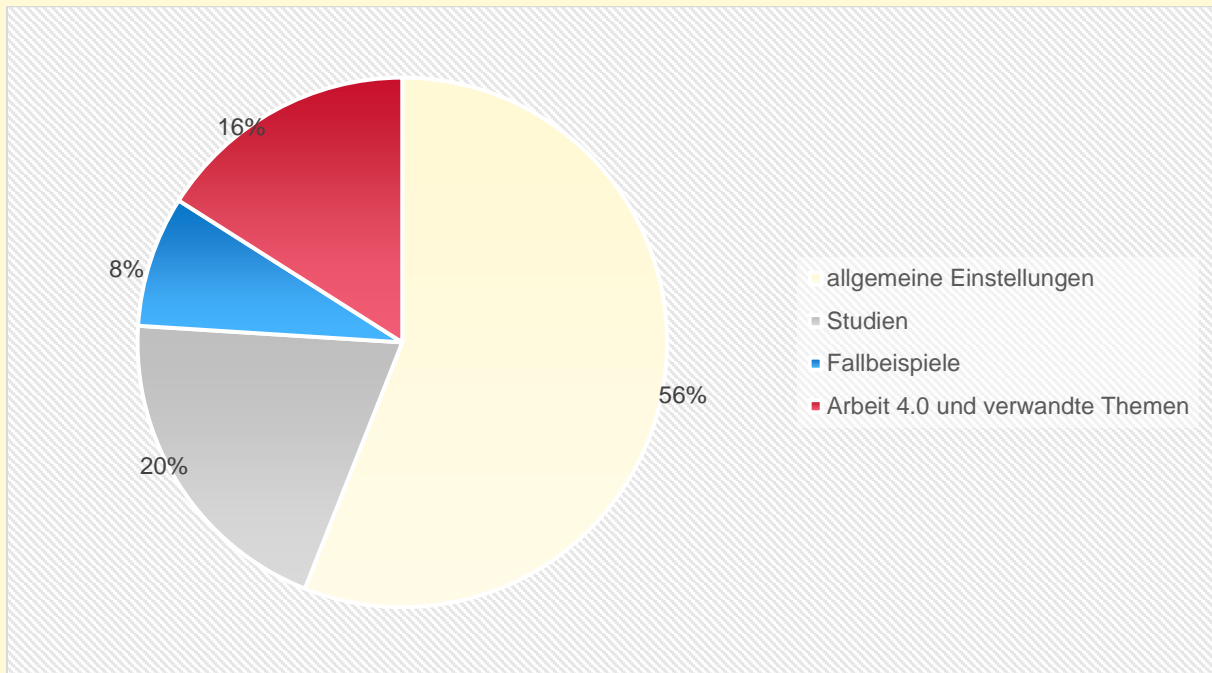


Abbildung 24: Publikationen zum autonomen Fahren im Überblick

Aus der Zusammenschau von Literaturrecherche, Bestandsaufnahme der Tätigkeiten im klassischen Busbetrieb, Workshops mit Beschäftigten der OVR und der Bedarfsabschätzung der relevanten Handlungs- und Entwicklungsfelder aus dem Gestaltungsdialog mit den Verkehrsunternehmen wurde ein Interviewleitfaden entwickelt, relevante Stakeholder und Erfahrungsträger identifiziert und die nächsten Schritte für die Phase II konzipiert.

Bei Mitfahrt im Linienverkehr (als teilnehmende Beobachtung) wurde für etwa die Dauer einer Schicht erfasst, welche Tätigkeiten das Fahrpersonal ausübt. Betrachtet wurden hierbei vor- und nachgelagerte Tätigkeiten, operative Prozesse und neben der eigentlichen Fahrzeugführung relevanten Nebentätigkeiten der Fahrpersonale. Es ging hier vorrangig um einen Eindruck davon, welche Tätigkeiten anfallen.

Zusammengefasst dargestellt sind die wichtigsten Tätigkeitsblöcke mit

- a) Inbetriebnahme des Fahrzeugs mit Kontrolle zentraler Funktionen bei Dienstbeginn,

- b) die Fahrzeugführung zur jeweiligen Buslinie, das Fahren auf einer bzw. mehreren Buslinien im Schichtverlauf sowie
- c) die Rückfahrt des Fahrzeugs zum Betriebshof mit Abschlusskontrolle, Tanken und Abrechnung zu nennen.

Die zeitlichen Anteile bleiben hier unberücksichtigt, die Fahrzeugführung macht den mit Abstand größten Anteil aus (ca. 95 % der Arbeitsdauer einschließlich der Zeit an den Haltestellen).

Erkenntnisse der teilnehmenden Beobachtung mit Blick auf den autonomen Busbetrieb waren vor allem die regelmäßigen Störungen der Verkehrsführung, auf die das Fahrpersonal mit Abweichungen reagieren musste. Praktisch in jedem Kurs gab es Blockaden der Fahrstrecke – von im Weg parkenden Fahrzeugen wie Lieferdienste, privaten Pkw oder ähnlichen Fahrzeugen bis hin zu kurzen oder mehrtägigen Baustellen. Regelmäßig musste der Omnibus dadurch Stellen passieren, die eine Einschätzung komplexer Verkehrssituationen durch den Fahrer (Engstellen mit wenig Abstand zu Gebäuden oder anderen Fahrzeugen, schlechter Überblick über den Gegenverkehr/andere Verkehrsteilnehmenden Kurven, Ausweichen auf die Gegenfahrbahn) erforderten. Außerdem fiel der regelmäßige Kundenkontakt auf: Insbesondere an zentralen Ein-/Umsteigehaltestellen (die Endhaltestellen der Linie lagen an zwei S-Bahnhöfen, einer davon in Verbindung mit dem zentralen Omnibusbahnhof der Stadt Waiblingen) gab es immer Fragen nach Verbindungen und Anschlüssen von Fahrgästen und den Verkauf von Fahrscheinen. (Der Austausch mit den Fahrgästen wird bei unserer Betrachtung zeitlich parallel zur Fahrzeugführung gerechnet.) An den Endhaltestellen gab es außerdem mehrere Kontrollgänge im Fahrzeug, um gegebenenfalls Fundstücke sowie grobe Verschmutzungen zu erkennen. Zudem befuhr der Busfahrer im Verlauf seiner Schicht drei verschiedene Strecken, die teilweise auch über Landstraßen zwischen zwei Ortschaften führten und dort eine deutlich höhere Geschwindigkeit als im Stadtverkehr erforderten.

Im nächsten Arbeitsschritt wurden die dem konkreten Busbetrieb selbst vor- und nachgelagerten Tätigkeiten auf einem Busbetriebshof (konkret bei der OVR) in einem Workshop erfasst. Durchgeführt wurde dieser Arbeitsschritt als Tagesworkshop bei der OVR, an dem Vertreter der verschiedenen Tätigkeitsbereiche teilgenommen haben: die Leitung des Betriebshofs sowie die der Werkstatt, ein Disponent und ein Fahrer, der gleichzeitig als Betriebsratsmitglied dabei war.

Ergänzend zur Tätigkeitsaufnahme wurde gemeinsam erarbeitet, bei welchen Tätigkeiten im konventionellen Busbetrieb wesentliche Änderungen durch autonome Shuttles erwartet werden:

- Derzeit hat das Fahrpersonal eigene Entscheidungskompetenzen zum Umgang mit kleineren Störungen auf der Strecke und mit Störungen des Fahrzeugs. Bei deutlichen Abweichungen besprechen sie diese mit den Disponentinnen und Disponenten. Im autonomen Fahren ist zu klären, inwieweit hier das Fahrzeug selbst Fahrmanöver ausführt und in welchem Umfang die Operatorinnen und Operatoren eingreifen.
- Der Disponent ist die zentrale Anlaufstelle für das Fahrpersonal, das beginnt mit den notwendigen Informationen zu Strecken und Fahrzeugen bei Fahrtbeginn über Abstimmungen im Fahrtablauf bei kurzfristigen/akuten/spontanen Änderungen (Störungen, Routenänderungen, Umgang mit Verspätungen, ggf. Entscheidungen zum Abbruch von Fahrten). Da im Projekt nur eine Strecke bedient wird, fällt beim Betrieb des autonomen Shuttles kein/kaum Abstimmungsaufwand an.
- In der Werkstatt liegen bereits Erfahrungen mit vollelektrischen Bussen vor, die Beschäftigten sind dafür qualifiziert und verfügen über die zur Wartung notwendigen Geräte. Hier wurden zu Projektanfang eher geringere Änderungen erwartet. Der Wartungsaufwand bzw. der bei der OVR leistbare Wartungsumfang hängt jedoch wesentlich von der technischen Ausstattung der Fahrzeuge ab, die zum Zeitpunkt des Workshops noch nicht bekannt war. Fragen nach dem Laden (bzw. Automatisierter Ladevorgänge), dem Umgang mit Fehlermeldungen, Reaktionen des Fahrzeugs auf Störungen, die Gestaltung und Überwachung des Ein- und Ausstiegs sowie das Anzeigen eines Einstiegs- bzw. Haltewunsches durch Fahrgäste konnten erst mit Beschaffung des Fahrzeugs geklärt werden.
- Änderungen bei Umsetzung des Level 4-Fahrens im Busbetrieb werden in allen Bereichen erwartet: Bei den Tätigkeiten der Fahrpersonal muss der Ticketverkauf neu organisiert werden, möglicherweise brauchen Operatorinnen und Operatoren zum Nachweis ihrer Arbeitsfähigkeit einen „Totmannknopf“, der manuelle Eingriff in Gefahrensituationen, die Übernahme von Überwachungstätigkeiten sowie Hilfen für mobilitätseingeschränkte Fahrgäste müssen neu organisiert werden. Für den Disponenten können sich Änderungen dadurch ergeben, dass die Fahrzeuge selbst mit der Werkstatt kommunizieren und ihren Zustand weitergeben, so dass er sich weniger um Routinewartungen und

die Behebung von Störungen kümmern muss. In der Werkstatt werden sich Diagnose- und Servicetätigkeiten bzw. werden sich die Wartungsintervalle ändern. Die Planung muss intensiviert werden, weil das Fahrzeug viel genauer als derzeit auf die jeweilige Strecke – und nur auf eine Strecke – eingelernt wird. Offen ist, in welchem Umfang das Fahrzeug selbständig auf Störungen reagiert. Die Leitung des Betriebshofs wird sich wenig ändern, muss allerdings die neue Gesetzeslage berücksichtigen. Über alle Bereiche hinweg wird ein höherer Bedarf an IT-Kompetenz erwartet.

- Gemeinsam mit Vertretenden aus rund 20 Verkehrsunternehmen wurde in einem Use-Case-Workshop erarbeitet, welche Anwendungsfälle sie sich für autonomes Fahren im öffentlichen Verkehr vorstellen können und was das für die Kompetenzen der Beschäftigten heißt. Die 2020er Jahre könnten zum Gestaltungsjahrzehnt für Verkehrsunternehmen werden. Zentrale Bedeutung erhält autonomes Fahren vor dem Hintergrund, dass bereits jetzt Personal und insbesondere Fahrpersonal fehlt. Das hemmt jetzt bereits die für nachhaltigere Mobilität erforderliche Ausweitung des ÖV-Angebotes. Hier können autonome Shuttles Lücken schließen, ohne dass für die Beschäftigten das Risiko eines Beschäftigungsabbaus durch autonomes Fahren entsteht. Allerdings verändern sich Tätigkeitsprofile – als Stichwort sei hier die Technische Aufsicht genannt, so dass Verkehrsunternehmen den Wandel mit Personalentwicklung begleiten müssen.

Veränderungen der Tätigkeiten im Überblick

In einem Workshop konnten die Auswirkungen auf Tätigkeitsfelder im Verkehrsunternehmen identifiziert werden. Dabei sind die Teilnehmenden der Frage nachgegangen, welche Tätigkeiten hinzukommen, welche Tätigkeiten wegfallen und welche neuen Qualifikationsanforderungen für die unterschiedlichen Berufsgruppen entstehen.

Fahrpersonal (Bus)

- Für Fahrerinnen und Fahrer werden voraussichtlich mehr Aufgaben im Bereich Service und neue Qualifikationsanforderungen zukommen (überwachen statt lenken).
- Bestimmte Vorbereitungen am Fahrzeug, die direkte Kommunikation mit Fahrgästen würden tendenziell wegfallen.

Disposition

- Hierbei werden mehr Fahrzeuge als Fahrpersonale disponiert werden müssen und die Einsatzplanung einer mobilen Support Crew kommt hinzu.
- Die Verteilung von Fahrpersonalen auf die autonomen Fahrzeuge fällt entsprechend weg.
- Beschäftigte in der Disposition benötigen ggf. neue Dispositionssysteme und müssen sich auf ein neues Flottenmanagement einstellen.

Leitstelle

- Für Leitstellenmitarbeitende ergeben sich zahlreiche neue Aufgaben, so bspw. den technischen Eingriff aus der Ferne, die Innenraumüberwachung des Fahrzeugs, die Manöverfreigabe und die technische Überwachung.
- Dafür benötigen bestehende und neue Berufsgruppen (wie z.B. die sogenannte „Technische Aufsicht“) neue Kompetenzen im Bereich IT und Software und müssen Probleme oder Anfragen aus der Ferne gut bewältigen können.

Werkstatt

- Da die autonomen Fahrzeuge neue/andere Funktionen und Konstruktionen aufweisen, wird die Arbeit in der Werkstatt sich entsprechend verändern. Wartung und Instandhaltung werden ggf. komplexer und IT-lastiger.
- Das Werkstattpersonal hat es u.a. hier mit neuen Antriebstechnologien (batterieelektrischer Antrieb) zu tun.

IT-Abteilung

- Hier kommen viele Aufgaben hinzu, u.a. Datenerfassung/-verarbeitung und -analyse, die durch den Einsatz autonomer Shuttles anfallen.

Ortsflexible Support-Crew

- Der Einsatz von Fahrzeugen ohne Fahrpersonal bedeutet auch, dass es eine mobile Support-Crew geben muss, die bspw. im Störfall (d.h. wenn das Fahrzeug auch mithilfe der Leitstelle ein Problem nicht mehr bewältigen kann) vor Ort eingreifen kann.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass alle Beschäftigten der Verkehrsunternehmen und auch die Fahrgäste über die neue Technologie aufgeklärt werden müssen, um die Akzeptanz dafür zu stärken und ggf. Vorbehalten vorzubeugen.

Tätigkeiten Fahrpersonal (Bus)		
kommen hinzu	fallen weg	erfordern neue Qualifikationen
Überwachung mehrerer Fahrzeuge im Sinne einer technischen Aufsicht	Fahraufgabe	neue Form der Ortskenntnis notwendig, Entscheidungen auf Basis digitaler Informationen
Service gegenüber Fahrgästen und Vermittlung eines Sicherheitsgefühls ggf. aus der Distanz	Ticketverkauf, Aufsicht, Kundenkommunikation, Information, Fundschaften, Grobreinigung	Gerätebasierte Kommunikation überfachliche Kompetenzen im Umgang mit Fahrgästen Informationsvermittlung zum automatisierten Fahren (Technikverständnis)
neue Form der Inbetriebnahme des Fahrzeugs (v. a. für das automatisierte Fahren)	bisherige Form der Inbetriebnahme	
ortsflexibles Serviceteam		Neue Qualifikationen erforderlich, aber Inhalte noch unklar

Tabelle 1: Übersicht der Tätigkeiten des Fahrpersonals

Tätigkeiten Disposition		
kommen hinzu	fallen weg	erfordern neue Qualifikationen
Fahrzeug-Dispo digital	Dispo analog	neue Fahrzeug-Dispositionssysteme
Gleichbleibend; on demand, mehr Arbeit	Personaldisposition auf die Fahrzeuge	
Fahrzeuge statt Fahrpersonal disponieren, Dispo des Serviceteams		Flottenmanagement

Tabelle 2: Übersicht der Tätigkeiten in der Disposition

Tätigkeiten Leitstelle		
kommen hinzu	fallen weg	erfordern neue Qualifikationen
technisch eingreifen		“Fahrzeug-Fernsteuerung”
Eingriff in Fahrzeugroute digital		
digitale und automatisierte Störungsmeldungen; digitaler Kundenkontakt; digitale Innenraumüberwachung, Manöverfreigabe, Remote-Zugriff		Verarbeitung digitaler Informationen als Entscheidungsbasis
Trouble-Shooter (Verkehrsmeister), Fahrzeug + Leitstelle/System (ITCS 2.0)		
technische Aufsicht, technische Überwachung, IT-Sicherheit	geringere Einbindung in 2nd-Level-Support	KI-Fahrerwendungs-Kompetenzen, IT-Sicherheit, Software-Kompetenzen

Tabelle 3: Übersicht der Tätigkeiten der Leitstelle

Tätigkeiten Werkstatt		
kommen hinzu	fallen weg	erfordern neue Qualifikationen
Flexibilität, mobiler Einsatz, Fahrzeugsicherheit vor Ort, Softwaresicherheit; Sicherheitskontrolle Fahrzeuge; ggf. Fahrzeugüberprüfung (Fundsachen)		IT-Administrator, Antriebstechnologie neue Technologien Sensorik u. a. Komponenten für das automatisierte Fahren Software
aktiveres Beschaffungsmanagement, mehr Elektrotechnik, mehr IT, kürzere Lifecycles, Predictive Maintenance, autonome Betriebsprozesse, mehr/komplexere Wartung und Instandhaltung, Vertragspartnerschaft		Qualifikationsaufbau
Software, vielfältigere Fahrzeuge, mehr Sicherheitsprüfungen	Entlastung durch das ortsflexible Serviceteam	Qualifikationsaufbau

Tabelle 4: Übersicht der Tätigkeiten in der Werkstatt

Tätigkeiten alle Mitarbeitenden		
kommen hinzu	fallen weg	erfordern neue Qualifikationen
Info, mitnehmen und Akzeptanz		Zukunft der Berufsbilder? Problemübergreifendes Denken, Zukunftskompetenz (VUCA), T-Shaped qualifiziert

Tabelle 5: Übersicht der Tätigkeiten aller Mitarbeitenden

Tätigkeiten IT
kommen hinzu
Datenerfassung/-verarbeitung/-analyse, neue Systeme und Architektur
Mehr Kameras, IT und Intelligenz
Kompetenzorientierte und strukturierte Personalplanung, mehr gute HR/Personalentwicklung
Mehr Infrastruktur und mehr Verkehrssystemtechnik

Tabelle 6: Übersicht der Tätigkeiten der IT

Tätigkeiten ortsflexibles Serviceteam
kommen hinzu
Entsteht neu, 1-Level-Support, mobiles Störfallmanagement (kurzfristig) Hard- und Softwaresupport

Tabelle 7: Übersicht der Tätigkeiten eines ortsflexiblen Serviceteams

Tätigkeiten Fahrgäste		
kommen hinzu	fallen weg	erfordern neue Qualifikationsanforderungen
Selbständige Informationsbeschaffung, Ticketkauf, Akzeptanz		eigene IT-Kompetenz

Tabelle 8: Übersicht der Tätigkeiten der Fahrgäste

Ausblick auf die zweite Projektphase

Nachdem in Phase I im Wesentlichen die Erfassung des Status Quo des Berufsbildes und Anforderungsprofils des heutigen Fahrpersonals abgeschlossen ist, wird in Phase II eine Erfassung der Tätigkeiten und Anforderungsprofile der sog. Operatoren hochautomatisierter Shuttle-Erprobungen zum Ziel gemacht. Hierzu werden – anhand des in Phase I entwickelten Leitfadens und identifizierten Stakeholdern – Experten-Interviews durchgeführt und ausgewertet.

Aus der Erfassung und Beschreibung des aktuell vorherrschenden „Operatorenbetriebes“ sollen wesentliche Erkenntnisse und Abschätzungen für die weitere Transition der Beschäftigung im zukünftig autonomen ÖPNV-Busbetrieb abgeleitet werden und personalstrategische Empfehlungen für die Verkehrsunternehmen zugänglich gemacht werden. Außerdem wird die Frage der „Technischen Aufsicht“ im Projektverlauf weiter zu klären sein.

Weiterhin soll der gestartete Gestaltungsdialog verstetigt werden und durch weitere Stakeholder-Workshops, die spezifischen Bedarfe der Personal- und Berufsbildentwicklung für die Verkehrsunternehmen im Land Baden-Württemberg entwickelt werden. Hierbei sollen aus den Erfahrungswerten der Verkehrsunternehmen mit „Operatorenbetrieben“ Best-Practice-Beispiele herangezogen und Strategien abgeleitet werden, um die Akzeptanz bei den Beschäftigten zu erhöhen und zukünftige Qualifikationsbedarfe zu identifizieren.

Projektkoordination und -kommunikation

Die pandemiebedingten Kontaktbeschränkungen haben das Projektkonsortium vor die Herausforderung gestellt, im ersten Projektjahr über alternative Wege eine geeignete Kommunikation und Beteiligung aufzubauen.

Die feierliche Übergabe des Förderbescheids im Dezember 2020 stellte die erste öffentliche Veranstaltung dar. Diese wurde online durchgeführt und über die städtischen Kommunikationskanäle beworben.

Im Zusammenhang mit der Nutzerakzeptanzanalyse (vgl. AP 4) wurden für die Akquise von Teilnehmenden 2.000 Adressdaten vom Einwohnermeldewesen ermittelt, welche zum Bürgerdialog eingeladen wurden. Es handelt sich dabei um ca. 350 Haushalte im Umfeld des Reallabors und ca. 1.650 zufällig ausgewählte Adressen aus dem übrigen Stadtgebiet von Personen mit einem Mindestalter von 12 Jahren. Über dieses Auswahlverfahren sollte der Aspekt „Zufall“ erhöht werden, um eine möglichst unvoreingenommene Auswahl an Interessenten zu gewinnen, die am Bürgerdialog teilnehmen. Der Oberbürgermeister der Stadt Waiblingen hat in einem Anschreiben die ermittelten Adressen postalisch kontaktiert und zur Veranstaltung eingeladen.

Anhand der Rückmeldungen konnte eine Gruppe an Interessierten gegründet werden, die in einem ersten Workshop in den gemeinsamen Austausch treten konnte und im weiteren Projektverlauf dynamisch ergänzt wurde.

Weitere begleitende Methoden zur Bewerbung des Projektes und der Aktionen sind in untenstehender Tabelle 9: Ansprechwege, Kommunikationskanäle und Kontaktpunkte aufgeführt.

Einladung zur Teilnahme an Testfahrten/Interviews und Workshops
Stadtseniorenrat
Jugendgemeinderat
Schwerbehindertenvertretung Rems-Murr-Kreis
Schwerbehindertenvertretung Stadt Waiblingen
VVS
Landratsämter des Verbundgebietes
Regelmäßige Meldungen auf
Homepage
Amtsblatt
Facebook
Aushang Werbeposter bzw. Auslegung Postkarten
städtische Schaukästen
städtische Einrichtungen (Rathäuser, Büchereien, Stadtteiltreffs, Touristinformation)
Im öffentlichen Linienbetrieb eingesetzte Busse des Projektpartners OVR
Berufsbildungswerk
Schulen im Bereich der AMEISE-Strecke

Tabelle 9: Ansprechwege, Kommunikationskanäle und Kontaktpunkte

Als erster öffentlicher Auftritt in Präsenz wurde das Besichtigen und Betreten der Forschungsfahrzeuge gewählt. Im April 2022 wurde unter Einbindung der Fördergebenden, der Presse, der Bürgerschaft und Akteuren aus dem Forschungsfeld eine Bürgerwerkstatt am Waiblinger Bürgerzentrum veranstaltet. Hier hatten Interessierte die Möglichkeit, sich über das Projekt und die behandelten Forschungsfragen zu informieren. Neben der reinen Information über Hintergründe und Methodik wurden Geräte aus den technischen Arbeitspaketen wie der Sensortower

und die intelligente Ampel (vgl. Aufbau und Weiterentwicklung der Straßeninfrastruktur) vorgestellt. Im Mittelpunkt standen das umgerüstete Sensorfahrzeug und das automatisierte Fahrzeug. Letzteres war noch nicht für den Straßenverkehr zugelassen, konnte aber mittels Anhänger zum Ausstellungsplatz geliefert werden und bereits erste Funktionen wie eine automatische Tür und eine ausfahrbare Rollstuhlrampe demonstrieren.

Auf diese Weise konnte das Projekt schon vor Inbetriebnahme der Fahrzeuge und der Sensorinfrastruktur von der Waiblinger Bürgerschaft gesehen, berührt und erlebt werden (vgl. auch Abbildung 26).

Der direkte Austausch mit dem Projektteam vor Ort wurde dazu genutzt, Fragen zu beantworten und Lust auf das bevorstehende Projekt zu wecken.

Zugleich konnten bei dieser Gelegenheit Kontaktdaten ausgetauscht und potenzielle Fahrgäste für die Nutzerakzeptanzforschung gewonnen werden, welche dadurch zum Betriebsstart im August informiert werden konnten.

Kommunikationsziele, Botschaften und Maßnahmen

Ein Teilziel der internen und externen Kommunikation war es, das autonome Fahren im Kontext der „Verkehrswende“ besser zu verstehen und diesen Denkansatz auf neue Projekte übertragen zu können. Sowohl Bürger, Hochschulbedienstete als auch Verwaltungsmitarbeitende wurden sensibilisiert, keine Projekte zu befördern, die nur auf den ersten Blick der Verkehrswende dienlich sind und Rebound Effekte zu vermeiden. Beispielsweise wurde allen Projektbeteiligten vermittelt, dass ein Buskonzept, welches zusätzliche Fahrten erzeugt (ergänzendes statt ersetzenden Angebots) und keinen Individualverkehr reduziert, in der Säule Ökologie keine positiven Effekte hat. Auch stand im Fokus, die Bedeutung des autonomen Verkehrs im ÖPNV im Unterschied zum motorisierten Individualverkehr zu vermitteln (Verkehrszunahme durch erhöhte Aufenthaltsqualität im Fahrzeug). Die Qualifizierung und Vermittlung erfolgte insbesondere durch die beschriebenen moderierten Workshops, in der Breite durch Pressearbeit (siehe Abbildung 25) und durch das Aufgreifen der von der Bevölkerung genannten Aspekte für einen Diskurs. Subjektiv wahrgenommene Transformationswirkung bzw. Qualifizierungseffekte wurden in Interviews bei den Projektbeteiligten und darüber hinaus in Stichproben abgefragt.

Bei weiteren möglichen Verkehrsinnovationen in Waiblingen ist zu erwarten, dass die Öffentlichkeit erkennt, welchen Beitrag zur Verkehrswende neue digitale und automatisierte Angebotsformen für eine Attraktivitätssteigerung des ÖPNV leisten können.

Zudem wurde im Rahmen der Kommunikationsmaßnahmen allen klar, dass für eine signifikante Verschiebung des Anteils von MIV zu ÖPNV und aktiven Modi wie Rad- und Fußverkehr nach Aussagen von Expertinnen und Experten auch beschränkende Maßnahmen im Bereich des MIV eingeführt werden (Push-Faktoren) müssen.

Wirkung auf zivilgesellschaftliche Entwicklungen in Waiblingen: Hinweise für ein Verstärkungspotenzial konnten bereits im Vorfeld des eigentlichen Realexperiments abgeleitet werden. Die kleinere Busse wurden größtenteils positiv von der Bevölkerung und vor allem von der Anwohnerschaft aufgenommen. Zudem konnte beobachtet werden, dass durch die zahlreichen Gespräche mit der Bürgerschaft und Interessenvertretenden Prozesse über Anpassungen des Mobilitätsverhaltens initiiert wurden. Es entstand in Waiblingen ein mobilitätsbezogenes Netzwerk unterschiedlicher Akteure, das das Potenzial hat, auch abseits des Forschungsprojektes zusammenzuarbeiten.

Des Weiteren entstand durch Ameise ein umfassender Pool an BürgerInnen, die sich für mobilitätsbezogene Fragestellungen interessieren und Expertise entwickelt haben. Auf diesen Pool kann auch im Kontext anderer Beteiligungsprojekte zurückgegriffen werden, um eine wachsende Beteiligungskultur zu etablieren. Auch bei der Gruppe des Fahrpersonals konnten Veränderungseffekte beobachtet werden. Das Fahrpersonal sah das Projekt im Laufe der Zeit als „ihr“ Projekt an, was maßgeblich zu einer positiven Kommunikation mit Fahrgästen beigetragen und auch unter dem Fahrpersonal zu einem stärkeren Zusammenhalt geführt hat.

Arbeitskultur - Zusammenarbeit im Projektteam

Hinsichtlich einer internen Transformation hat das Projekt dazu geführt, dass die heterogene Arbeitskultur aufgrund der unterschiedlichen Disziplinen aufgebrochen und eine homogenere Arbeitskultur, die nicht auf Kosten der Vielfalt ging, etabliert wurde. Dies zeigt sich daran, dass sich eine gemeinsame Sprache und Begrifflichkeiten durchgesetzt haben, die immer wieder an sich verändernde Rahmenbedingungen angepasst und vom gesamten Projektteam mitgetragen werden. So haben bspw. die technischen Disziplinen ihre an technischen Parametern orientierte Sprache angepasst, um mit der Bürgerschaft in den Workshops allgemeinverständlicher zu kommunizieren.

Erkenntnisse für die Lehre

Für die Hochschule Esslingen bzw. für die Lehrmethodiken in der Fahrzeugkonstruktion wurde klar, dass die laufende Einbindung von Stakeholdern kontinuierlich erfolgen muss und hoch anspruchsvoll ist. Die dadurch nochmal erhöhten Anforderungen an sich verändernde/agile Lastenhefte erfordert methodisch besondere Anforderungen an das Projektmanagement und hat seine Grenzen. Es wurde klar, dass um eine technische Umsetzbarkeit von Stakeholder Wünschen möglich zu machen, Projektpläne der technischen Möglichkeiten verstanden werden müssen und die Grenzen von Änderungsmöglichkeiten zu akzeptieren sind. Auch wurde klar, dass es nicht „den Bürgerwunsch“ gibt und die Bürgerwünsche oft in sich widersprüchlich sind.

Beobachtete Effekte in der Kommune

Das Projekt wurde von verschiedenen Kommunen, bzw. kommunalen VertreterInnen aus der Region mit Interesse verfolgt. Konkret ergaben sich zwei Anfragen, VertreterInnen aus Schönaich besuchten das Projekt, um das System vor Ort zu testen und sich mit den Projektmitgliedern auszutauschen. Weiter sind im Rahmen des Projekts Strukturen entstanden, die das Potenzial haben, im Rahmen weiterer Projekte Nutzen zu stiften). Insbesondere die starke Einbindung von Gemeinderätinnen und -räten, Regulierungsbehörden, der handelnden Akteure (Verkehrsverbund, Busunternehmer, etc.), Nutzerinnen und Nutzer sowie der interdisziplinär arbeitenden Wissenschaft in die Entwicklung hat zu einem Verständnis der gegenseitigen Perspektiven geführt und dauerhafte Kommunikationsstrukturen etabliert.

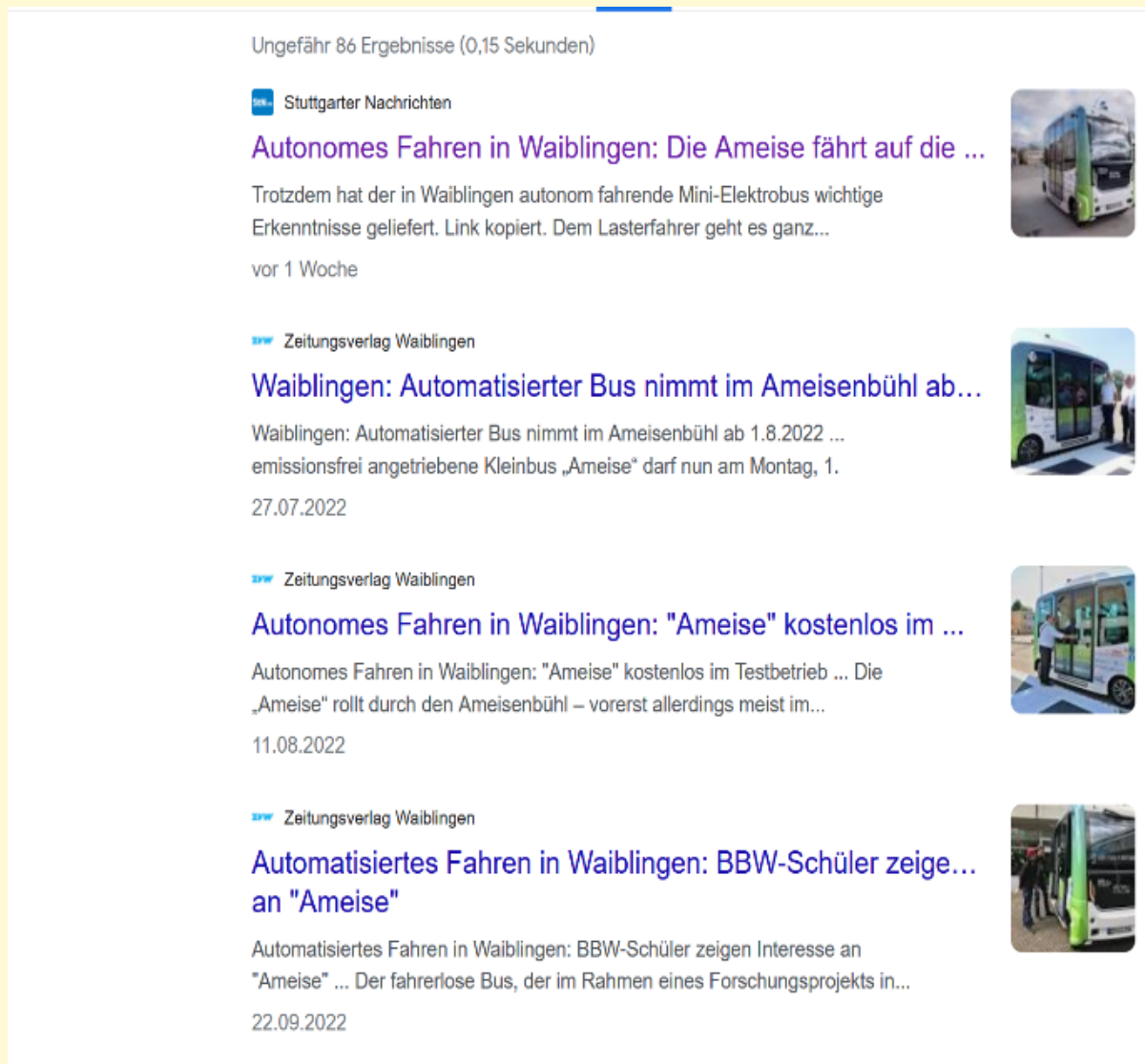


Abbildung 25: Ausschnitt Pressearbeit aus Google News

Zusätzlich besteht die Chance, dass die Innovationskraft der Kommune durch das Projekt dauerhaft gesteigert wurde und mit einer Akzeptanzsteigerung der Zivilgesellschaft in Bezug auf Forschungsprojekte und die Verkehrswende einhergeht.



Abbildung 26: Werbematerial zur Ansprache von Probanden

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Hinweisschild auf einen autonomen Fahrbetrieb und auf eine Datenerhebung (links) sowie QR-Code mit Verweis auf die Projektwebsite für weitere Informationen (rechts) 7

Abbildung 2: Beispiel der geänderten Markierung hier: der Überweg vom Bahnhof Waiblingen zur Bushaltestelle, die barrierefreie Bushaltestelle mit Wartehäuschen und Haltestellenschild. *Firma Zicla, Vectorial Stecksystem für die Plattform & Firma Kienzler Stadtmobiliar GmbH, K13 Planum als Wartehalle* 8

Abbildung 3: Das rechte Bild zeigt den Lichtsignalgeber (LSA), Besonderheit ist eine cloudbasierte Steuerung sowie dem Einsatz hocheffektiven LEDs. Im linken Bild sind Komponenten des so genannten automotive WLAN (IEEE 802.11p), von links nach rechts: ein Laptop eine Road-Site-Unit (RSU), eine On-Board-Unit (OBU) in blau sowie Antennen (weiß). 9

Abbildung 4: Die Bilder zeigen von links nach rechts einen LiDAR Sensor der der Firma Ouster (OS1), eine Edge Device Verarbeitung (Perception Stack) der Firma Outsight (ALB) sowie eine Beispielpunktwolke mit erkannten Objekten innerhalb des Labors der Hochschule Esslingen 10

Abbildung 5: Das Bild zeigt den Aufbau eines LIDAR Tunnels, bestehend aus fünf fusionierten Cube1 Sensoren (Fa. Blickfeld), die eine gemeinsame Perzeption und anonyme Analyse von Verkehrsteilnehmern ermöglichen. 10

Abbildung 6: Das linke Schaubild zeigt das grobe Aufbaukonzept des EM von der Dateneinspeisung bis hin zum Monitoring und temporären Speicherung anonymer Daten. Das rechte Foto zeigt den geplanten Server mit Festplattenanbindung im BBW-Serverraum 11

Abbildung 7: Intelligente Barke ohne Aufsteller der Firma CM1 12

Abbildung 8: Auswirkungen auf die Fahrzeugbeschaffung bei unterschiedlichen Ausschreibungsstrategien..... 14

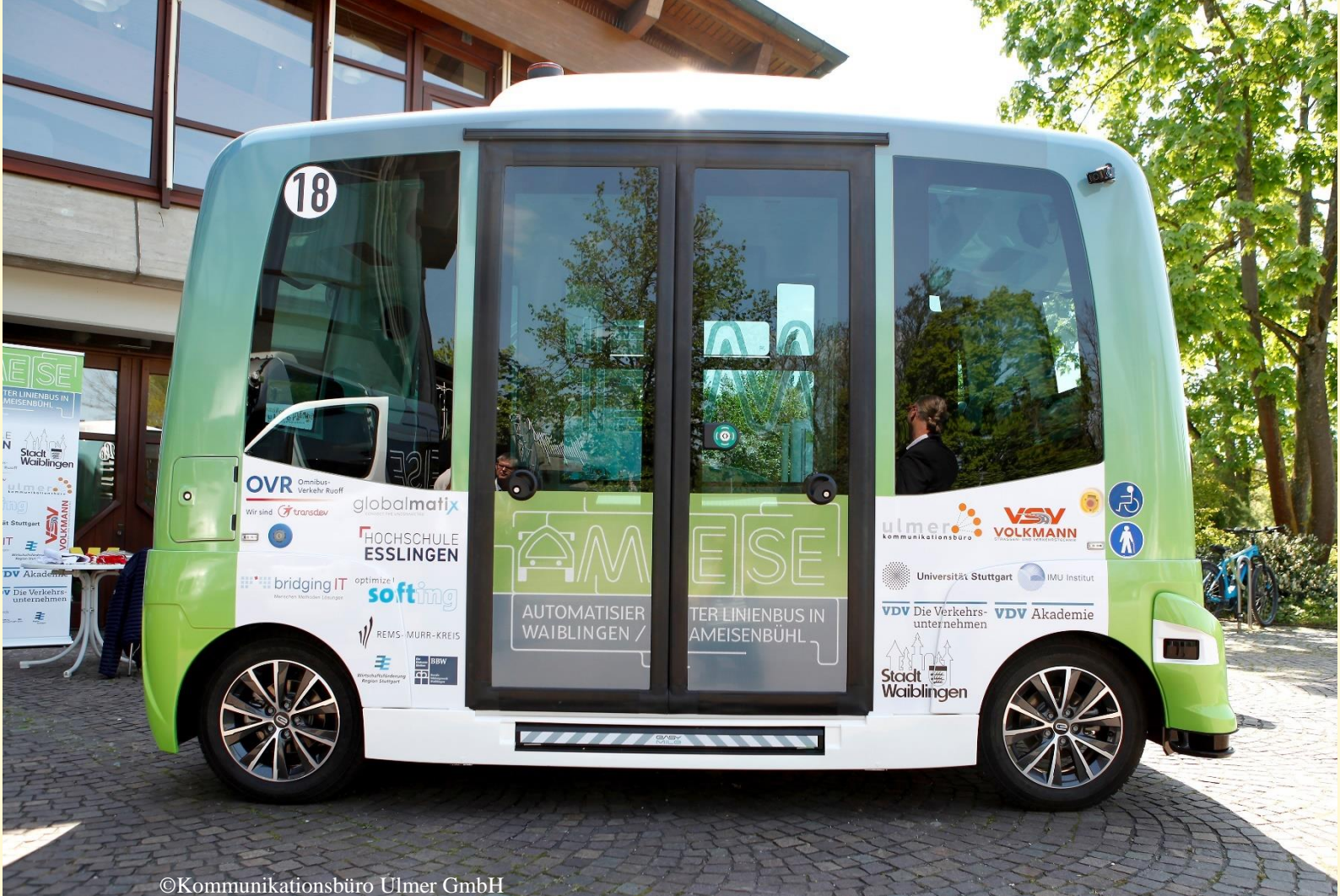
Abbildung 9: Umbau des ehemaligen Bürgerbuses mit zusätzlicher Sensorik..... 15

Abbildung 10: Hochautomatisiertes Easymile-Fahrzeug mit AMEISE-Folierung 16

Abbildung 11: 5G E2E-Lösungsübersicht 19

Abbildung 12: Messtechnikkonzept des Forschungsfahrzeugs 20

Abbildung 13: Entstehung des Messtechnik-Towers.....	22
Abbildung 14: Entwicklung und Aufbau eines nicht-öffentlichen Kleinzellen-Netzwerk (5G / WiFi 6) in 2 Stufen.....	23
Abbildung 15: Entwicklung 5G xTCU Telematik Gateway	24
Abbildung 16: Anpassung der Linienführung.....	26
Abbildung 17: Kombination aus Technologie- und Angebotsszenarien	29
Abbildung 18: Abbildung des Untersuchungsraums Waiblingen im Verkehrsnachfragemodell	30
Abbildung 19: Bürgerwerkstatt in der Stadt Waiblingen im April 2022	32
Abbildung 20: Infotag beim Berufsbildungswerk in der Stadt Waiblingen im September 2022	33
Abbildung 21: Drei meistgenannten positiven Probandenaussagen	34
Abbildung 22: Drei meistgenannten negativen Probandenaussagen	34
Abbildung 23: Workshop zur Aufnahme von Anwendungsfällen automatisierten Fahrens im ÖV	36
Abbildung 24: Publikationen zum autonomen Fahren im Überblick	37
Abbildung 25: Ausschnitt Pressearbeit aus Google News	52
Abbildung 26: Werbematerial zur Ansprache von Probanden	53



©Kommunikationsbüro Ulmer GmbH

Impressum

Hochschule Esslingen

University of Applied Sciences

Kanalstraße 33 | 73728 Esslingen am Neckar

Telefon +49 711 397 49 | Fax +49 711 397 3100

info@hs-esslingen.de | www.hs-esslingen.de