

Erfahrungen aus den Testfeldern und Reallaboren
in Baden-Württemberg

Vernetzte Infrastrukturen für automatisiertes und vernetztes Fahren

 Empfehlungspapier der AG Vernetzte Testfelder AVF BW

Präambel

Das vorliegende Dokument stellt einen Diskussionsbeitrag zum Thema „Vernetzte Infrastrukturen für automatisiertes und vernetztes Fahren“ der Arbeitsgruppe „Vernetzte Testfelder AVF BW“ dar. Der Diskussionsbeitrag umfasst die bisherigen Erfahrungen und Erkenntnisse der AG-Mitglieder zu vernetzten Infrastrukturen im Zusammenhang mit dem Thema automatisiertes Fahren. Vertreten sind folgende Testfelder und Reallabor-Projekte: Testfeld Autonomes Fahren Baden-Württemberg (TAF BW), Testfeld Friedrichshafen für automatisiertes und vernetztes Fahren, Testfeld Ulm, Reallabor RABus, Reallabor AMEISE.

Die Erfahrungen beziehen sich auf die gewonnenen Erkenntnisse aus diversen Projekten und dem Aufbau von Infrastrukturen für Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten. Mitunter wurden die Infrastrukturen zur Beantwortung spezifischer Forschungsfragen installiert. Die Erkenntnisse sind somit nicht allgemeingültig übertragbar. Zudem lassen sich nur eingeschränkt Implikationen auf die Installation und den Betrieb vernetzter Infrastrukturen abseits von Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten ableiten.

Inhaltsverzeichnis

Präambel	2
Einleitung	4
AVF in Baden-Württemberg	5
Vernetzte Infrastrukturen für AVF – Erfahrungen aus Baden-Württemberg	9
Erfahrungsbericht der AG Vernetzte Testfelder AVF BW	10
Handlungsbedarfe	15
Referenzen	17
Teilnehmer:innen der AG	17
Impressum	18

Einleitung

Automatisiertes und vernetztes Fahren (AVF) im Kontext kooperativer, vernetzter und automatisierter Mobilitätssysteme birgt zahlreiche Chancen zur Verbesserung von Verkehrssicherheit und -effizienz sowie für die Reduktion von Klimawirkungen im Verkehr. Zudem gilt AVF als Wachstumsmarkt und stellt als zukunftsweisende Technologie der Mobilität einen wesentlichen Wirtschaftsfaktor für den Automobilstandort Baden-Württemberg dar. Vor diesem Hintergrund fördert das Land Baden-Württemberg zahlreiche Aktivitäten rund um AVF im Land. Im Rahmen des Strategiedialogs Automobilwirtschaft BW beschloss das Land Baden-Württemberg eine Strategie zur automatisierten und vernetzten Mobilität.¹

Automatisiertes Fahren zielt auf eine sukzessive Reduktion des menschlichen Einflusses in der Fahrzeugsteuerung und der Verantwortung ab, wohingegen vernetztes Fahren durch einen Informationsaustausch zwischen Fahrzeugen und weiteren Verkehrsteilnehmer:innen oder Infrastrukturen auf eine Steigerung von Verkehrssicherheit und Effizienz abzielt. Das vorliegende Dokument zielt auf automatisierte und vernetzte Fahrzeuge gleichermaßen ab. Vernetzte Infrastrukturen („cooperative intelligent transport systems“, kurz: C-ITS) zielen sowohl auf automatisiertes als auch auf vernetztes Fahren ab, da sowohl die Automatisierung der Fahrfunktionen unterstützt als auch ergänzende Informationen zur Sicherheits- und Effizienzsteigerung übermittelt werden. Über Sensorik im öffentlichen Straßenraum besteht die Möglichkeit, Fahrzeuge und Verkehrsteilnehmer:innen und damit Verkehrssituationen aus einer standortspezifisch definierten, vorteilhaften, zumeist die Verkehrsszene weit überblickenden Positionierung wahrzunehmen. Weitere Informationen, bspw. über die Phase von Lichtsignalanlagen oder Zustände von Schranken wie auch lokalen Karten, lassen sich mittels Roadside Units direkt an Fahrzeuge übertragen, wodurch der Verkehrsfluss oder auch die Zuweisung von Parkplätzen optimiert werden können. Grundsätzlich bergen vernetzte Infrastrukturen das Potenzial, automatisierte Fahrfunktionen im Sinne der Redundanz zusätzlich abzusichern sowie Effizienz und Verkehrsfluss zu optimieren.

Für eine optimierte Investitionsplanung bezüglich Infrastrukturmaßnahmen stellt sich auf Seiten der öffentlichen Hand die Frage, welche vernetzten Komponenten und Infrastrukturen für ein sicheres und effizientes Funktionieren automatisierten Fahrens notwendig sind. Vor diesem Hintergrund startete das Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg eine Abfrage, die sich an die Mitglieder der AG Vernetzte Testfelder AVF BW richtete. Darin vertreten sind drei Testfelder und zwei Real-labor-Projekte zum AVF in Baden-Württemberg, die gemeinsam langjähriges praxisrelevantes Wissen zur Umsetzung von Projekten zum automatisierten Fahren aufweisen. Im Rahmen der Diskussion wurden die Grenzen der Übertragbarkeit von Erkenntnissen aus Forschungs- und Entwicklungsprojekten auf eine flächendeckende Ausstattung im Realbetrieb erörtert, daraus abgeleitet wurde unter anderem der Bedarf zielgerichteter Untersuchungen zur genannten Fragestellung formuliert. Das vorliegende Dokument fasst die Erfahrungen der Testfeld- und Projektverantwortlichen im Bereich Vernetzte Infrastrukturen für automatisiertes Fahren in Baden-Württemberg zusammen. Die Erkenntnisse vermitteln einen Einblick in den aktuellen Stand der Forschung und Entwicklung, der sich fortwährend weiterentwickelt. Die vorliegenden Erkenntnisse werden in aggregierter Form dargestellt und stellen einen Diskussionsbeitrag dar.

¹ Strategie zur automatisierten und vernetzten Mobilität:
https://www.e-mobilbw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Broschueren/SDA_Strategie_zur_automatisierten_und_vernetzten_Mobilitaet.pdf

AVF in Baden-Württemberg

Mit zahlreichen innovationsstarken Unternehmen und kommunalen Akteuren finden sich in Baden-Württemberg drei Testfelder zum AVF, die eine umfassende vernetzte und digitale Infrastruktur zum Erproben und Unterstützen vernetzter und automatisierter Fahrfunktionen aufweisen. Spezifische Fragestellungen werden im Rahmen zahlreicher Forschungsprojekte auf den Testfeldern bearbeitet. Die Technologie des AVF entwickelt sich zunehmend in Richtung einer Marktimplementierung und geht zeitgleich mit zahlreichen gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Umbrüchen einher. Vor diesem Hintergrund wird die Technologie im Rahmen von Reallaboren umgesetzt, die eine Erprobung und Entwicklung nahe der Gesellschaft und im Realbetrieb ermöglichen.

Testfelder zum AVF

Auf dem **Testfeld Autonomes Fahren (TAF BW)** in Karlsruhe und Heilbronn wird die Erprobung von Technologien und Dienstleistungen für unterschiedliche Anwendungen bezüglich des kooperativen, vernetzten und autonomen Fahrens im realen Verkehrsbetrieb ermöglicht. Das Testfeld umfasst hierbei alle relevanten Straßentypen, von der innerstädtischen Tempo-30-Zone bis hin zu Autobahnabschnitten. An unterschiedlich ausgestatteten Knotenpunkten wird mit Sensorik ausgerüstete und vernetzte Infrastruktur bereitgestellt. Neben der stationären Messtechnik wird auch mobile Referenzmesstechnik erforscht und erprobt, die eine Skalierbarkeit der Technologien erproben lässt. Ein komplexer Verbund aus lokalen Verarbeitungseinheiten („Local Road Units“) mit Rechenzentren erlaubt eine Bereitstellung der Verkehrsdaten vor Ort und in Echtzeit, bspw. mittels Roadside Units, wie auch die Bereitstellung veredelter Daten nach einer Verarbeitung im Backend. Ein Ziel des Testfelds ist die Schaffung bzw. Vereinfachung des Zugangs zu technologischen Schlüsselthemen für Unternehmen, insbesondere für Start-ups und KMU in Baden-Württemberg. Das TAF BW wurde und wird im Rahmen zahlreicher Projekte zum AVF verwendet, wie bspw. das Projekt EVA-Shuttle. Das TAF BW ermöglicht durch ein Betreiberkonzept den langfristigen und nachhaltigen Zugang zu Technologien und Dienstleistungen im Bereich AVF.

Das **Testfeld Ulm** beinhaltet eine umfassend mit vernetzter Infrastruktursensorik ausgestattete Kreuzung in Ulm-Lehr sowie eine Kreuzung mit vernetzter Lichtsignalanlage. Im Rahmen diverser Projekte, wie bspw. MEC-View, ICT4CART und LUKAS, wurden und werden Fragen der Unterstützung vernetzter und ggfs. automatisierter Fahrzeuge sowie verletzlicher Verkehrsteilnehmer:innen analysiert. Darüber hinaus werden, u.a. in einem Testmobilfunknetz, auch zugehörige Fragestellungen der Kommunikationstechnik bearbeitet. Das Testfeld Ulm beschäftigt sich dabei auch mit der Frage nach einer geeigneten Systemarchitektur, die möglichst die Gleichzeitigkeit unterschiedlicher Kommunikationsmittel, bspw. LTE/5G-Mobilfunk und Ad-hoc-Netzwerke wie ITS-G5, unterstützt.

Das **Testfeld Friedrichshafen für automatisiertes und vernetztes Fahren** umfasst eine Ausstattung ausgewählter Ampeln mit Roadside Units sowie eine Aufrüstung des städtischen Verkehrsrechners. Zudem werden verschiedene Straßentypen abgedeckt. Auf dem Testfeld in Friedrichshafen finden die Projekte RABus und ALFRIED statt.

Reallabore zum AVF

Im Rahmen des Reallabor-Projektes „**RABus – Reallabor für den Automatisierten Busbetrieb im ÖPNV in der Stadt und auf dem Land**“ wird mit elektrisch betriebenen Busshuttles die Entwicklung hin zum autonomen Level 4 erforscht und real erprobt. In Mannheim soll mit automatisierten Shuttle-Bussen auf der sog. ersten bzw. letzten Meile das ÖPNV-Angebot verbessert und die Attraktivität gesteigert werden. Der Fokus dieses Reallabors liegt auf der schrittweisen Umsetzung eines Betriebs ohne Fahrzeugbegleitperson. In Friedrichshafen ist geplant, auf einer festen Route die Innenstadt mit dem Klinikum zu verbinden. Das Befahren von Überlandstraßen mit akzeptablen Geschwindigkeiten bildet hierbei den Schwerpunkt dieses Reallabors.

Das Reallabor-Projekt „**AMEISE – Automatisierter Linienbus in Waiblingen/Ameisenbühl**“ widmet sich im Schwerpunkt der Kostenermittlung sowie Wirtschaftlichkeitsrechnung (Methode und Beispielrechnung). Darüber hinaus werden Akzeptanz und Verhalten, vor allem in Bezug auf die wichtigen Nutzergruppen Schülerverkehr und mobilitätsbehinderte Personen, betrachtet. Ziele des Projektes sind die Entwicklung von ein bis zwei kleinen Fahrzeugen von Level 0 auf Level 4, die Erstellung der IT- und straßenseitigen Infrastruktur und die Erprobung auf einer neuen Buslinie. Es werden Geschwindigkeiten über 25 km/h betrachtet. Ergänzend werden Fragen des Datenflusses und Open Data bearbeitet.

Strategie zur automatisierten und vernetzten Mobilität

Im Rahmen des Strategiedialogs Automobilwirtschaft BW wurde eine Strategie zur automatisierten und vernetzten Mobilität als Grundlage künftiger Aktivitäten der Landesregierung erarbeitet. Diese verfolgt die zwei Oberziele, einerseits die Mobilität von Menschen und Gütern zu verbessern sowie andererseits Forschungs-, Innovations-, Wertschöpfungs- und Beschäftigungspotenziale in Baden-Württemberg zu stärken. Eine der empfohlenen Maßnahmen fokussierte die Förderung von Reallaboren mit diversen Akteuren, was mit der Förderung der Reallabore RABus und AMEISE umgesetzt wurde. Eine weitere Maßnahme besteht in der **Stärkung bestehender Forschungsinfrastrukturen zum automatisierten und vernetzten Fahren.**

AG Vernetzte Testfelder AVF BW

Vor dem Hintergrund zahlreicher Aktivitäten zum AVF in Baden-Württemberg und des Anspruchs der Landesregierung, Erkenntnisse aus öffentlich geförderten Projekten optimal zu vernetzen, Synergien zu erkennen und mögliche Bedarfe zu erfassen, wurde im Jahr 2021 die Arbeitsgruppe „**Vernetzte Testfelder AVF BW**“ gegründet. Unter der Koordination der Landesagentur e-mobil BW findet hier ein Austausch zwischen den vorgestellten Testfeldern und Reallaboren statt. Ziele der AG sind der Wissensaustausch, die Identifikation gemeinsamer Bedarfe sowie die Kommunikation von Handlungsempfehlungen an Landes- und Bundesakteure.

Notwendige Infrastrukturen für AVF

Im Rahmen der Verkehrsministerkonferenz März 2020 wurde eine Bund-Länder-Arbeitsgruppe (B-L-AG) zum Thema „Koordination der Testfelder für Autonomes Fahren und harmonisierte Entwicklung der digitalen Infrastruktur der Verkehrswege (Straße, Schiene, Wasserwege)“ beschlossen. Diverse Themen wurden aus Sicht der Teilnehmenden der B-L-AG als prioritär für die Weiterentwicklung der Technologie genannt, darunter das Thema notwendiger Infrastrukturen für AVF-Anwendungen.

Daraufhin wurde die AG Vernetzte Testfelder AVG BW mit dem Thema „**Vernetzte Infrastrukturen**“ betraut. Die bereits gesammelten Erfahrungen der Testfelder und Reallabore sollen zusammengeführt und einem breiten Publikum zur Verfügung gestellt werden. Zu diesem Zweck wurde von Seiten des Ministeriums für Verkehr BW eine entsprechende Abfrage initiiert, deren Auswertung im Rahmen des vorliegenden Dokuments vorgelegt wird. Die gewonnenen Erkenntnisse stellen einen Erfahrungsbericht aus langjährigen Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten dar. Die Erkenntnisse sind als spezifischer Ausschnitt zu verstehen, nicht vollständig und nur bedingt auf andere Gebietskulissen übertragbar. Es wurden projektspezifische Fokusfelder betrachtet, wobei sich Erkenntnisse bspw. aus dem Bereich ÖPNV nur bedingt auf Privatfahrzeuge übertragen lassen. Nichtsdestotrotz bilden die Erfahrungen eine wertvolle Grundlage für den Wissenstransfer sowie für die Identifikation weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarfe.

Vernetzte Infrastrukturen für AVF in Baden-Württemberg

Autonomes Fahren wird auf verschiedenen politischen Ebenen des Landes Baden-Württemberg bereits als wichtiger Baustein für die Verbesserung der Attraktivität des ÖPNV sowie des Liefer- und Güterverkehrs gefördert. Neben Handlungsempfehlungen zum allgemeinen Vorgehen wird hier auch auf die Infrastruktur als Ebene des autonomen Fahrens verwiesen. Der Koalitionsvertrag der aktuellen Landesregierung adressiert den Bedarf vernetzter Infrastrukturen für AVF. Es wird angemerkt, dass bereits heute sowohl „bei der Planung und Realisierung von Verkehrsinfrastrukturvorhaben als auch bei der Vernetzung von Verkehrsträgern“ die Möglichkeit des automatisierten Fahrens mitgedacht werden soll.

Der Strategiedialog Automobilwirtschaft BW (SDA) betrachtete im Rahmen diverser Arbeitsgruppensitzungen zum autonomen ÖPNV und Liefer-/Güterverkehr den Bedarf vernetzter Infrastrukturen. Die daraus resultierenden Empfehlungspapiere beinhalten spezifische Punkte, wie den Aufbau von Infrastruktur und dessen Unterhaltung, inkl. möglicher Veränderungen an Straßenverkehrszeichen oder Roadside Units. Die Empfehlungspapiere verweisen auf den Bedarf einer Standardisierung der vernetzten Infrastruktur und der Vereinfachung der Kommunikation zwischen Fahrzeugen.²

² Autonomes Fahren im Liefer- und Güterverkehr, Empfehlungspapier der AG-B im TF5: https://vm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/Dateien/PDF/PM_Anhang/210505_ANHANG_Empfehlungspapier_AG_B_autonomes_Fahren_im_LGV.pdf
Autonomes Fahren im ÖPNV, Empfehlungspapier der AG-B im TF5: https://vm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/Dateien/PDF/200512_Empfehlungspapiere_TF_5_Autonomes_Fahren_final.pdf

Vernetzte Infrastruktur

Für AVF werden bestimmte Fähigkeiten der Straßenverkehrsinfrastruktur benötigt, die sich in vernetzte und nicht vernetzte Komponenten untergliedern lassen. Der Fokus der vorliegenden Infrastrukturbetrachtung liegt auf der **vernetzten Infrastruktur**. Diese vernetzte Verkehrsinfrastruktur umfasst einerseits Komponenten, die lediglich Informationen übermitteln, und andererseits Komponenten, die selbst Informationen erfassen. Eine Roadside Unit bspw. übermittelt primär Informationen, kann aber prinzipiell auch als virtueller Sensor zum Empfangen von Cooperative Awareness Messages (CAM), wie sie von vernetzten Fahrzeugen ausgesendet werden, eingesetzt werden und somit weitere Informationen (Bewegungspfade, Signalisierungszustände etc.) der Fahrzeuge erfassen.

Roadside Units (RSU): eine bspw. über IEEE802.11p und ETSI ITS-G5 funkende Komponente. RSU werden an bestehenden Infrastrukturkomponenten wie bspw. Lichtsignalanlagen angebracht, um bestimmte Informationen wie die Phase der Lichtsignalanlage, aber auch lokale Karten (MAP) zu übermitteln. Darüber hinaus kann eine RSU event-gesteuert zusätzliche Informationen wie bspw. Ankündigungen von Baustellen, Hinweise auf Verkehrsstörungen oder ähnliches kommunizieren und ist dafür nicht zwangsläufig an feste Lichtsignalanlagen gebunden.

Um Informationen aktiv aus der Umwelt zu erfassen, werden **Sensoren** oder **Kameras** verwendet. Die in einer **Sensor Processing Unit** erfassten Informationen werden entweder an einen Edge Server übermittelt, welcher die Sensordaten prozessiert und daraufhin an die vernetzten Verkehrsteilnehmer:innen (und zur Speicherung oder zeitunkritischen Verarbeitung ggf. zusätzlich an ein Backend) überträgt. Alternativ können die Sensor Processing Units die Daten auch direkt an vernetzte Fahrzeuge oder (für latenzunkritische Anwendungen) direkt an ein Backend übertragen. Die Nomenklatur für solche Sensor Processing Units ist daher auch nicht einheitlich definiert. Im Kreis der AG-Mitglieder wird mitunter von „Local Road Unit“ oder „Multi-access Edge Computing Unit“ gesprochen.

Für eine Koordination des Gesamtverkehrsgeschehens, bspw. im Sinne eines Verkehrsmanagements, werden sog. **Leitzentralen** verwendet. Diese übertragen Anweisungen und Informationen an vernetzte Infrastrukturen wie bspw. RSU, die die Informationen wiederum an Verkehrsteilnehmer:innen und Fahrzeuge übertragen. Ein solches System basiert häufig auf dem ETSI-ITS-G5-Nachrichtenstandard. Alternativ ist eine Übertragung der Informationen über das Mobilfunknetz möglich. Auf Seiten der Fahrzeuge finden sich die jeweiligen Übertragungsäquivalente: eine On-board Unit für die Übertragung mittels IEEE 802.11p und/oder eine SIM-Karte in einem Modem zur Übertragung mittels Mobilfunk.

Im Bereich des AVF ermöglichen Sensoren und Kameras eine infrastrukturseitige Erfassung von Fahrzeugen und Verkehrsteilnehmer:innen, bspw. an schlecht einsehbaren Straßenabschnitten, und erhöhen somit die Verkehrssicherheit. RSU bieten die Möglichkeit, Grünphasen von Lichtsignalanlagen direkt an Fahrzeuge zu übermitteln und somit den Verkehrsfluss zu optimieren. Auf Ebene des Gesamtverkehrssystems wird durch die Übermittlung von Informationen aus einer Leitzentrale über RSU oder Mobilfunk eine gebündelte Koordination des Verkehrsgeschehens möglich. Dies erhöht die Effizienz im Verkehrssystem und reduziert somit Umweltwirkungen und Fahrtzeiten.

Das Land ist zuständig für die Instandhaltung und den Ausbau des Landes- und Bundesstraßennetzes. Darüber hinaus liegt es in der Verantwortung der öffentlichen Hand, die Sicherheit und Effizienz im Verkehrssystem aufrechtzuerhalten und wenn möglich zu erhöhen. Somit ist auf Seiten der Verwaltung ein Aufwand für die Umsetzung von Infrastruktur für automatisiertes Fahren zu erwarten – auf kommunaler sowie auf Landesebene. Das vorliegende Dokument soll Verantwortlichen der verkehrlichen Infrastruktur als Einblick in den Stand der Entwicklung notwendiger vernetzter Infrastrukturen zur Unterstützung automatisierter Fahrfunktionen dienen.

Vernetzte Infrastrukturen für AVF – Erfahrungen aus Baden-Württemberg

Zur Abschätzung des potenziellen Bedarfs vernetzter Infrastrukturen für automatisiertes Fahren sind Erfahrungswerte verschiedener Stakeholder von Bedeutung. Vor diesem Hintergrund starteten die Mobilitätszentrale BW und das Ministerium für Verkehr BW eine Abfrage, die sich mit verschiedenen Aspekten der Infrastruktur für AVF beschäftigt. Diese Abfrage wurde an die Mitglieder der AG Vernetzte Testfelder AVF BW gerichtet.

Bislang lag der Fokus der Projekte innerhalb der AG Vernetzte Testfelder AVF BW auf Themengebieten der Fahrzeugtechnologie und der Businessvalidierung, auf Akzeptanzfragen sowie auf Wirkungen auf den Verkehrsfluss. Die Infrastruktur wurde nach den Anforderungen der Forschungsvorhaben aufgebaut. Hinzu kommt der frühe Entwicklungsstand notwendiger Komponenten und Module der vernetzten Infrastruktur, die nur bedingt am Markt erhältlich sind und teilweise innerhalb der Projekte entwickelt werden mussten. Die somit projektspezifischen Infrastrukturen betreffen bspw. Datenstandards, technische Ausstattung für V2X-Funktionen sowie die Frage nach einer „einheitlichen“ Infrastruktur für eine flächendeckende Umsetzung. Die aktuellen Vorhaben und Projekten basierte Infrastruktur sieht keine Interoperabilität vor. Es ist in Zukunft darauf zu achten, eine flächendeckend interoperable Infrastruktur aufzubauen. Zudem muss standardisierte (Kommunikations-)Technik zum Einsatz kommen, um dies zu gewährleisten.

Die Mitglieder der AG Vernetzte Testfelder AVF BW verfügen über langjährige Erfahrung in der Implementierung vernetzter Infrastrukturen im Zusammenhang mit automatisierten Fahrfunktionen in Forschungsprojekten. Diese Forschungsprojekte wurden innerhalb von Testfeldern und Reallaboren im Realverkehr und -betrieb umgesetzt, weshalb einerseits ein fortgeschrittener Reifegrad im Bereich der Umsetzung anzunehmen ist, andererseits eine prototypische Umsetzung aufgrund des Forschungscharakters der Umsetzungen. Somit sind die Ergebnisse keinesfalls repräsentativ und nicht auf alle Verkehrsträger und Anwendungsfälle übertragbar. Die Erkenntnisse wurden innerhalb von Forschungsprojekten gewonnen und können bestimmte Aspekte nicht abbilden, wie bspw. eine flächendeckende, interoperable Implementierung der Infrastrukturen oder die Übertragbarkeit notwendiger vernetzter Infrastrukturen aus Sicht des ÖPNV im Vergleich zum PKW.

Die Abfrage umfasst die zwei Dimensionen Technologie und Organisation. Die Fragebögen wurden von den Mitgliedern der AG Vernetzte Testfelder AVF BW ausgefüllt und anschließend kategorisch ausgewertet. Die Kategorien der technologischen Dimension umfassen die IT-Systemarchitektur, deren Komponenten sowie Hürden der infrastrukturellen Implementierung. Die organisatorische Dimension beinhaltet die generelle Organisation und deren finanzielle und rechtliche Herausforderungen.

Erfahrungsbericht der AG Vernetzte Testfelder AVF BW

Vernetzte und intelligente Infrastrukturen wurden im Allgemeinen für die folgenden drei Anwendungsfelder implementiert:

- Evaluation von prototypischen automatisierten Fahrfunktionen innerhalb von Testfahrten durch Abgleich von Fahrzeugdaten mit Daten aus der Infrastruktur
- Erweiterung des Sensor- und damit Wahrnehmungshorizontes von Fahrzeugen durch Übertragung zusätzlicher (Sensor-)Daten aus der Infrastrukturwahrnehmung
- Datensammlung zur Modellbildung und Algorithmenentwicklung

Die Ergebnisse der Abfrage werden im Folgenden aggregiert und aufbereitet dargestellt. Zunächst werden die Erfahrungen bezüglich der technologischen Dimension analysiert, im Weiteren folgt die organisatorische Dimension.

IT-Systemarchitektur

In der IT-Systemarchitektur wurden Aspekte der Fahrzeug-zu-Infrastruktur-Kommunikation, verwendete Datenpakete und -standards, notwendige Entwicklungen und verwendete Datenattribuierungen beleuchtet. Im Bereich der Fahrzeug-zu-Infrastruktur-Kommunikation wird aus zwei Testfeldern und in zwei Reallabor-Projekten primär auf Ad-hoc-Netzwerke wie unter anderem WLAN802.11p oder auch C-V2X unter Nutzung der ITS-G5-definierten Nachrichtenprotokolle zurückgegriffen. Die Kommunikation über Mobilfunk wird lediglich auf einem Testfeld vorrangig verwendet. Unabhängig von der Übertragungstechnik wird überwiegend der europäische Standard des ETSI verwendet. Auch die Datendefinition erfolgt nach ETSI und umfasst Datenpakete nach SPATEM³, MAPEM⁴ und CAM⁵, aber auch im Standardisierungsprozess befindliche Nachrichten wie CPM⁶ und VAM⁷ sowie MCM⁸. Die Datenpakete sind zum gegebenen Stand noch nicht vollständig standardisiert. Ihre Entwicklung, Erprobung und Standardisierung werden jedoch international vorangetrieben. Die verwendeten Standards sind zwar vergleichbar, jedoch kann sich die Güte der Daten selbst unterscheiden; mitunter sind einige Felder

³ Signal, Phase and Timing Extended Message.

⁴ Map Extended Message.

⁵ Cooperative Awareness Message.

⁶ Collective Perception Message.

⁷ Vulnerable Road User (VRU) Awareness Message.

⁸ Message Center Monitoring.

der Datenpakete nur optional zu befüllen und für manche der in Forschungsprojekten erprobten Use Cases reichen die vorhandenen Datenfelder nicht aus.

Eine hohe Übereinstimmung der Datenattribuierung besteht in der Erfassung des Zustands von Lichtsignalanlagen (aktuell und zukünftig), ihrer Zeitstempel und IDs. Je nach Projektziel werden die Datenattribute dann nach eigenentwickelten Protokollen angepasst. RABus verwendet bspw. Datenattribute, um den Bremsvorgang der People Mover an Lichtsignalanlagen mit einem Fokus auf CO₂-Einsparungen durchzuführen, das TAF BW hingegen verwendet Datenattribute, um aus Zeitstempeln und Fahrzeugposen ein möglichst konsistentes Umgebungsbild der Verkehrssituation abzuleiten.

Komponenten

Bezüglich der verwendeten Komponenten wird zwischen on-board (im Fahrzeug) und off-board (außerhalb des Fahrzeugs) unterschieden. In den von den Projekten verwendeten Fahrzeugen sind zumeist LiDAR-Sensoren, Radare, Kameras und verbaute ITS-G5-On-board-Units, mitunter auch LTE-/5G-Modems für die Kommunikation mit vernetzter Infrastruktur verbaut.

Im Bereich vernetzter Infrastruktur wurden RSU an Lichtsignalanlagen, Sensoren an Masten (Mono- und Stereokameras, Radare, LiDARe), aber auch DFI-Anzeigen⁹ eingerichtet. Zur Prozessierung der aus Sensoren erfassten Informationen wurden weitere Einheiten errichtet, die die Informationen an ein Backend übermitteln. Solche Einheiten können ergänzend selbst mit einer Roadside Unit oder einem Mobilfunkmodem ausgestattet sein, um Informationen in die vernetzten Infrastrukturen oder an Fahrzeuge zurückzuübertragen.

Die vorliegende Verkehrssituation und die adressierte Vernetzung und Unterstützung durch automatisierte Fahrfunktionen bedingen die örtliche Ausstattung des Straßenverlaufes durch eine smarte Infrastruktur, im Konkreten die Anzahl wie auch den Typ der zu verbauenden Sensorik-, Rechner- und Kommunikationskomponenten. Die Platzierung der vernetzten Komponenten, insbesondere der prozessierenden und bündelnden Einheiten, in der Umgebung wird basierend auf den örtlichen Verhältnissen in Bezug auf verfügbare Fläche und Breitbandanbindung gewählt. Sensorik wird insbesondere in Bereichen angebracht, die für automatisierte Fahrzeuge unübersichtliche und verhältnismäßig herausfordernde Situationen im Straßenverkehr darstellen. Auch hier ist der spezifische Anwendungsfall entscheidend; als Beispiele werden Kreuzungen in scharfen Kurven oder Haltestellen genannt. Lichtsignalanlagen bieten im Falle der Vernetzung eine gute Ausgangslage für eine weitere Ausstattung mit Sensorik oder Kommunikationseinheiten, da diese meist schon an infrastrukturell schwierigen Stellen verbaut sind, um den Verkehr besser regeln zu können.

Integrierte Komponenten für die intelligente Infrastruktur, die bspw. direkt die sensorische Verkehrserfassung und Datenbearbeitung sowie die notwendige latenzarme Kommunikation bereitstellen, sind bisher noch nicht am Markt verfügbar. Daher sind derzeit für die Testfelder und Projekte selbst Lösungen aus einzelnen Teilkomponenten zu entwickeln.

⁹ Dynamische Fahrgastinformation.

Erfahrungen aus den Aufbauphasen haben gezeigt, dass einige Komponenten bislang nicht mit den notwendigen Funktionen am Markt verfügbar sind. Beispielsweise wird für eine Kommunikation aus der Infrastruktur in Fahrzeuge hinein eine bestimmte Latenz benötigt, die im Bereich von Kameras bislang nur für On-board Units entwickelt wurde. Off-board-Kameras müssen neben der Latenz zusätzlich Anforderungen an Robustheit und Witterungsschutz erfüllen und sind bisher noch nicht oder nicht zu skalierungsfähigen Preisen am Markt vorhanden.

Infrastrukturelle Hürden bei der Implementierung

Die Ausgangslage besteht in einer fallabhängigen Installation vernetzter Infrastruktur, die teilweise eine Integration in bestehende Verkehrsinfrastrukturen und teilweise neue Installationen voraussetzt. Organisatorisch (auch entstehen dadurch technische und regulatorische Vorteile) ist es hilfreich, wenn an bereits bestehende Infrastruktur angeknüpft werden kann, bspw. eine Verknüpfung von RSU mit Steuergeräten von Lichtsignalanlagen oder die Verwendung bestehender Infrastruktur zur Anbringung von Sensorik.

Der Aufbau der Infrastruktur wirft aus Sicht der Befragten drei große Fragestellungen auf, die im Voraus geklärt werden sollten. Wichtig ist zunächst die Verteilung in der Fläche bzw. im öffentlichen Raum. Diese Fragestellung kann z. B. bei Wendeschleifen für Busse und aufgrund der jeweiligen technischen Realisierbarkeit auftreten. Es ist außerdem möglich, dass vernetzte Komponenten auf privatem Gelände installiert werden müssen, wodurch rechtliche Fragen der Haftung auftreten. Sofern die Sensorik Verkehrsteilnehmer:innen und damit personenbezogene Daten erfasst, müssen datenschutzrechtliche Aspekte bereits in der Planungsphase bedacht werden. Insbesondere sollten hierbei entsprechende Anonymisierungskonzepte zur Anwendung kommen.

Einen weiteren Faktor stellen die bestehende Ausstattung und die notwendige Aufrüstung der Straßen selbst dar. Die Umgebung und darauf basierende notwendige Maßnahmen sind erst nach genauer Prüfung vor Ort abzusehen. Zuletzt ist zu prüfen, wer für die Ausstattung der Straße zuständig ist. Situativ muss entschieden werden, ob die Maßnahme für die Ausstattung der Straße aus Projektmitteln erfolgen kann oder aber von der öffentlichen Hand zu tragen ist. Dies hängt bspw. hängt der Entscheidung ab, inwieweit im Rahmen von Projekten installierte Komponenten nach Ablauf des Projektes weiterverwendet werden sollen. Gleiches gilt für die (möglicherweise zu installierenden) Roadside Units. Dies betrifft auch Fürsorge, Wartung und Instandhaltung der Infrastrukturkomponenten (Sensorik, Vernetzungskomponenten usw.) nach Ablauf der Projekte, um die Komponenten mit der Weiterentwicklung neuer Standards und Komponenten-Firmwares betriebsbereit zu halten. Es ist davon auszugehen, dass Fahrzeuge diese Weiterentwicklungen in Form von Steuergeräte-Updates weiterhin über entsprechende Wartungen sowie Instandhaltungsintervalle und -zyklen erhalten werden. Daher muss die Infrastruktur ebenfalls kontinuierlich upgedatet und gewartet werden.

Je nach Komponente, Leistungsfähigkeit und Verfügbarkeit werden die Teile entweder selbst entwickelt oder extern beschafft. Gründe hierfür liegen im noch nicht vorhandenen technologischen Reifegrad, sodass wenig Komponenten unmittelbar erworben werden können. Zudem erfüllen am Markt verfügbare Optionen oftmals nicht die spezifischen Bedarfe für

die jeweiligen Forschungsprojekte. Daher müssen verschiedene Komponenten modifiziert werden, um einen sicheren und reibungslosen Betrieb zu gewährleisten. Beispiele hierfür sind intelligente Sensoren mit inkludierter Sensorverarbeitung, für die zwar erste Modelle am Markt existieren, deren Latenzeigenschaften aber z. B. für den Anwendungsfall kollaborative Perception nicht ausreichend sind. Herkömmliche verfügbare Vermessungssensoren wie LiDAR und RADAR, die im Fahrzeug weite Verbreitung finden, sind durch ihre an die Fahrzeugperspektive angepasste Konfiguration oft nicht für Infrastruktur und die geänderte Perspektive einsetzbar oder ihre elektrische und datenlogische Anbindung gestaltet sich durch fehlende Interfaces wie z. B. im öffentlichen Raum als Herausforderung.

Das Beispiel der Installation von Sensorik an unübersichtlichen Straßenabschnitten verdeutlicht dieses Vorgehen. Aufgrund der angesprochenen Latenzen wird bei der Übertragung der Informationen eine hohe Bandbreite benötigt, die eine Anbindung über Glasfaserleitungen voraussetzt. Hierbei müssen Abstimmungen mit verschiedenen Stakeholdern (z. B. örtliches Tiefbauamt, Telekommunikationsanbieter, Bundesnetzagentur) getroffen werden. Die Installation der Sensorik muss so weit abgestimmt werden, dass eine Kommunikation zwischen dem Sensor, der Sensordaten prozessierenden Einheit und dem Backend sowie mitunter zu einer RSU und darüber zur On-board Unit in Fahrzeugen sichergestellt ist. Nur so kann ein sicherer Betrieb gewährleistet werden. Zuletzt sollten Komponenten im öffentlichen Raum so installiert werden, dass sie vor Vandalismus, Wettereinfluss etc. geschützt sind und keine Gefährdung oder Behinderung darstellen. Hierfür ist eine genaue Abstimmung mit den zuständigen Stellen nötig.

Organisatorische Dimension

Im Folgenden werden die Erfahrungen zu organisatorischen Fragestellungen erläutert, die neben grundsätzlichen Fragestellungen insbesondere finanzielle und rechtliche Aspekte beleuchten.

Die beispielhafte Ausführung zur Installation von Sensorik demonstrierte mögliche organisatorische Ausprägungen. Bei der Implementierung von Infrastrukturmaßnahmen für autonomes Fahren müssen diverse Stakeholder in die Abstimmung eingebunden werden. Als Hauptansprechpartner nennen einige Projekte die jeweilige Stadtverwaltung am Standort des Projektes, insbesondere das Tiefbauamt sowie die untere Verkehrsbehörde. Ferner können ÖPNV-Betreiber als Vermittler zwischen den Parteien auftreten. Für besondere Anliegen sind Infrastrukturbetreiber ein wichtiger Ansprechpartner, z. B. die örtlichen Stadtwerke als Betreiber und Umsetzer einer Glasfaserinfrastruktur.

Für eine Umsetzung hochautomatisierter und vernetzter Fahrfunktionen waren zunächst zahlreiche Anschaffungen notwendig. Zunächst mussten die automatisierten Fahrzeuge selbst und die benötigten On-board Units angeschafft werden. Auf Seiten der vernetzten Infrastruktur wurden Sensoren, RSU, Gehäuse/Schaltschränke sowie weitere Komponenten und Systeme aus den Bereichen Recheneinheiten, Sensorik und Kommunikationstechnik angeschafft. Aufgrund der projektspezifischen Anforderungen und Bedarfe (wie freie datenlogische Schnittstellen usw.) sind manche Komponenten nicht einfach am Markt verfügbar und mussten nach intensiver Abstimmung, mitunter mit Anbietern aus dem Ausland, erworben werden. In einem speziellen Fall mussten gar Fragen der internationalen Sicherheit überwunden werden.

Finanzielle Aspekte

Finanzielle Aspekte dürfen bei der Umsetzung von Projekten im Bereich automatisierter Fahrfunktionen nicht außer Acht gelassen werden. Bei einigen der AG-Mitglieder wird ein Großteil der aufgewendeten Haushaltsmittel in den Aufbau notwendiger Infrastrukturen investiert. Diese umfassen nicht allein vernetzte Komponenten im öffentlichen Straßenraum, sondern darüber hinaus mögliche Tiefbauarbeiten zum Anschluss von Glasfaserleitungen und Ertüchtigungen der Fahrbahnmarkierung. Aufgrund der Neuheit des erforschten Ansatzes ist ein erheblicher Anteil der Mittel in Personalkosten und damit in die Entwicklung und Evaluation der Funktionen und Komponenten geflossen.

Die Aufwendung der Mittel wird auf Projektpartner und mitunter die öffentliche Hand aufgeteilt. Langfristige Investitionen in die Straßenverkehrsinfrastruktur, die über die Projektdauer hinaus verwendet werden sollen, werden oftmals von kommunalen Akteuren gegenfinanziert. Laufende Kosten (bspw. Strom, Internet, Nutzungs- und Lizenzgebühren) werden in den meisten Fällen von den Projekten und teilweise von den kommunalen Akteuren getragen. Im Fall des TAF BW werden die laufenden Kosten durch Nutzung der Dienstleistungen des Testfeldes getragen. Das TAF BW verfolgt ein solches Geschäftsmodell zur Sicherstellung eines nachhaltigen Betriebs.

Als wesentliche Herausforderung bei der Organisation der Finanzen werden zwei Punkte genannt: die langfristige und eng kalkulierte Planung sowie Investitionskosten. Die anfallenden Ausgaben in den Projekten sind mitunter sehr dynamisch. Verkehrliche Änderungen und daraus resultierende Änderungen können sich auf die Planung von Projekten auswirken. Aus diesem Grund ist das Auffinden von Synergien in der bestehenden Infrastruktur ein wichtiger Baustein in der Planung, um Kosten zu minimieren.

Aussagen über anfallende Investitionskosten können unter dem Forschungscharakter der Testfelder zum gegebenen Zeitpunkt nicht pauschal getroffen werden. Die Gründe hierfür liegen in stark individuellen Anforderungen der Projekte und einem geringen technologischen Reifegrad der unterschiedlichen Sensorik sowie der Rechen- und Kommunikationskomponenten, wodurch zumeist keine Standardkomponenten auf dem Markt verfügbar sind. RSU für Lichtsignalanlagen sind hingegen zum heutigen Zeitpunkt kommerziell und somit für Kommunen verfügbar. Die Übertragbarkeit zur Ausstattung eines Gesamtsystems für automatisierte Fahrzeuge im flächendeckenden Realbetrieb ist hierbei nicht gegeben, da es sich um Installationen im Forschungs- und Entwicklungskontext handelt.

Rechtliche Aspekte

Rechtliche Fragen stellen einen weiteren Bestandteil der organisatorischen Dimension dar. Eine Herausforderung liegt im Datenschutzrecht, insbesondere beim Einsatz von Kameras, da für die Verarbeitung personenbezogener Daten eine Rechtsgrundlage erforderlich ist, wobei eine Einwilligung der von der Kamera erfassten Personen in der Regel wenig praktikabel sein wird. Daher sollten allen voran Anonymisierungskonzepte (wie auf dem TAF BW), die die automatisierte Datenverarbeitung ermöglichen, eingesetzt werden. Hierbei muss jedoch betont werden, dass auch bei nur kurzzeitigen Verarbeitungen von

personenbezogenen Daten der Anwendungsbereich des Datenschutzrechts eröffnet bleibt, sodass die datenschutzrechtlichen Prinzipien umgesetzt werden müssen. Dabei stellt die Umsetzung der Informationspflichten im öffentlichen Raum eine besondere Herausforderung dar, da die Art und Weise der Umsetzung nicht zu einer Beeinträchtigung der Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs führen darf. Hinzu kommen Haftungsrisiken für Fahrzeug-zu-Infrastruktur-Daten (V2X), z. B. aufgrund von Verlust oder Hacken der generierten bzw. vorhandenen Informationen, die das Fahrzeug zum reibungslosen Ablauf benötigt.

Eine weitere Hürde liegt in der mitunter langen Dauer der Umsetzung von Ausnahmegenehmigungen. Bestimmte Anforderungen (u. a. Haftung und Versicherung) an das menschliche Personal sind zum gegebenen Zeitpunkt noch nicht ausreichend klar definiert und bedürfen der weiteren Auslegung. Beispielsweise beziehen die geplanten Anforderungen an die technische Aufsicht bei fahrerlosem Fahrtbetrieb nicht alle an der Forschung beteiligten Fachrichtungen ein, z. B. Informatiker:innen: Diese dürfen die Systeme zwar programmieren, aber nicht beaufsichtigen. Insoweit besteht noch erheblicher Forschungsbedarf im Zusammenhang mit der vernetzten Infrastruktur.

Handlungsbedarfe

Die resultierenden Handlungsbedarfe unterstützen Projekt- und Infrastrukturverantwortliche bei der Implementierung vernetzter Infrastrukturen für Projekte im Bereich AVF. Sie richten sich nicht an die Bedarfe weiterer Stakeholder-Akteure, wie z. B. aus der Automobilwirtschaft.

Aus technologischer Sicht ist sich vor allem der frühe Entwicklungsstand der verwendeten Komponenten herauszustellen. Zahlreiche Komponenten sind nicht in der notwendigen Funktionalität und/oder Qualität am Markt frei verfügbar und werden zum Teil in Eigenentwicklung angepasst oder mit hohem regulatorischem Aufwand aus dem Ausland importiert. **Eine Förderung von Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten zur Unterstützung der Marktreife notwendiger C-ITS-Komponenten kann diese Hürde langfristig abbauen.**

Aus organisatorischer Sicht können Hürden durch eine **Vereinfachung und Vereinheitlichung der Umsetzungsschritte** bei der Implementierung vernetzter Infrastrukturen abgebaut werden. Ein Leitfadens zur Umsetzung vernetzter Infrastrukturen kann durch eine Beschreibung der wesentlichen Prozessschritte den organisatorischen Aufwand reduzieren. Standortsspezifische Faktoren sollten hierbei stets Beachtung finden. Zur Klärung der Frage der Finanzierung vernetzter Infrastrukturmaßnahmen kann ein Überblick über mögliche Finanzierungsmodelle unterstützen. Darüber hinaus sollten Datenschutz- und Haftungsfragen, auch im Hinblick auf den Austausch von Daten sowie Genehmigungs- und Zulassungsfragen, frühzeitig adressiert werden.

Aufgrund des aktuellen Entwicklungsstandes und der damit einhergehenden Marktvariabilität ist der Aufbau infrastrukturseitiger vernetzter Komponenten mit einem hohen finanziellen Risiko verbunden. Aus diesem Grund sollten im Rahmen von

Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten bereits installierte vernetzte Infrastrukturen optimal genutzt werden. Hierfür sollte **Interoperabilität zwischen Projekten und Testfeldern** herbeigeführt werden, um die Nutzung über Einzelprojekte und spezifische Fragestellungen hinaus sicherzustellen. Beispielsweise könnten Testfeld-übergreifende Projektierungen dahingehend unterstützen, neben den Standardisierungen von V2X-Daten auch weitere Schnittstellen im Bereich automatisiertes und vernetztes Fahren gemeinsam zu betreiben.

Implikationen für die künftige Entwicklung einer vernetzten und automatisierten Mobilität

Vernetzte Infrastrukturen bieten für AVF hohes Potenzial in den Bereichen Verkehrssicherheit und Effizienz und werden auch künftig in der Durchdringung automatisierten und vernetzten Fahrens eine wesentliche Rolle spielen. Die Einbindung vernetzter Infrastrukturen in ein Gesamtsystem der vernetzten und automatisierten Mobilität sowie insbesondere deren Qualität und Quantität sind bislang nicht definiert. In einer Skalierung eines Gesamtsystems stellt sich die Frage des adäquaten Maßes an Ausstattung vernetzter Infrastrukturen, um Fahrzeuginsassen und Verkehrsteilnehmer:innen optimal zu schützen.

Zur Definition dieses künftigen Gesamtsystems sollte bestehende Infrastruktur genutzt und in Bezug auf offene Fragestellungen ausgebaut werden. Hieraus lässt sich künftig definieren, wie vernetzte Infrastrukturen für AVF im Gesamtsystem integriert werden sollen. Die AG Vernetzte Testfelder AVF BW lehnt sich hier an das technologische Reifegradmodell an: Komponenten im Forschungs- und Entwicklungsstadium sollten heute optimal genutzt und ausgebaut werden. Sobald diese vollständig entwickelt und marktreif sind, könnte eine Förderung für die Umsetzung in der Fläche sinnvoll werden. Für bestimmte Komponenten kann eine notwendige Marktreife früher auftreten. Bereits heute sind RSU für Lichtsignalanlagen kommerziell verfügbar und können von Kommunen flächendeckend installiert werden.

Parallel zur technologischen Entwicklung des Gesamtsystems und der Komponenten einer vernetzten Infrastruktur sollte die Frage erörtert werden, an welchen Standorten in Abhängigkeit von intendierten Anwendungen vernetzte Infrastrukturen in bestimmter Qualität und Quantität aufzubauen sind, um AVF sinnvoll zu unterstützen. Eine **Abschätzung zu Standortkriterien bei der Auswahl von Standort und Komponente sowie deren Kosten** kann einen verantwortungsvollen Umgang mit öffentlichen Geldern bereits frühzeitig unterstützen. Eine Gesamtkostenrechnung kann hierbei Unfall-, Umwelt- und Stauvermeidungskosten berücksichtigen.

Referenzen

Buchholz, M.; Müller, J.; Herrmann, M.; Stroheck, J.; Völz, B.; Maier, M.; Paczia, J.; Stein, O.; Rehborn, H. und Henn, R.-W.: „Handling Occlusions in Automated Driving Using a MEC Server-based Environment Model From Infrastructure Sensors“. Zur Veröffentlichung angenommen in: IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine, 2021. Vorab online verfügbar. DOI: 10.1109/MITS.2021.3089743.

Fleck, T., et al.: Towards Large Scale Urban Traffic Reference Data: Smart Infrastructure in the Test Area Autonomous Driving Baden-Württemberg. In: Proceedings of 15th International Conference on Intelligent Autonomous Systems, 2018.

Zipfl, M. et al.: From Traffic Sensor Data To Semantic Traffic Descriptions: The Test Area Autonomous Driving Baden-Württemberg Dataset (TAF-BW Dataset). In: Proceedings of the 23rd International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2020.

Teilnehmer:innen der AG

- Dr.-Ing. Michael Buchholz, Universität Ulm, Testfeld Ulm
- Dr.-Ing. Michael Frey, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Testfeld Autonomes Fahren Baden-Württemberg (TAF BW)
- Gerhard Gumpoltsberger, ZF Friedrichshafen, Testfeld Autonomes Fahren Friedrichshafen
- Celina Herbers, IWT Wirtschaft und Technik GmbH, Testfeld Autonomes Fahren Friedrichshafen
- Alexander Jäggle, Hochschule Esslingen, Reallabor AMEISE

- Marcel Voßhans, Hochschule Esslingen, Reallabor AMEISE
- Dr. Ulrike Weinrich, Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren Stuttgart, Reallabor RABus
- Marc Zofka, Forschungszentrum Informatik (FZI), Testfeld Autonomes Fahren Baden-Württemberg (TAF BW)
- Valeria Kropar, e-mobil BW GmbH
- Niklas Schöllhorn, Ministerium für Verkehr BW

Impressum

Herausgeber und Konzeption der AG

Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg

Realisation der Publikation

e-mobil BW GmbH – Landesagentur für neue Mobilitätslösungen

und Automotive Baden-Württemberg

www.e-mobilbw.de

Layout/Satz/Illustration

markentrieb – Die Kraft für Marketing und Vertrieb

Stand: März 2022