

Schlussbericht des Verbundes

- öffentlich einsehbar -



Korridor für neue Mobilität Aachen – Düsseldorf

Wenn zur Wahrung berechtigter Interessen des Zuwendungsempfängers (ZE) oder Dritter oder aus anderen sachlichen Gesichtspunkten bestimmte Einzelheiten aus dem Bericht vertraulich zu behandeln sind (z. B. Wahrung der Priorität bei Schutzrechtsanmeldungen), so hat der ZE den Projektträger ausdrücklich darauf hinzuweisen.

Zuwendungsempfänger: RWTH Aachen University MOOVE GmbH Ford-Werke GmbH Planung Transport Verkehr GmbH Stadt Aachen Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen Vodafone GmbH	Förderkennzeichen: 01MM19001A 01MM19001B 01MM19001C 01MM19001D 01MM19001E 01MM19001F 01MM19001G
Konsortialführer: Laurent Klöcker, M.Sc. Institut für Kraftfahrzeuge (ika) – RWTH Aachen University	Tel.: +49 241 80 26713 E-Mail: laurent.kloeker@ika.rwth-aachen.de
Laufzeit des Vorhabens: von: 01.01.2020 (M1) bis: 31.03.2022 (M27)	
Datum Bericht: 31.05.2022 (M29) von: 01.01.2020 (M1) bis: 31.03.2022 (M27)	

Disclaimer

Die in diesem Dokument zum Ausdruck gebrachten Meinungen geben nur die Meinung der Autoren wieder und spiegeln in keiner Weise die Meinung des Fördergebers wider. Der Fördergeber ist nicht verantwortlich für die Verwendung der darin enthaltenen Informationen.

Copyright

© ACCorD Konsortium 2022

Förderung

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Dieses Projekt (ACCorD) wurde durch das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV); ehemals Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), gefördert.

Autoren

RWTH Aachen University	<u>Institut für Kraftfahrzeuge (ika)</u> Laurent Klöker, Kathrin Hülsen <u>Institut für Straßenwesen (isac)</u> Dr.-Ing. Dirk Kemper, Eszter Kalló
MOOVE GmbH	Robin Leblebici
Ford-Werke GmbH	Martin Sommer
Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen	Dr.-Ing. Martin Rose
PTV Planung Transport Verkehr GmbH	Dr. Charlotte Fléchon
Stadt Aachen	Lyla Naser, Mirijam Böhme
Vodafone GmbH	Tatjana Bär

Version	Datum	Kommentar
v0	04/04/2022	Vorlage erhalten von DLR-Projektträger
v1.0	04/04/2022 – 08/04/2022	Bearbeitung Vorlage durch Konsortialführer
v1.1	08/04/2022 – 06/05/2022	Bearbeitung durch alle Zuwendungsempfänger <i>Schlussbericht: Bitte auf Kompatibilität mit Erfolgskontrollbericht achten!</i>
v1.2	06/05/2022	Abgabefrist Beitrag für Schlussbericht
v1.3	06/05/2022 – 23/05/2022	Interne Überprüfung Konsortialführer/ Korrekturschleifen mit Zuwendungsempfängern
v1.4	23/05/2022	Kompilierter Input, abschließende Überprüfung innerhalb des Steuerkreises vor der Einreichung
v2.0	30/05/2022 – 07/06/2022	Finalisierung des Schlussberichtes <i>Schlussbericht: Bitte auf Kompatibilität mit Erfolgskontrollbericht achten!</i>
v3.0	07/06/2022	Einreichung Finale Version an DLR-Projektträger per E-Mail an Berichte-EMV@dlr.de <i>Schlussbericht wird über Konsortialführer eingereicht (mit Unterstützung der Zuwendungsempfänger) Erfolgskontrollberichte werden über jeweiligen Zuwendungsempfängern eigenständig eingereicht</i>

Tabelle zur Dokumentengeschichte

Inhaltsverzeichnis

1. Kurzdarstellung	10
1.1. Aufgabenstellung	14
1.2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	18
1.3. Planung und Ablauf des Vorhabens	21
1.4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde	28
Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden.....	32
Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste	33
1.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen	35
2. Eingehende Darstellung	37
2.1. Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele	75
2.2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	87
2.3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	90
2.4. Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans	93
2.5. Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	98
2.6. Erfolgte oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses.....	100

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Beschreibung
2D	zweidimensional, x- und y-Koordinatenachse
3D	dreidimensional, x-, y- und z-Koordinatenachse
4G	Mobilfunktechnologie der vierten Generation
4K	horizontale Bildauflösung in der Größenordnung von 4000 Pixeln
5G	Mobilfunktechnologie der fünften Generation
5GAA	5G Automotive Association
ACCord	Korridor für neue Mobilität Aachen – Düsseldorf
AZF	ACCord-Zentrale-Funktionalitäten
Azure	Cloud-Computing-Plattform
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMDV	Bundesministerium für Digitales und Verkehr
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Care and Mobility Innovation	Forschungsprojekt Stadt Aachen
Carmaker	Software zur Simulation einer Testfahrt
CC1	Folgezeitlücken-Verteilung
CC2	Folgeabstand-Oszillation
CC3	Wahrnehmungsschwelle für Folgen
C-ITS	Cooperative Intelligent Transport Systems
CMS	Content-Management-System
CPM	Cooperative Perception Message
C-ROADS	Forschungsprojekt
C-V2X	Cellular-V2X, Fahrzeugvernetzung per Mobilfunk
DATEX-II	Datenaustauschstandard zum Austausch von Verkehrsinformationen
DGPS	Differential Global Positioning System
Digitale Modellkommunen in NRW	Forschungsprojekt
DOP	Digitale Orthophotos, verzerrungsfreie und georeferenzierte Luftbilder
DSL	Digital Subscriber Line
dWiSta	Dynamischer Wegweiser mit integrierten Stauinformationen
EMA	Erlebnisswelt Mobilität Aachen
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
EULE	Forschungsprojekt Stadt Aachen
F&E	Forschung und Entwicklung
FCD	Floating Car Data
FCNavSkate	Forschungsprojekt Stadt Aachen
Flow2Work	Forschungsprojekt Stadt Aachen
Ford	Ford-Werke GmbH
GLOSA	Green Light Optimized Speed Advisory
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
GrenzFlugPlus	Forschungsprojekt Stadt Aachen
HDV-Mess	Forschungsprojekt Institut für Kraftfahrzeuge (ika) – RWTH Aachen University
highD Dataset	A Drone Dataset of Naturalistic Vehicle Trajectories on German Highways for Validation of Highly Automated Driving Systems (Institut für Kraftfahrzeuge (ika) – RWTH Aachen University)
I2V	Infrastructure-to-Vehicle
ika	Institut für Kraftfahrzeuge (ika) – RWTH Aachen University

IMU	inertiale Messeinheit, räumliche Kombination mehrerer Inertialsensoren wie Beschleunigungssensoren und Drehratensensoren
isac	Institut für Straßenwesen (isac) – RWTH Aachen University
ITS-G5	Standard für die Fahrzeugvernetzung, der auf dem WLAN-Standard beruht
IVS	Intelligente Verkehrssysteme
Kalman	mathematisches Verfahren zur iterativen Schätzung von Parametern zur Beschreibung von Systemzuständen auf der Basis von fehlerbehafteten Beobachtungen
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
KoMoD	Forschungsprojekt Institut für Kraftfahrzeuge (ika) – RWTH Aachen University
KoMoDnext	Forschungsprojekt Institut für Kraftfahrzeuge (ika) – RWTH Aachen University
KPI	Key Performance Indicators, Schlüsselkennzahlen
L3Pilot	Forschungsprojekt Institut für Kraftfahrzeuge (ika) – RWTH Aachen University
LiDAR	Light Detection and Ranging, Methode zur Umfelderkennung
LSA	Lichtsignalanlagen
LTE	Long Term Evolution, Mobilfunk-Standard
MAP	Topology information for the intersection, topologische Information für Kreuzung
MAPEM	MAP Extended Message, Nachricht mit der Topologie und Geometrie des Straßenknotenpunktes
MATLAB	Software zur Lösung mathematischer Probleme und zur grafischen Darstellung der Ergebnisse
MCL	Monte-Carlo-Lokalisierung/Partikelfilterlokalisierung = Algorithmus, mit dem Roboter mithilfe eines Partikelfilters lokalisieren können
MDM	Mobilitätsdatenmarktplatz
MeBeSafe	Forschungsprojekt Institut für Straßenwesen (isac), Institut für Kraftfahrzeuge (ika) – RWTH Aachen University
MOOVE	MOOVE GmbH
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
MWIDE	Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie
NGSIM	Next Generation Simulation data set
NBA	Netzbeeinflussungsanlage
OCIT	Kommunikations-Standard zwischen LSA-Steuergeräten und Verkehrszentralen
ODD	Operational Design Domains
OEM	Fahrzeughersteller
ÖPNV	öffentlicher Personennahverkehr
PC5	Schnittstelle, direkte Funkkommunikation zwischen Teilnehmenden, unabhängig von einem Funkzugangnetz
PM	Personenmonat
PTRZ	Pan, Tilt, Rotate and Zoom
PTV	PTV Planung Transport Verkehr GmbH
PTV Vissim	Verkehrssimulation Software der PTV Planung Transport Verkehr GmbH
QGIS	Geoinformationssystemsoftware zum Betrachten, Bearbeiten, Erfassen und Analysieren räumlicher Daten
RCP	Rapid Control Prototyping
RescueCopter	Forschungsprojekt Stadt Aachen
ROS	Robot Operating System
RS232	Standard für eine serielle Schnittstelle
RSU	Road-Side-Unit

RTK	Real-Time Kinematic
RWTH	RWTH Aachen University
Simulink	Software zur Modellierung von technischen, physikalischen, finanzmathematischen und anderen Systemen
SkyCab	Forschungsprojekt Stadt Aachen
SMZ	Störmeldezentralen
SPaT	Signal Phase and Timing
SPATEM	Signal Phase and Timing Extended Message, Nachricht mit den prognostizierten LSA-Phasen
SREM	Signal Request Extended Message, erweiterte Meldung (Ampel)-Signalanforderung
SSEM	Signal Request Status Extended Message, erweiterte Meldung (Ampel)-Signalanforderung, Status
Stateflow	interaktives Design- und Simulationstool für ereignisgesteuerte Systeme
Straßen.NRW	Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen
SULEICA	Forschungsprojekt Stadt Aachen
TIC	Software
UAM	Urban Air Mobility Initiative MAHHL Städte
UNICARagil	Forschungsprojekt Institut für Kraftfahrzeuge (ika) – RWTH Aachen University
UrbanMove	Forschungsprojekt Stadt Aachen
V2I	Vehicle-to-Infrastructure
V2X	Vehicle-to-Everything
Vodafone	Vodafone GmbH
VVM	Forschungsprojekt Institut für Kraftfahrzeuge (ika) – RWTH Aachen University
WLAN	Wireless Local Area Network

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Darstellung der Arbeitspakete im Projekt.....	21
Abbildung 2: Schematische Darstellung des Gesamtprojektzieles	37
Abbildung 3: Kartenansicht der errichteten digitalen Testfelder in den Bereichen Stadt, Land und Autobahn	38
Abbildung 4: Fotografische Ansicht der errichteten digitalen Testfelder in den Bereichen Stadt, Land und Autobahn	39
Abbildung 5: Hardwarekomponenten einer infrastrukturseitigen Messstation	39
Abbildung 6: Verkehrserfassungskonzept der digitalen Testfelder in ACCorD	40
Abbildung 7: Automatisierte 3D Objekterkennung in Kamera und LiDAR-Rohdaten.....	40
Abbildung 8: IT-Backend in ACCorD	41
Abbildung 9: Integration der Sensorik in den People Mover	43
Abbildung 10: Landmarken basierte Karte (links) im Vergleich zum Testfeld Stadt am Campus Melaten (rechts)	44
Abbildung 11: Sensorik der Lokalisierung	44
Abbildung 12: Sensordatenverarbeitung innerhalb der Fahrzeugarchitektur	45
Abbildung 13: Auswertung des Lokalisierungsalgorithmus gegenüber interner Referenz	45
Abbildung 14: Manöver „Bedienen einer Bushaltestelle“ – Lokalisierungsalgorithmus ausgewertet gegenüber der generierten Trajektorie der ACCorD Messstation	46
Abbildung 15: Erprobungsfahrzeug vermeidet Stopp vor einer roten LSA durch frühzeitige Geschwindigkeitsreduktion	47
Abbildung 16: Vergleich der Schaltzeitprognose einer Festzeitsteuerung und verkehrsunabhängigen Steuerung an der gleichen LSA	49
Abbildung 17: Klassifikation der Aufmerksamkeit im Fahrerzustands-Beobachtungssystem	52
Abbildung 18: Szenario-Lieferwagen wechselt Spur gegen Stauende	53
Abbildung 19: Kooperative LSA mit RSU auf der L232 (HERZ0218)	54
Abbildung 20: Kooperative LSA auf der L232 südlich von Herzogenrath und auf der L240 nördlich der Autobahnanschlussstelle Alsdorf	55
Abbildung 21: Übertragung einer Schaltzeitprognose von der AZF an das Versuchsfahrzeug	56
Abbildung 22: Übertragung einer Grünzeitanforderung und Rückmeldung zur ÖPNV-Priorisierung	57
Abbildung 23: Übertragung von Fahrzeugdaten zur Bestimmung einer lokalen Verkehrslage	58
Abbildung 24: Derzeitige Netzbeeinflussung mit Hilfe von RDS/TMC oder Wechselverkehrszeichen	58
Abbildung 25: Virtuelle Netzbeeinflussung mit Übertragung strategischer Routen über den MDM	59
Abbildung 26: Virtuelle Netzbeeinflussung mit Übertragung von Baustellen und Umleitungen über den MDM.....	60
Abbildung 27: Simulationsumgebung Campus Melaten	61
Abbildung 28: Simulationsumgebung A44	61
Abbildung 29: Simulationsumgebung B56	62
Abbildung 30: Simulationsumgebung Roermonder Straße (V2X).....	62
Abbildung 31: Simulationsumgebung Vaalser Straße (V2X)	63
Abbildung 32: Positionen der untersuchten Autobahnabschnitte – modifizierte Abbildung [Krajewski et al., 2018].....	63
Abbildung 33: Trajektorie der Fahrzeuge bei einem Fahrstreifenwechsel	65
Abbildung 34: Vergleich zwischen Realdaten, Vissim default Einstellungen und der Kombination CC1, Sicherheitsabstandsfaktor und Freifahrzeit.....	66
Abbildung 35: Vergleich zwischen Realdaten, Vissim Standard Einstellungen und der Modellerweiterung (Kombination zeitverteilte Freifahrzeit und Wunschgeschwindigkeitstoleranz)	68
Abbildung 36: Vodafone Infrastruktur	71
Abbildung 37: Vodafone V2X APP KoMoD.....	72
Abbildung 38: Vodafone V2X APP Message list.....	72
Abbildung 39: Vodafone V2X Module	73
Abbildung 40: Vodafone Showcase	74
Abbildung 41: Webseiten-Besuche (Stand 31.05.2022)	100
Abbildung 42: Interaktion verschiedener Kommunikationskanäle (Webseiten-Besuche nicht graphisch illustriert für übersichtlichere Darstellung, Interaktion mit einzelnen Social-Media-Posts gezählt, nicht einzelne Posts)	100
Abbildung 43: Teilnehmende der Wissenschaftlichen Abschlussveranstaltung.....	101
Abbildung 44: Teilnehmende bei Veranstaltungen zum gesellschaftlichen Dialog (Mobilitätsausstellung: Keine Zahlen erhoben, Auftaktveranstaltung: Aufrufe des Streams, Kinder & Jugendliche: Keine Zahlen erhoben)	101

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Meilensteine Institut für Kraftfahrzeuge (ika) – RWTH Aachen University	21
Tabelle 2: Meilensteine MOOVE GmbH	22
Tabelle 3: Meilensteine Ford-Werke GmbH.....	23
Tabelle 4: Meilensteine Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen.....	24
Tabelle 5: Meilensteine PTV Planung Transport Verkehr GmbH.....	25
Tabelle 6: Meilensteine Stadt Aachen	26
Tabelle 7: Verwendung Institut für Kraftfahrzeuge (ika) – RWTH Aachen University	75
Tabelle 8: Verwendung Institut für Straßenwesen (isac) – RWTH Aachen University.....	78
Tabelle 9: Verwendung MOOVE GmbH	78
Tabelle 10: Verwendung Ford-Werke GmbH.....	81
Tabelle 11: Verwendung Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen.....	82
Tabelle 12: Verwendung PTV Planung Transport Verkehr GmbH.....	83
Tabelle 13: Verwendung Stadt Aachen	85
Tabelle 14: Verwendung Vodafone GmbH	85
Tabelle 15: zahlenmäßiger Nachweis Institut für Kraftfahrzeuge (ika) – RWTH Aachen University	87
Tabelle 16: zahlenmäßiger Nachweis Institut für Straßenwesen (isac) – RWTH Aachen University.....	87
Tabelle 17: zahlenmäßiger Nachweis MOOVE GmbH	87
Tabelle 18: zahlenmäßiger Nachweis Ford-Werke GmbH	88
Tabelle 19: zahlenmäßiger Nachweis Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen.....	88
Tabelle 20: zahlenmäßiger Nachweis PTV Planung Transport Verkehr GmbH.....	88
Tabelle 21: zahlenmäßiger Nachweis Stadt Aachen	89
Tabelle 22: zahlenmäßiger Nachweis Vodafone GmbH.....	89
Tabelle 23: Verwertung RWTH Aachen University (Institut für Kraftfahrzeuge (ika) & Institut für Straßenwesen (isac)).....	93
Tabelle 24: Verwertung MOOVE GmbH.....	94
Tabelle 25: Verwertung Ford-Werke GmbH	94
Tabelle 26: Verwertung Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen	95
Tabelle 27: Verwertung PTV Planung Transport Verkehr GmbH	96
Tabelle 28: Verwertung Stadt Aachen	96
Tabelle 29: Verwertung Vodafone GmbH.....	96
Tabelle 30: Veröffentlichungen Institut für Kraftfahrzeuge (ika) – RWTH Aachen University	102
Tabelle 31: Veröffentlichungen Institut für Straßenwesen (isac) – RWTH Aachen University	110
Tabelle 32: Veröffentlichungen MOOVE GmbH	111
Tabelle 33: Veröffentlichungen Ford-Werke GmbH.....	112
Tabelle 34: Veröffentlichungen Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen	114
Tabelle 35: Veröffentlichungen PTV Planung Transport Verkehr GmbH.....	115
Tabelle 36: Veröffentlichungen Stadt Aachen.....	116
Tabelle 37: Veröffentlichungen Vodafone GmbH	117

1. Kurzdarstellung

Der Schlussbericht gibt einen Überblick über den Projektfortschritt für die 27 Monate des ACCorD Projektes, das heißt von Januar 2020 (M1) bis März 2022 (M27).

Institut für Kraftfahrzeuge (ika) – RWTH Aachen University

Das ika verantwortete im Rahmen des vom BMDV geförderten Projektes ACCorD die Gesamtprojektleitung und koordinierte alle administrativen und PR-relevanten Tätigkeiten.

Mit dem Ziel, eine Datengrundlage für die Entwicklung und Absicherung automatisierter Fahrfunktionen zu schaffen, errichtete das ika drei Testfelder mit Messeinrichtungen, welche die Erhebung anonymisierter Verkehrsdaten ermöglichen. Dabei lagen die Konzipierung der installierten Sensoreinheiten sowie die Einholung notwendiger Genehmigungen ebenfalls in der Verantwortung des ika. Damit die Daten die verschiedenen Aspekte des Verkehrsgeschehens in der Stadt, auf der Landstraße und der Autobahn widerspiegeln, sind drei unterschiedliche Standorte gewählt worden: Campus Melaten in Aachen (Stadt), B56 in Aldenhoven (Land) und A44 am Dreieck Jackerath (Autobahn). Beim Aufbau der Testfelder konnte auf jahrelange Erfahrung in der Verkehrsdigitalisierung mit erprobten Methoden und Ergebnissen der RWTH zurückgegriffen werden. Die hochgenaue Erfassung von anonymisierten Verkehrsdaten, insbesondere der Trajektorien aller Verkehrsteilnehmenden, erlaubt – über Speicherung und Verarbeitung der Daten hinaus – die Erstellung digitaler Zwillinge der Testfelder und die Ableitung von repräsentativen Verkehrsszenarien. Entscheidend für die Schaffung dieser leistungsfähigen Verkehrsdateninfrastruktur ist die Verarbeitung der generierten Sensorinformationen innerhalb der Messstationen. Mittels V2X-Kommunikation können die Daten in Echtzeit an Forschungsfahrzeuge zurückgespielt werden, um so eine vorausschauende Fahrweise zu ermöglichen.

Die so erfassten Verkehrsszenarien können darüber hinaus in Entwicklungsumgebungen integriert werden und ermöglichen mit Hilfe von Simulationen die kosteneffiziente Validierung von neuen Fahrfunktionen, bevor diese weiterentwickelt und anschließend auf abgeschlossenen Teststrecken oder Testfeldern im Realverkehr erprobt werden können.

Institut für Straßenwesen (isac) – RWTH Aachen University

Das isac stieg ab Projektmonat 9 (September 2020) als Projektpartner in das Projekt ein, um bei der Errichtung beziehungsweise bei der Koordination der Baumaßnahmen der Testfelder Autobahn und Bundesstraße das ika im Rahmen des Arbeitspaketes 1 zu unterstützen. Zudem errichtete es am Testfeld Autobahn neben der Kamera- und LiDAR-Sensorik des ika ebenfalls Thermalkameras an sieben aufeinanderfolgenden Messpunkten ein. Damit soll erprobt werden, wie sich Verkehrsdaten auch bei schlechten Witterungsverhältnissen aufzeichnen lassen.

MOOVE GmbH:

Die MOOVE hat im Rahmen des vom BMDV geförderten Projektes ACCorD ein Forschungsfahrzeug zur Entwicklung und Erprobung von automatisierten Fahrfunktionen aufgebaut. Dieses Fahrzeug, ein für 16 Personen entwickelter elektrischer Kleinbus (People Mover, M2 Klasse), ist mit Sensorik zur Umfeldwahrnehmung ausgestattet. Für die Wahrnehmung der Umgebung wurde der People Mover mit fünf LiDAR-Sensoren ausgestattet. Davon befinden sich zwei auf dem Dach des Fahrzeuges, um eine Rundumsicht

zu ermöglichen. Weitere drei LiDAR-Sensoren sind in der Fahrzeugfront integriert, um sicher den Nahbereich zu überwachen.

Auf Basis der LiDAR-Sensorik wurde ein Lokalisierungsalgorithmus entwickelt, welcher auf georeferenzierten vertikalen Landmarken basiert und robust gegenüber Umwelteinflüssen ist. Hierzu wurden hochgenaue digitale Karten des ACCorD Testfelds am Campus Melaten auf Basis von Referenzfahrten und georeferenzierten Orthophotos erstellt und in die Fahrzeugarchitektur integriert. Für den Anwendungsfall des Bedienens einer Bushaltestelle und verfolgen eines vorgegebenen Referenzpfads im autonomen Shuttle Betrieb wurde ein Trajektorienplaner entwickelt und in Simulation getestet.

In einem ersten Pilotbetrieb wurden die entwickelten Algorithmen für autonome Fahrfunktionen mit Hilfe der vorhandenen Referenzsensorik im Testkorridor validiert. Hierzu wurden im Shadowmode die Testszenarien mit Sicherheitsfahrer durchgespielt und erprobt, so dass unter Realbedingungen getestet werden konnte. Die Daten der Messstation konnten genutzt werden, um während der Erprobung qualitative Aussagen über die Genauigkeit der entwickelten Algorithmen zu treffen.

Des Weiteren wurden Konzepte für den Einsatz von zukünftigen Remote Operatoren erstellt, welche für den fahrerlosen Betrieb eingesetzt werden können.

Ford-Werke GmbH:

Im Projekt lag der Fokus von Ford auf den Anwendungsszenarien „Vernetzte Lichtsignalanlagen“ sowie „Land“ und „Autobahn“. Das Ziel bestand darin, die im Projekt aufgebaute Infrastruktur für die Entwicklung und Validierung vernetzter und automatisierte Fahrfunktionen zu nutzen.

Hierzu wurden zwei Testfahrzeuge aufgebaut, die für Erprobungsfahrten in den Korridoren genutzt wurden. Ein automatisch längsgeführter Ampelphasenassistent wurde erfolgreich erprobt und hat wertvolle Erkenntnisse zur Nutzung von LSA Informationen für automatisierte Fahrfunktionen im Fahrzeug geliefert. Zudem wurde eine Grünzeitanforderung zur Bevorrechtigung von Einsatzfahrzeugen und ÖPNV im öffentlichen Straßenverkehr erfolgreich erprobt.

Um höher automatisierte Fahrfunktionen erreichen zu können, wurde der Fokus auf einige Kernelemente, die den Unterschied zwischen assistiertem Fahren und höher automatisiertem Fahren ausmachen, gelegt. Hierzu zählt unter anderem die Integration eines Fahrerzustands-Beobachtungssystems sowie die Integration kostengünstiger, aber gleichzeitig hochauflösender Sensorik.

Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen:

Mit der Beteiligung am Projekt ACCorD wurden die V2X-Kommunikation zwischen LSA und Fahrzeugen am Einsatz der Anwendungsfälle

- Schaltzeitprognose zur Bereitstellung von SPaT- und MAP-Meldungen über den MDM sowie über die lokale V2X-Kommunikation,
- Fahrzeuggenerierte Grünzeitanforderung von ÖPNV und Einsatzfahrzeugen sowie
- Fahrzeugbasierte Verkehrslageermittlung

erprobt, um sowohl den Aufwand als auch den zu erwartenden Nutzen für die Lichtsignalsteuerung und ihre Einbettung in das übergeordnete Verkehrsmanagement bewerten zu können. Darüber hinaus wurde der System- und Lösungsansatz verschiedener Hersteller bezüglich der für die Realisierung der Anwendungsfälle bereitzustellenden LSA-Infrastruktur unter realen Bedingungen erprobt und bewertet. Des Weiteren wurden die Anwendungsfälle

- Virtuelle Netzbeeinflussung zur Übertragung von Störungen im Straßennetz und gegebenenfalls Umleitungsempfehlungen über den MDM
- Baustelleninformation zur Übertragung von Meldungen zu Baustellen und den Baustellenumleitungen über den MDM

untersucht, um die Netzbeeinflussung mit Hilfe der V2X-Kommunikation direkt in die Fahrzeuge bringen zu können.

Die Erweiterung der Straßeninfrastruktur um V2X-Technologie war im August 2021 abgeschlossen. Zu diesem Zeitpunkt wurden auch schon die strategischen Routen für die virtuelle Netzbeeinflussung und die Baustelleninformationen an den MDM übertragen. Bis Projektende konnten alle Anwendungsfälle erfolgreich umgesetzt werden.

Eine herstellerunabhängige zentrale Funktionalität mit mehreren Signalbaufirmen wurde nur bedingt erreicht, da eine Signalbaufirma sich nicht beteiligt hat und eine weitere zwar die V2X-Infrastruktur für drei LSA erfolgreich aufbauen, aber die Umsetzung der LSA-Anwendungsfälle bis Projektende nicht abschließen konnte.

Wie in vielen anderen Projekten zu vernetzten Fahren wurde auch in ACCorD deutlich, dass die Standardisierung der bidirektionalen V2I-Kommunikation für den Regelbetrieb noch nicht ausgereift ist. Ebenso wird der nationale Datenzugangspunkt (MDM, zukünftig Mobilithek) derzeit für den individuellen Straßenverkehr noch zu wenig genutzt.

PTV Planung Transport Verkehr GmbH:

Das Ziel des Teilvorhabens der PTV liegt in der Erforschung allgemeiner Verhaltensmodellansätze zur verbesserten Simulation lateraler Fahrzeugbewegungen und des Fahrstreifenwechselerhaltens im Bereich der mikroskopischen Verkehrsflusssimulation sowie ihrer demonstratorhaften Implementierung in der Simulationssoftware PTV Vissim.

Die Verbesserung der mikroskopischen Verkehrsflusssimulation hinsichtlich der Querführung von Fahrzeugen ist auch im Zusammenhang mit der zunehmenden Automatisierung und Vernetzung des Kfz-Verkehrs erforderlich, um Fahreigenschaften besser abbilden und Optimierungspotenziale quantifizieren zu können. Die demonstratorhafte Implementierung in die Simulationssoftware PTV Vissim dient dazu, die Ansätze des entwickelten Verhaltensmodells und ihre Parameter kalibrieren und so das Verhaltensmodell als Ganzes verifizieren beziehungsweise anpassen zu können.

Stadt Aachen:

Innerhalb der Projektlaufzeit konnten insgesamt acht LSA entlang der Vaalser Straße durch die Siemens Mobility GmbH (heute: YUNEX GmbH) umgerüstet werden. Auch die Erweiterung des Verkehrsrechners um ein CMS-Zentralensystem für V2X-Kommunikation sowie die Anschaltung der nun acht RSU an das CMS-Zentralensystem konnte durch die

YUNEX GmbH finalisiert werden. In Absprache mit den Projektpartnern wurde die Entscheidung getroffen, anstelle der MDM-Schnittstelle eine MQTT-Schnittstelle einzurichten.

Das Teilprojekt „Einbindung Stadt und Mensch“ unter der Leitung der Stadt Aachen konnte trotz der fortlaufenden pandemischen Situation erfolgreich abgeschlossen werden. Als Herzstück der Ausstellung Smarte Mobilität und Innenstadtlogistik des städtischen Co-Creation-Centers OecherLab, machte das Exponat von Vodafone von Juni bis September 2021 die Aachener Stadtgesellschaft auf das Projekt aufmerksam. Im Rahmen dieses Zukunftsraums fand zudem die digitale Veranstaltungsreihe OecherDialog statt, in der das ACCorD Projekt einem Aachener Publikum durch das ika näher vorgestellt wurde und Fragen beantwortet werden konnten. Darüber hinaus fanden insgesamt drei Workshops für unterschiedliche Zielgruppen statt, bei denen sowohl Studierende, Kinder sowie Jugendliche und Senior*innen eingeladen waren Aachens Mobilität der Zukunft mitzugestalten. Den Höhepunkt der städtischen Vernetzungs- und Partizipationsaktivitäten stellte das Festival der Mobilität im Kapuzinerkarree dar, das am 17.09.2021 eingebettet in das Rahmenprogramm der Europäischen Mobilitätswoche stattfand. Zum Abschluss des Projektes wurde ein Imagefilm in Auftrag gegeben, der über die städtischen Social-Media-Kanäle sowie die Projektwebsite veröffentlicht und den Projektpartnern zur Verfügung gestellt wird, um auf die Projekterfolge in der Region aufmerksam zu machen.

Vodafone GmbH:

Vodafone gestaltet als 5G Pilot die Zukunft der Mobilität mit automatisierten und vernetzten Fahrzeugen.

Fahrzeuge werden immer mehr mit anderen Fahrzeugen, mit der Verkehrsinfrastruktur, mit Fußgängern und mit Rechenzentren verbunden. V2X ist die Kommunikation zwischen einem Fahrzeug und einer Einheit, die das Fahrzeug beeinflussen oder von diesem beeinflusst werden kann. Es ist ein Fahrzeugkommunikationssystem, das andere spezifischere Kommunikationsarten umfasst. Automatisierte und vernetzte Fahrzeuge können zur Steigerung der Verkehrssicherheit sowie zu einer effizienten und emissionsreduzierenden Mobilität und so zu besserer gesellschaftlicher Teilhabe beitragen. Ein wichtiges Innovationsziel ist die enge Kopplung der Fahrzeug- und infrastruktureitigen Steuerungsfunktionen, dabei wird Verkehrsmanagement primär über Mobilfunk ermöglicht. Ein zentrales Forschungsgebiet ist dabei die frühzeitige Erkennung von Gefahrensituationen im Verkehr und die Erarbeitung von Strategien im Umgang mit solchen. Mit ACCorD wird unter Einbindung bestehender Testfelder im Raum Aachen – Düsseldorf eine integrierte Entwicklungsumgebung geschaffen, um automatisierte Fahrzeuge in Interaktion mit vernetzter Infrastruktur systematisch zu testen und abzusichern.

Im Projekt wird eine Testumgebung für automatisierte Fahrzeuge geschaffen, die bestehende Testfelder in Düsseldorf und Aldenhoven verbindet und die Abbildung vielfältige Testszenarien ermöglicht. Die im Testkorridor erfassten Daten werden in einer zentralen Datenbank verarbeitet und zur Implementierung eines digitalen Zwillinges des Testfeldes genutzt.

1.1. Aufgabenstellung

Institut für Kraftfahrzeuge (ika) – RWTH Aachen University

Das ika verantwortete die Gesamtprojektleitung des ACCorD Projekt und stellte zudem das Projektbüro. Es verantwortete zudem die Leitung der Arbeitspakete 1 und 3 und war an den Arbeitspaketen 4 und 5 ebenfalls aktiv beteiligt.

Im Arbeitspaket 1 „Verkehrserfassung“ erfolgte der Aufbau der drei Infrastruktursensoriktestfelder auf dem Campus Melaten in Aachen (Stadt), der B56 in Aldenhoven (Land) und der A44 am Dreieck Jackerath (Autobahn). Dadurch wurden die drei Domänen Stadt, Land und Autobahn abgedeckt, um eine Vielzahl an Verkehrsinteraktionen abzudecken.

Arbeitspaket 3 „Dateninfrastruktur und digitaler Zwilling“ umfasste auf Seiten des ika die Implementierung des IT-Backends der digitalen Testfelder. Dazu zählen insbesondere die Vernetzung sämtlicher infrastrukturseitiger Messstationen mit dem zentralen Datenserver, die zentrale Datenfusion sowie Einrichtung der Datenbanken, auf welchen die erhobenen Verkehrsdaten abgespeichert werden.

Im Arbeitspaket 4 „Prototypische Implementierung von Fahrfunktionen“ war das ika unterstützend tätig und begleitete die Projektpartner MOOVE und Ford bei der Implementierung automatisierter und vernetzter Fahrfunktionen.

Arbeitspaket 5 „Öffentlichkeitsarbeit, Bürgerbeteiligung und Vernetzung“ wurde durch das ika maßgeblich in Form der Einrichtung einer Projektwebseite begleitet sowie der Verbreitung relevanter Projektneuigkeiten über Social-Media-Kanäle.

Das Projektbüro übernahm sämtliche organisatorische Aufgaben, zu denen beispielsweise die Durchführung regelmäßiger Treffen im Konsortium und die Berichterstattung an den Projektträger zählten.

Institut für Straßenwesen (isac) – RWTH Aachen University

Das isac koordinierte die Planungs- und Aufbauarbeiten der Testfelder Autobahn an der A44 und Land an der B56. Das isac führte die öffentliche Ausschreibungen für die Planungs- und Bauarbeiten und unterstützte das ika bei den anfallenden Beschaffungen. Das isac organisierte die notwendigen Abstimmungen mit der jeweiligen Straßenbauverwaltung Straßen.NRW und der Autobahn GmbH des Bundes sowie die nötigen Ortsbesichtigungen für die beiden unterschiedlichen Arbeitsfelder. Zudem wurde die Zusammenarbeit zwischen den Projektpartner und den beauftragten Unternehmen koordiniert.

MOOVE GmbH:

Die MOOVE als Teil des Konsortiums hatte die Aufgabe ein Forschungsfahrzeug bereitzustellen und zu entwickeln, welches für die prototypische Implementierung von automatisierten Fahrfunktionen genutzt werden konnte. Insbesondere sollte die Durchgängigkeit einer Toolkette zur Gesamtvalidierung dieser Fahrfunktionen erprobt werden. Als ersten Anwendungsfall wird von dem Anfahren und Bedienen einer Bushaltestelle ausgegangen, und auf Basis dieser die Anforderungen abgeleitet. In einer Pilotanwendung sollten die folgenden Fähigkeiten erprobt werden:

- Wahrnehmung der Umwelt des Fahrzeuges über geeignetes Sensorkonzept (insbesondere Abdeckung des Nahbereichs aus Sicherheitsgründen für den Anwendungsfall des Bedienens einer Bushaltestelle)
- Lokalisierung des Fahrzeuges innerhalb einer hochgenauen Karte, um beispielsweise präzise Manöver bei der Anfahrt einer Bushaltestelle ausführen zu können.
- Auswertung gegenüber der Referenzsensorik im Testkorridor und Erprobung der gesamten Toolkette

Um die Gefährdung von Personen auszuschließen, wurden die ersten Testungen ohne aktive Ansteuerung des Fahrzeuges und mit Sicherheitsfahrer durchgeführt (Shadowmode).

Ford-Werke GmbH:

Im Anwendungsszenario „Vernetzte Lichtsignalanlagen“ sollte ein automatisch längsgeführter Ampelphasenassistent entwickelt und im Korridor mit vernetzten LSA auf öffentlichen Straßen validiert werden. In einem ersten Schritt galt es Anforderungen an die Funktion sowie an die vernetzten LSA zu definieren. Als Ausgangsbasis für die Fahrfunktion diente ein bestehender, rein informationsbasierter, Ampelphasenassistent. Darauf aufbauend sollten geeignete Regel-Algorithmen für die automatische Fahrzeuglängsführung entwickelt und erprobt werden, zunächst simulativ, später im realen Straßenverkehr im Zusammenspiel mit realen LSA und anderen Verkehrsteilnehmenden. Hierzu war es erforderlich ein Erprobungsfahrzeug mit offener Längsdynamik-Schnittstelle aufzubauen. Zudem sollten Vergleichstestungen zur Eignung verschiedener Kommunikationstechnologien und -wege in den LSA-Korridoren durchgeführt werden.

Im Anwendungsszenario „Land“ und „Autobahn“ bestand das Ziel darin, automatisierte Fahrfunktionen für den ländlichen Bereich und für das automatisierte Fahren auf der Autobahn zu entwickeln. Die Entwicklung und Validierung eines Umfeldmodells mit Hilfe der infrastrukturseitig erfassten Verkehrsdaten sowie die Nutzung dieses Modells für das taktische Verhalten sollte erreicht werden. Anschließend sollten die Funktionen zunächst simulativ unter Zuhilfenahme des digitalen Zwillings und anschließend in den Überland- und Autobahn-Korridoren erprobt werden.

Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen:

Im Arbeitspaket 1 „Verkehrserfassung“ hat Straßen.NRW den Aufbau der Sensorik auf der A44 im Bereich des Autobahnkreuzes Jackerath und auf der B56 im Bereich der Anschlussstelle Aldenhoven begleitet. Das heißt, Straßen.NRW hat die Gestattung und notwendige Informationen bereitgestellt und zwischen den Beteiligten koordiniert. Diese Tätigkeiten wurden zu Beginn des Projektes deutlich mehr in Anspruch genommen als im weiteren Verlauf mit der Beauftragung eines Ingenieurbüros und der Klärung der Zuständigkeiten durch die jeweiligen Verkehrsbehörden für die Anordnung der Erfassungssysteme.

Straßen.NRW hat das Arbeitspaket 2 „Verkehrsinfrastruktur und Verkehrsmanagement“ geleitet, die partnerspezifischen Arbeiten koordiniert und sich mit den Projektpartnern (Arbeitstreffen, Steuerkreis, ...) ausgetauscht. Straßen.NRW hat zur Umsetzung der fünf Anwendungsfälle Schaltzeitprognose (1), Grünzeitanforderung (2), fahrzeuggesteuerte Verkehrslage (3), Virtuelle Netzbeeinflussung (4) und Baustelleninformationen (5) im ländlichen Raum die Konzepterstellung, die Konzeptdetaillierung sowie die Systemumsetzung der Aufrüstung von sechs LSA mit geeigneten Steuermodulen und RSU ausgestattet mit V2X-

Kommunikation durchgeführt. Zudem wurde die Anbindung der LSA beziehungsweise ihrer Störmeldezentralen an eine zentrale Einheit (ACCord-Zentrale-Funktionalitäten, kurz AZF) umgesetzt. Darüber hinaus wurde eine Schnittstelle zum MDM für die Bereitstellung von Umleitungsempfehlungen und Baustellenmeldungen auf Bundes-, Landes- und Kreisstraßen inklusive maschinenlesbaren Routenempfehlungen geschaffen und der Testbetrieb und die Evaluation koordiniert.

Im Arbeitspaket 5 hat Straßen.NRW an Messen und Kongressen einschließlich der Vorbereitung von Beiträgen in Form von Postern und Präsentationen teilgenommen.

PTV Planung Transport Verkehr GmbH:

In einem ersten Arbeitsschritt hat die die PTV Simulationsumgebungen für fünf Testfelder (Campus Melaten, B56, A44, V2X Roermonder Straße und V2X Vaalser Straße) erstellt. Die Simulationsumgebungen ermöglichen es, Verkehrsflusssimulationen durchzuführen und anhand dieser die Wirkungen von automatisiertem Fahren auf den Verkehrsfluss zu testen und zu evaluieren.

Der Fokus der PTV lag in der Verbesserung der mikroskopischen Verkehrsflusssimulation hinsichtlich der Querführung von Fahrzeugen. Die Forschungsarbeiten zum Fahrverhalten wurden in zwei Themen untergliedert: das Fahrstreifenwechselverhalten und die Fahrstreifenaufteilung. Beide Themen wurden anhand der HighD Datensatz verarbeiten.

Stadt Aachen:

Die Erprobung des automatisierten und vernetzten Fahrens unter realen Bedingungen im öffentlichen Raum ist von zentralem Interesse für die Stadt Aachen. Nicht nur die entsprechenden technischen und rechtlichen Rahmenbedingungen müssen für eine Umsetzung gegeben sein, auch die soziale Ebene muss bei der Implementierung neuer Technologien eine zentrale Rolle spielen. Diese kommt insbesondere dann zum Tragen, wenn, wie beim automatisierten Fahren, ein besonderer Einfluss auf der gesellschaftlichen Ebene zu erwarten ist.

Die Aufgabe der Stadt Aachen bestand zum einen darin, durch die technische Umrüstung von bestehenden Ampelanlagen mit V2X-Kommunikationstechnik, eine urbane Testumgebung zu schaffen.

Zum anderen legte die Stadt Aachen ihren Fokus auf die aktive Einbindung der Stadtgesellschaft – der Bürger*innen, Verwaltung, Politik und Wirtschaft – mit dem Ziel über die Erprobung der neuen Technologien zu informieren und zu sensibilisieren. Durch die Schaffung eines Reallabores sollte die neue Technologie für die Stadtgesellschaft erlebbar gemacht werden und so die Akzeptanz gefördert werden.

Vodafone GmbH:

Hauptziel dieses Vorhabens ist die anwendungsnahe Erforschung und Erprobung von automatisierten und vernetzten Fahrzeugen unter Einbeziehung von städtischen und ländlichen Umgebungen sowie von Autobahnabschnitten. Es soll eine enge Kopplung der fahrzeug- und infrastrukturseitigen Steuerungsfunktionen über Mobilfunk erforscht werden. Die Vernetzung zu den verschiedenen Projektpartnern und die entsprechende Verteilung der Information im Mobilfunknetz ist hierfür erforderlich.

Um die oben beschriebenen Problemfelder zu adressieren, werden im Rahmen dieses Vorhabens die folgenden Ziele verfolgt:

- 1) Errichtung von vernetzter Verkehrsinfrastruktur zur Erprobung und Bewertung der Infrastruktur sowie als Grundlage für die Erprobung und Weiterentwicklung von automatisierten und vernetzten Fahrzeugen und im Hinblick auf die Tauglichkeit der eingesetzten Kommunikationstechnologie.
- 2) Methodische und technische Verknüpfung der mit Infrastruktur ausgestatteten Streckenabschnitten im öffentlichen Raum mit der urbanen Testumgebung des Vodafone 5G Mobility Lab, auf dem Gelände des Aldenhoven Testing Center.
- 3) Weiterentwicklung und Erprobung von automatisierten und vernetzten Fahrfunktionen in städtischer und ländlicher Umgebung sowie auf der Autobahn mit Kommunikation über Mobilfunk.
- 4) Austausch mit anderen Forschungsprojekten und Fachpublikum.
- 5) Vernetzung von Industriepartnern, sowohl technisch als auch im Hinblick auf zukünftige gemeinsame Produktentwicklung und Kooperationen.
- 6) Analyse der Kommunikationsprotokolle für den vernetzten Verkehr, um die zukünftigen Anforderungen an das Mobilfunknetz zu beschreiben und abzuleiten.

Vodafone agiert als globales Unternehmen und unterstützt die exportorientierten Unternehmen. Firmen wie ZF und Ford setzen schon heute Services von Vodafone ein. Ergebnisse des Projektes sollen auch global bekannt gemacht werden, beispielsweise in EU Initiativen oder Organisationen wie 5GAA.

Die im Verbund gewonnen Ergebnisse sollen, wenn möglich, nachhaltig weiterverwertet werden. Es bestehen beispielsweise auch Geschäftsbeziehungen zu ZF und Ford, um die im Testfeld initiierte Kooperation kommerziell weiterzuführen.

1.2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Institut für Kraftfahrzeuge (ika) – RWTH Aachen University

Die Nähe zu den Projektpartnern und die gute Kommunikation im Konsortium boten eine bestmögliche Voraussetzung für eine erfolgreiche Zusammenarbeit. Dennoch traten während der Projektlaufzeit unvorhersehbare Herausforderungen auf, welche sich auf die Gesamtprojektlaufzeit ausgewirkt haben und zu einer zweifachen Projektverlängerung von jeweils drei Monaten geführt haben. Dazu zählten die COVID-19-Pandemie, globale Lieferengpässe in der Chipindustrie sowie die Hochwasserkatastrophe 2021 in Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz. Insbesondere in der Beschaffung und Lieferung wichtiger technischer Hardware und Bauwerkstoffe kam es somit zu erheblichen Zeitverzügen. Trotz dieser widrigen Voraussetzungen, konnte die Testfelder erfolgreich aufgebaut und das Projektziel erreicht werden.

Institut für Straßenwesen (isac) – RWTH Aachen University

Für die Errichtung der Testfelder im öffentlichen Straßenraum war im Rahmen des Projekts die Beauftragung von Firmen mit Planungsrechten und Fachkompetenzen zu den Planungs- und Bauarbeiten von Verkehrseinrichtungen erforderlich. Das isac stieg daher im Projektmonat 9 (September 2020) als Projektpartner in das Projekt ein, um das ika bei Koordination der Baumaßnahmen der Testfelder Autobahn und Landstraße zu unterstützen.

Während des Projektes stellten die Umsetzung der Baumaßnahmen und die Verfügbarkeit der Baumaterialien weitere Randbedingungen dar. Im Testfeld Land an der B56 und im Testfeld Autobahn an der A44 sollten neue Masten im Straßenseitenraum aufgestellt werden, an welchen Sensorikmodule, Solarpaneele und weitere Hardwarekomponenten installiert wurden. Dies bedurfte einer komplexen und umfangreichen baulichen Planung, Prüfung der relevanten Regelwerke (beispielsweise: Die Richtlinie für passive Schutzeinrichtungen) sowie entsprechenden Durchführung von Baumaßnahmen.

MOOVE GmbH:

Das Forschungsprojekt wurde unterstützt durch den Bund (BMDV). Durch den Firmensitz der MOOVE am Campus Melaten der RWTH in Aachen war ein schneller und reger Austausch mit dem ika möglich.

Aufgrund des Prototypen-Status der Versuchsträger, wurden Testfahrten nur mit Sicherheitsfahrern durchgeführt. Durch die Abhängigkeit von Zulieferern mit Hinblick auf Zulassungsbehörden des Straßenverkehrsamts konnten erste Testfahrten nur auf abgeschlossenen Testgeländen durchgeführt werden. Weitere Testfahrten auf öffentlicher Straße (Testfeld Stadt am Campus Melaten) wurden unter den gegebenen Möglichkeiten mit zusätzlichen Sicherheitsvorkehrungen durchgeführt. Hierzu wurden Teilsperrungen der Straßenabschnitte des Testfeldes an geeigneten Wochenendtagen vorgenommen, um die Sicherheit aller Verkehrsteilnehmenden zu gewährleisten und sich an geltende Rechtsvorschriften zu halten.

Ford-Werke GmbH:

Das Vorhaben wurde durch das BMDV gefördert und hatte eine Laufzeit von 27 Monaten. Vor allem bedingt durch die COVID-19-Pandemie und eine schwierige Liefersituation von Hightech-Komponenten ist es zu Verzögerungen gekommen, sodass die ursprünglich

geplante Laufzeit von 21 Monaten nicht eingehalten werden konnte und zweimalig verlängert wurde. Eine Rückrufaktion des Testfahrzeug betreffend hat zu einer Verzögerung von ca. acht Monaten beim Aufbau des Fahrzeuges geführt. Durch die zweimalige Projektverlängerung sowie einem verstärkten Einsatz von Simulationen konnte dennoch ein Großteil der Ziele erreicht werden.

Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen:

Seit dem 01.01.2021 ist die Autobahn GmbH des Bundes zuständig für die Autobahnen in Deutschland. Für das Projekt ACCorD bedeutete dies die Aufteilung von Zuständigkeiten, die zuvor in einer Hand in die neuen Strukturen zweier Organisationen:

Straßen.NRW:

- Projektpartner im Projekt: Betreuung von Arbeitspaket 1, Leitung Arbeitspaket 2 und Unterstützung von Arbeitspaket 5 (*Landesmobilitätszentrale NRW*)
- Zuständig für die Bundesstraße A55 (*Regionniederlassung Vile-Eifel*)

Niederlassung Rheinland der Autobahn GmbH des Bundes:

- Betreuung von Arbeitspaket 1 (A44) (*Verkehrszentrale Leverkusen*)
- Zuständig für die Bundesautobahn A44 und die Autobahnanschlussstelle Alsdorf (*zuständige Verkehrsbehörden*)
- Unterstützung bei der virtuellen Netzbeeinflussung, beispielsweise bei der Strategieentwicklung oder bei der Versendung der Hinweise und Umleitungsempfehlungen an den MDM (*Verkehrszentrale Leverkusen*)

Diese Umstrukturierungen (insbesondere der Wechsel der Projektleitung) hat zu einigen Reibungsverlusten geführt. Darüber hinaus hat der Umstand, dass die beiden geplanten ACCorD Projektstellen innerhalb von Straßen.NRW nicht für zwei Jahre besetzt werden konnten, die Arbeiten beim Aufbau der Landesmobilitätszentrale NRW und im Projekt eingeschränkt.

PTV Planung Transport Verkehr GmbH:

Durch die COVID-19-Pandemie und die schwierige Liefersituation von Hightech-Komponenten kam es einerseits zu zeitlichen Verzögerungen im Projekt. Andererseits konnten die für die Arbeiten der PTV erforderlichen Fahrzeugdaten, nicht wie ursprünglich geplant bereitgestellt werden. Es wurde jedoch ein Lösungsansatz entwickelt, der es ermöglichte, die Forschungsarbeiten zum lateralen Fahrzeugverhalten mit Daten des highD-Datensatzes durchzuführen. Dadurch konnten die Arbeiten der PTV erfolgreich, mit weniger Zeitverzug als bei Verwendung der geplanten Fahrzeugdaten durchgeführt werden.

Stadt Aachen:

Neben den rechtlichen Randbedingungen und den damit einhergehenden Genehmigungsfragen, waren für eine Stadt wie Aachen insbesondere die infrastrukturellen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen von besonderer Bedeutung für die Verwirklichung der Projektziele. Die aber wohl größte Herausforderung stellte die über den Großteil der Projektlaufzeit existierende COVID-19-Pandemie und die damit einhergehenden Kontaktbeschränkungen sowie Restriktionen für die Durchführung von Veranstaltungen dar. Die im Projektantrag beschriebenen Maßnahmen mussten daher kontinuierlich den neuen

Lebensrealitäten angepasst werden. So musste beispielsweise das ursprüngliche Konzept des Mobility Stores angepasst und die Eröffnung der neuen Anlaufstelle im OecherLab mehrfach verschoben werden. Auch Partizipationsveranstaltungen konnten auf Grund der pandemischen Lage nicht wie geplant stattfinden und mussten verschoben oder rein digital umgesetzt werden. Neben der COVID-19-Pandemie, gab es innerhalb der Projektlaufzeit insgesamt drei Personalwechsel in der Projektleitung von ACCorD bei der Stadt Aachen.

Vodafone GmbH:

Die Anwendungsfälle aus ACCorD gehen deutlich über den aktuellen Stand der Wissenschaft und Technik hinaus, welche zukünftige Kommunikationsinfrastrukturen erforderlich machen. Die Realisierung dieser Anwendungsfälle erfordert signifikante Investitionen seitens Vodafone und UA, die weit über den vorgesehenen Netzausbau hinausgehen. Um den weit gespannten Projektumfang ermöglichen zu können, sind somit weitreichende Investitionen in die Kommunikationsinfrastruktur erforderlich.

Um sicherheitsrelevante und nicht-sicherheitsrelevante Nachrichten zu unterstützen, sollten die in der C-V2X-Kommunikation verwendeten Mobilfunktechnologie verschiedene Dinge gleichzeitig unterstützen. Sie müssen in einem sehr dynamischen Umfeld mit hohen Relativgeschwindigkeiten zwischen Sendern und Empfängern operieren, und sie müssen extrem niedrige Latenzzeiten in den sicherheitsrelevanten Applikationen unterstützen:

- 1) Die Validierung von automatisierten und vernetzten Fahrzeugen erfordert theoretisch Feldversuche mit mehreren Milliarden Kilometern auf öffentlichen Straßen, um alle relevanten Szenarien zu erfassen. Dies ist weder mit akzeptablem Zeitaufwand noch zu akzeptablen Kosten möglich.
- 2) Für zahlreiche Arbeitsschritte bei der Entwicklung von automatisierten und vernetzten Fahrzeugen sowie von vernetzter Infrastruktur wird eine große Datenbasis benötigt, beispielsweise zur Identifikation von relevanten Szenarien für die Absicherung von automatisierten Mobilitätssystemen, für die Validierung von Modellen und Simulationsumgebungen, zur Erzeugung von Trainingsdaten für Künstliche Neuronale Netze oder zur Wirksamkeitsanalyse von automatisierten Mobilitätssystemen. Die Erfassung und Verarbeitung dieser Daten ist für einzelne Akteure sehr aufwändig.
- 3) Eine wichtige Voraussetzung für die Einführung von automatisierten und vernetzten Fahrzeugen ist die Akzeptanz durch die Nutzenden sowie eine koordinierte Abstimmung zwischen Forschungsprojekten mit ähnlichem thematischen Fokus.

1.3. Planung und Ablauf des Vorhabens

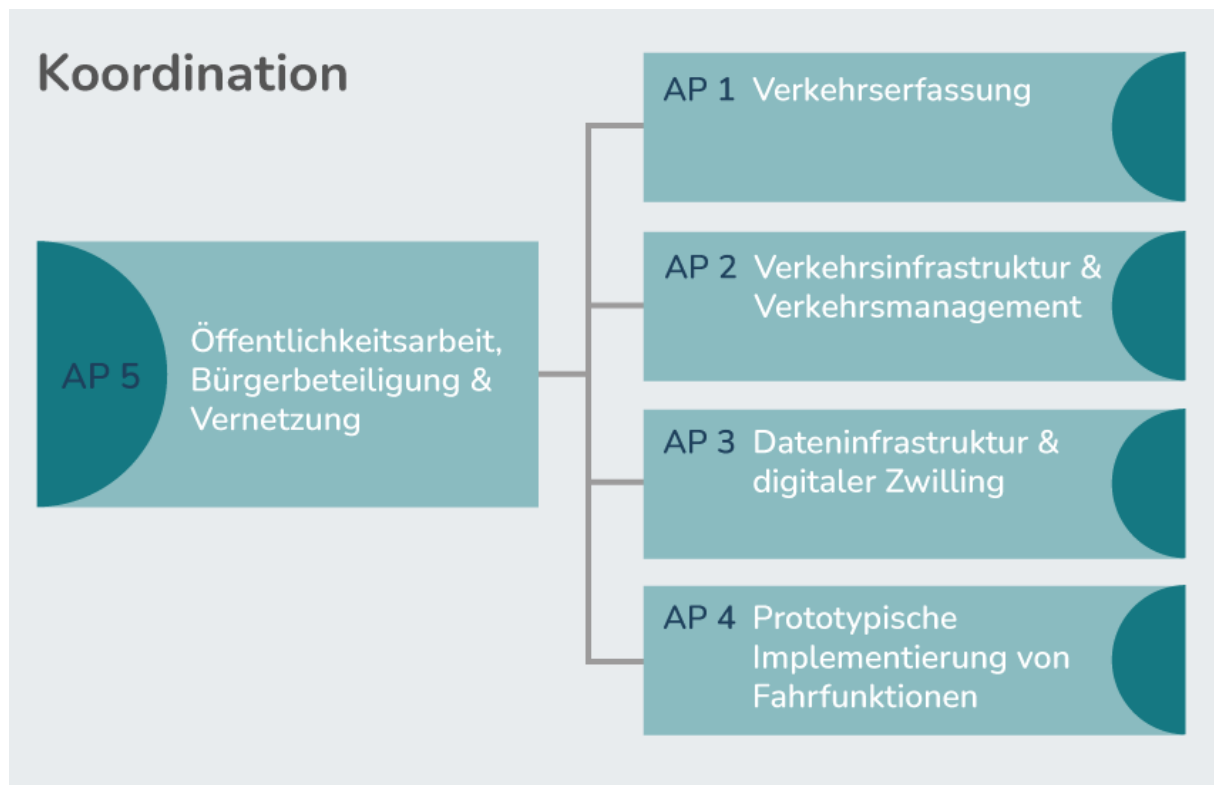


Abbildung 1: Darstellung der Arbeitspakete im Projekt.

Institut für Kraftfahrzeuge (ika) – RWTH Aachen University

Die Arbeiten des ika umfassten folgende Meilensteine, die aufgrund der in Kapitel 1.2 genannten Voraussetzungen und Umstände insgesamt um einige Monate in Verzug geraten sind. Der zeitliche Verzug konnte jedoch mit Hilfe der Projektlaufzeitverlängerung von insgesamt sechs Monaten kompensiert werden.

Tabelle 1 Meilensteine Institut für Kraftfahrzeuge (ika) – RWTH Aachen University

Meilensteine	Projektmonat (Soll)	Projektmonat (Ist)
Anforderungen an Messstationen vollständig analysiert sowie Soft- und Hardwarekonzept vollständig erarbeitet.	M2 Februar 2020	M5 Mai 2020
Anforderungen an Datenbank, Datenmarktplatz, Simulationsumgebung und digitalen Zwilling vollständig erarbeitet.	M5 Mai 2020	M5 Mai 2020
Einrichtung der Projektwebsite vollständig abgeschlossen	M6 Juni 2020	M21 September 2021 17.09.2021
Hochgenaue digitale Karten für alle Streckenabschnitte vollständig erstellt	M9 September 2020	M10 Oktober 2020
Messstationen und Infrastruktur im Bereich Campus Melaten aufgebaut	M11 November 2020	M20 August 2021
Datenbank zur dauerhaften Speicherung und Bereitstellung auf gezeichneter Verkehrsdaten vollständig eingerichtet	M11 November 2020	M16 April 2021

Öffentliche Zwischenpräsentation und -demonstration	M12 Dezember 2020	entfällt (bedingt durch Pandemie)
Messstationen und Infrastruktur im Bereich B56 und A44 aufgebaut	M13 Januar 2021	M27 März 2022
Datenmarktplatz zur Bereitstellung von Echtzeitdaten verschiedener Akteure vollständig eingerichtet	M14 Februar 2021	M24 Dezember 2021 (für Campus); M27 März 2022 für B56 und A44
Vernetzung der Messstationen mit einem zentralem Datenserver umgesetzt	M15 März 2021	M22 Oktober 2021 (für Campus), M27 März 2022 für B56 und A44
Gesamtsystem inklusive erprobter Fahrfunktionen ist validiert	M21 September 2021 (M22 Oktober 2021)	M27 März 2022
Öffentliche Abschlusspräsentation und –demonstration	M21 September 2021	M27 29.03.2021

Institut für Straßenwesen (isac) – RWTH Aachen University

Das isac stieg ab Projektmonat 9 (September 2020) als Projektpartner in das Projekt ein, um bei der Koordination der Baumaßnahmen der Testfelder Autobahn und Bundesstraße das ika zu unterstützen. Diese Aufgaben wurden im Rahmen des Arbeitspaket 1 durchgeführt. Das isac beauftragte die Firma AVT-Consult GmbH als Unterauftragnehmer, die mit der Erstellung der Ausschreibungsunterlagen der Standorte beziehungsweise Messstationen in den Testfeldern Land an der B56 und Autobahn an der A44 im Projektmonat 11 (November 2020) beauftragt wurden. Im Testfeld Autobahn A44 mussten die Standorte 9-11 wegen zuvor nicht bekannten Kabeltrassen im Projektmonat 17 (Mai 2021) umgeplant werden und zusätzliche Böschungssicherungen vorgesehen werden. Diese verursachten Verspätungen im Projekt und führten zu einer verzögerten Ausschreibung der Beauftragung der Bauausführungen. Die Planungsarbeiten wurden im Projektmonat 18 (Juni 2021) letztendlich abgeschlossen.

Die Firma Greenway Systems GmbH wurde als Unterauftragnehmer für die Bauarbeiten im Projektmonat 20 (August 2021) beauftragt. Am Anfang des Aufbaus der Standorte traten Probleme auf, da bedingt durch die COVID-19-Pandemie und durch die Hochwasserkatastrophe 2021 in Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz ein Mangel der Baumaterialien für die Fundamente entstanden ist. Diesbezüglich wurden die Bauarbeiten bei diesen Testfeldern zwei Monaten lang unterbrochen und dies führte zur verspäteten Fertigstellung um weitere drei Monate.

MOOVE GmbH:

Das Arbeitspaket 4 „Prototypische Implementierung von Fahrfunktionen“ wurde in mehrere Meilensteine aufgeteilt. Das Erreichen der Meilensteine wurde in quartalsweisen Konsortialtreffen mit den Projektpartnern besprochen und verifiziert.

Tabelle 2: Meilensteine MOOVE GmbH

Meilensteine	Projektmonat (Soll)	Projektmonat (Ist)
Anforderungen an die Validierungsmethodik fertiggestellt	M10 Oktober 2020	M10 Oktober 2020
Integration der hochgenauen digitalen Karte in die Fahrzeugarchitektur	M12 Dezember 2020	M12 Dezember 2020
Erster Stand der entwickelten Algorithmen der verschiedenen Domänen Lokalisierung, Wahrnehmung etc. fertiggestellt	M12 Dezember 2020	M12 Dezember 2020
Erster Funktionstest der durchgängigen Werkzeugkette zur Validierung mit ersten Testdaten.	M14 Februar 2021	M24 Dezember 2021
Erprobung ausgewählter Fahrfunktionen anhand von aufgezeichneten Realdaten (Shadowmode)	M17 Mai 2021	M23 November 2021
Pilotbetrieb mit einem bekannten Personenkreis für das städtische Anwendungsszenario.	M20 August 2021	M23 November 2021
Konzept für den Einsatz von zukünftigen Remote Operatoren erstellt	M21 September 2021	M22 Oktober 2021

Ford-Werke GmbH:

Als Nutzender der Daten, der im Projekt aufgebauten Infrastruktur, hat Ford zunächst Anforderungen an die Referenzsensorik und die vernetzten LSA mitdefiniert. Anschließend wurden Konzepte für die Fahrfunktionen sowie den Aufbau der Testfahrzeuge erstellt. Die Fahrfunktionen wurden modellhaft implementiert und zunächst simulativ unter Nutzung einer Vielzahl von Szenarien, inklusive Störgrößen, validiert. Parallel wurden die Versuchsfahrzeuge aufgebaut und alle Algorithmen mit Eingangsdaten getestet. Erste Testungen zur Aufnahme von Logdaten erfolgten ohne Ansteuerung des Fahrzeuges. Die aufgenommenen Daten wurden in die Re-Simulation importiert und die Algorithmen so weit optimiert, bis erste Testungen mit Ansteuerung des Fahrzeuges auf öffentlichen Straßen erfolgen konnten. Die dann durchgeführten Testungen haben wertvolle Erkenntnisse geliefert.

Im Anwendungsszenario „Land“ und „Autobahn“ ist es während der Projektlaufzeit zu Änderungen in der Zielsetzung gekommen. Der Fokus wurde auf das Anwendungsszenario „Autobahn“ reduziert und dort vorrangig auf Kernthemen, die den Unterschied zwischen assistiertem Fahren und höherautomatisiertem Fahren ausmachen. Mit dem aufgebauten Testfahrzeug wurden Fahrversuche auf Teststrecken sowie auf öffentlichen Straßen unternommen und Daten gesammelt, beispielsweise zur Bewertung eines Fahrerzustands-Beobachtungssystem, von Imaging Radaren oder RTK-Systemen mit alternativen Korrekturdatenquellen.

Tabelle 3: Meilensteine Ford-Werke GmbH

Meilensteine	Projektmonat (Soll)	Projektmonat (Ist)
Versuchsträger aufgebaut und betriebsbereit für Erprobung im Korridor	M16 April 2021	M20/ M21 August/ September 2021
Funktionserprobung abgeschlossen, Ergebnisse ausgewertet, Funktionen demonstrationsbereit	M21 September 2021	M27 März 2022

Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen:

Die inhaltlichen Arbeiten des Straßen.NRW beschränkten sich auf das Arbeitspaket 2 „Verkehrsinfrastruktur und Verkehrsmanagement“. Dabei wurden folgende Anwendungsfälle abgedeckt:

- Bereitstellung von Prognosen der nächsten Schaltzeiten von Festzeit- und verkehrsabhängig gesteuerten LSA per V2X-Kommunikation an das Fahrzeug
- Umsetzung von Grünzeitanforderungen von ÖPNV oder Einsatzfahrzeugen per V2X-Kommunikation
- Auswertung von Fahrzeugmeldungen für eine Verkehrslage im LSA-Umfeld
- Virtuelle Netzbeeinflussung: Bereitstellung von Routenempfehlungen über den MDM der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)
- Bereitstellung von Baustelleninformationen inklusive Umleitungsstecken über den MDM

Der Ablauf der Arbeiten folgte dem Schema:

- Vorbereitende Maßnahmen und Definition der Anforderungen (Lastenhefterstellung)
- Feinspezifikation von System und Anwendung (Pflichtenhefterstellung)
- Realisierung
- Testbetrieb und Evaluierung

Für das Arbeitspaket wurden drei Meilensteine definiert:

Tabelle 4: Meilensteine Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen

Meilensteine	Projektmonat (Soll)	Projektmonat (Ist)
Anforderungen an virtuelle Netzbeeinflussung vollständig analysiert sowie Soft- und Hardwarekonzept vollständig erarbeitet, so wie Schnittstellen unterhalb der Projektpartner definiert	M2 Februar 2020	M14 Februar 2021
Virtuelle Netzbeeinflussung für die Autobahn und das nachgeordnete Netz vollständig implementiert	M12 Dezember 2020	M20 August 2021
LSA mit RSU ausgestattet	M15 März 2021	M20 August 2021

Die Meilensteine konnten innerhalb der ursprünglichen Projektlaufzeit (August 2021) abgeschlossen werden. Der überwiegende Großteil des Aufwandes wurde dabei in die Ausschreibung und Umsetzung der V2X-Technologie für die sechs LSA südlich von Herzogenrath und von Alsdorf verwendet. Der Aufwand für die virtuelle Netzbeeinflussung und Baustellenmeldungen hielt sich dagegen im Rahmen, da die Entwicklung der Umleitungsstrategien und deren Anzeige inklusive ihrer Übertragung an dem MDM in der Hand von Straßen.NRW in Zusammenarbeit mit der Verkehrszentrale Leverkusen lag und frühzeitig abgeschlossen werden konnte.

Für die Planung, Durchführung und Prüfung der LSA-Anwendungsfälle war kein Meilenstein vorgesehen. Die Zeit von der Ausstattung der LSA mit RSU und deren zentraler Anschluss bis zum Projektende, konnte für die erfolgreiche Umsetzung der drei LSA-Anwendungsfälle genutzt werden. Eine Signalbaufirma hatte massive Probleme, die Anwendungsfälle umzusetzen. Sie will zumindest die einwandfreie Funktion der LSA-Schaltzeitprognose nachträglich im Anschluss an das Projekt zeigen.

PTV Planung Transport Verkehr GmbH:

Die Arbeiten der PTV fanden im Wesentlichen im Arbeitspaket 3 „Dateninfrastruktur und digitaler Zwilling“ statt. Dies umfasste auch die Abstimmungen mit den Projektpartnern, die an diesem Arbeitspaket beteiligt waren. Darüber hinaus nahm die PTV an den regelmäßig stattfindenden Steuerkreism Meetings (alle zwei Wochen) und Konsortialtreffen (quartalsweise) teil, um gemeinsam den Stand der Arbeiten und die nächsten Schritte zu besprechen.

Gegenüber der ursprünglichen Planung wurden folgende zwei Punkte im Verlauf des Projektes angepasst, um den Erfolg der Arbeiten sicherzustellen: Zum einen wurde aufgrund von Änderungen in den V2X-Testfeldern eine zusätzliche Simulationsumgebung durch die PTV aufgebaut. Zum anderen wurden aufgrund der Verzögerung der Fahrzeugdaten aus der Referenzsensorik, Daten des highD Dataset genutzt, um die Forschungsarbeiten zum lateralen Fahrzeugverhalten durchzuführen.

Tabelle 5: Meilensteine PTV Planung Transport Verkehr GmbH

Meilensteine	Projektmonat (Soll)	Projektmonat (Ist)
Simulationsmodelle für alle Streckenabschnitte vollständig erstellt	M20 August 2021	M27 März 2022
Allgemeine und mathematische Beschreibung des Verhaltensmodells zur Beschreibung lateraler Fahrzeugbewegungen vorliegend	M20 August 2021	M21 September 2021

Stadt Aachen:

Um die zentralen Projektziele zu erreichen, war die Stadt Aachen in zwei Arbeitspaketen eingebunden.

Im Arbeitspaket 2 „Verkehrsinfrastruktur und Verkehrsmanagement“ war die Stadt Aachen für die Ausstattung von LSA im Stadtgebiet mit RSU zur bidirektionalen Kommunikation (Meldungen von Fahrzeugen und LSA) verantwortlich. Zudem war die Verarbeitung empfangener Fahrzeugmeldungen zu Verkehrslage- und Störungsinformationen und die Bereitstellung von Signalzuständen der LSA sowie Prognosen via V2X-Kommunikation (lokal), via Mobilfunk und über den MDM (zentral) geplant. Im Oktober 2020 konnte die Ausschreibung für die Umrüstung von vier LSA entlang der Vaalser Straße für V2X-Kommunikation veröffentlicht werden. Nachdem die Siemens Mobility GmbH nach einer intensiven fachlichen und rechtlichen Prüfung Ende 2020 mit der Umrüstung der LSA entlang der Vaalser Straße beauftragt wurde, konnten die ersten Umbauarbeiten bis Mai 2021 abgeschlossen werden. Daran anschließend wurde Siemens Mobility GmbH mit einer Erweiterung des Testfeldes um vier weitere LSA beauftragt. Bis Ende 2021 konnte die Umrüstung der weiteren vier LSA und ebenso die Erweiterung des Verkehrsrechners (SCALA-VSR) der Stadt Aachen abgeschlossen werden.

Als Hauptverantwortliche für die Arbeitspakete 5.1 „Öffentlichkeitsarbeit und Bürgerpartizipation“ sowie 5.2 „Regionale und überregionale Vernetzung“ hatte die Stadt Aachen folgende Meilensteine geplant. Die Einrichtung einer digitalen und physischen Anlaufstelle (Mobility Store), eine öffentliche Zwischenpräsentation und –demonstration sowie die Durchführung von Bürgerwerkstätten und eine öffentliche Abschlusspräsentation und –demonstration im Rahmen einer Lange Nacht der Mobilität 4.0. Durch die COVID-19-Pandemie musste diese Planung an das dynamische Pandemiegesehen angepasst werden. Im Februar 2021 wurde ACCorD der Stadtgesellschaft als Teil des Wissenschafts- und Innovationsschaufensters präsentiert, indem eine leerstehende Einzelhandelsimmobilie in der Aachener Innenstadt mit innovativen Mobilitätsprojekten, unter anderem ACCorD, gestaltet wurde. In diesem Zusammenhang wurde bereits die Eröffnung der zentralen Anlaufstelle für Mobilität 4.0 angekündigt, die im März als Teil des OecherLab im Rahmen einer hybriden Veranstaltung eröffnete. In den ersten Monaten (März – Juni) war das ACCorD Projekt durch ein erklärendes Poster sowie durch einen Erklärfilm zum vernetzten und autonomen Fahren von Ford im OecherLab vertreten. Zudem präsentierte Ford im OecherDialog mögliche Anwendungsfälle für das vernetzte und autonome Fahren, um diese Technologien der Stadtgesellschaft näher zu bringen. Von Juni bis September 2021 wurde das ACCorD Exponat von Vodafone in der öffentlichen Ausstellung präsentiert. Im Rahmen dieses Zukunftsraums, fand im Juli zudem eine Veranstaltung der Reihe OecherDialog statt, bei dem das ika das Projekt einem digitalen Auditorium vorstellte. Im Rahmen des repräsentativ für die Aachener Stadtbevölkerung erhobenen OecherPanel wurde für das Projekt ACCorD im Sommer 2021 ein qualitativer Konzepttest durchgeführt. Unter dem Titel „Autonomes Fahren erleben“ wurde den Befragten ein ca. halbseitiger Text vorgelegt, welcher die Projektziele in allgemeinen verständlichen Worten erklärte. Hierbei wurde ein Visionsbild gezeichnet, welches den Befragten erklärte, dass autonomes Fahren zukünftig in abgesteckten Bereichen im Aachener Stadtbild getestet und von Bürger*innen probeweise erlebt werden könnte. Anschließend hatten die Befragten die Möglichkeit zu signalisieren, welche Teile des Konzeptes sie positiv und inspirierend beziehungsweise negativ oder beängstigend wahrnehmen. Das Konzept wurde von den Befragten zwar noch als futuristischer Plan angesehen, aber auch als vielversprechend für die Entwicklung des Mobilitätskonzeptes und der Stadt als Ganzes beurteilt. Im Vergleich zu anderen Mobilitätsformen (beispielsweise Flugtaxi, normales Shuttle) wurde es als potentiell günstigste Fortbewegungsmöglichkeit der Zukunft eingestuft. Die vor dem Hintergrund der COVID-19-Pandemie auf 2021 verschobenen zielgruppenspezifischen Bürgerwerkstätten konnten im Juli, September und November 2021 umgesetzt werden. Eingebettet in das Rahmenprogramm der Europäischen Mobilitätswoche fand im September 2021 zudem die ursprünglich geplante Lange Nacht der Mobilität 4.0 als Festival der Mobilität im Kapuzinerkarree statt. Im März 2022 wurde schließlich ein Imagefilm produziert, der über die städtischen Social-Media-Kanäle sowie die Projektwebsite veröffentlicht und den Projektpartnern zur Nutzung zur Verfügung gestellt wird, um auf die Projekterfolge in der Region aufmerksam zu machen.

Tabelle 6: Meilensteine Stadt Aachen

Meilensteine	Projektmonat (Soll)	Projektmonat (Ist)
Einrichtung einer digitalen und physischen Anlaufstelle (Projektwebseite, Mobility Store)	M6 Juni 2020	M15 März 2021
Öffentliche Zwischenpräsentation und -demonstration (Durchführung Bürgerwerkstatt Nutzerakzeptanz)	M12 Dezember 2020	M23 November 2021

Öffentliche Abschlusspräsentation und – demonstration Lange Nacht der Mobilität 4.0 -> Festival der Mobilität	M21 September 2021	M21 17.09.2021
---	-----------------------	-------------------

Vodafone GmbH:

Die Grundlage für die Erprobung und Weiterentwicklung von automatisierten und vernetzten Fahrzeugen ist die Infrastruktur. Hier müssen Interfaces zu den Backend-Systemen der verschiedenen Projektpartner etabliert werden, um Verkehrsinformationen über Mobilfunk bereitzustellen.

Dies wird unter anderem mit dem VIP Gateway (Vodafone Gateway) und dem C-V2X Server ermöglicht und realisiert. Das VIP Gateway nimmt Informationen entgegen wandelt diese und gibt gefilterte Informationen an den C-V2X Server weiter.

C-V2X - Geo-Messaging-Server ist eine Funktion mit den Nachrichten in Abhängigkeit vom geografischen Standort des Empfängers oder eine Gruppe von Empfängern empfangen beziehungsweise senden werden kann. Ein Benutzer, der sich für eine Multicast Adresse registriert hat, kann Nachrichten für diesen Dienst erhalten. Dieser Service soll nun erweitert werden, um verschiedenste Protokolle und einer Implementierung umfassender Verfahren der IT-Security.

Risiken

CAM Nachrichten:

CAM Nachrichten (Positionsdaten) werden im 10HZ Rhythmus von den Fahrzeugen/Versuchsträgern gesendet. Der ständige Aufbau und Abbau der Session kann im UU Link (LTE) bei großer Marktdurchdringung zu Problemen führen. Hier wird geprüft, ob beispielsweise Multicast / Broadcast das geeignete Mittel zur Lösung des Problems darstellt.

Bandbreite / Latenz:

Durch die hohe Datenrate, die von Sensoren über das shared-medium Mobilfunk gesendet werden, kann es zu Kapazität Engpässen in unserem Produktionsnetz kommen. Hier wird der Status geprüft und gegebenenfalls die Kapazität erweitert (beispielsweise weitere Frequenzen, 5G, weitere Standorte, Mobile Basisstation-MRT).

1.4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Institut für Kraftfahrzeuge (ika) – RWTH Aachen University

Das ika knüpfte an wissenschaftliche und technische Erkenntnisse der öffentlich geförderten Projekte HDV-Mess und KoMoD an, an denen es maßgeblich beteiligt war. Ziel von HDV-Mess war es, mit Hilfe mobiler modularer Messaufbauten das Verkehrsgeschehen an verschiedenen Knotenpunkten im Straßenverkehr hochgenau zu erfassen und automatisiert auszuwerten. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse im Bereich der Konzeption und des Baus solcher infrastrukturseitigen Sensorikeinrichtungen sowie der maschinellen Wahrnehmung in Kamera- und LiDAR-Sensorrohdaten mit Hilfe modernster Computer Vision Algorithmen sind unmittelbar in das ACCorD Projekt eingeflossen. Das Projekt HDV-Mess startete bereits im Juli 2018 lief jedoch von Januar 2020 bis Dezember 2021 parallel zu ACCorD.

Ziel von KoMoD war der Aufbau eines V2X-Testfeldes in Düsseldorf sowie die Entwicklung und Erprobung automatisierter und vernetzter Fahrfunktionen im Realverkehr. Auch die in diesem Vorhaben gewonnenen Erkenntnisse, insbesondere im V2X-Bereich, sind direkt in das ACCorD Projekt eingeflossen. Nach erfolgreichem Abschluss von KoMoD im Juni 2019 folgte das Nachfolgeprojekt KoMoDnext, dessen Projektzeitraum sich mit dem ACCorD-Projektzeitraum deckte (Januar 2020 bis März 2022) und somit ebenfalls für einen Informations- und Wissensaustausch untereinander sorgte.

Institut für Straßenwesen (isac) – RWTH Aachen University

Das isac sammelte Erfahrungen im Bereich der Erfassung von Fahrzeugtrajektorien mittels Wärmebildkameras im durch die Europäische Kommission geförderten Projekt MeBeSafe. Im Projekt wurde ein Testfeld aufgebaut, in dem drei Wärmebildkameras nacheinander entlang einer Auffahrt installiert wurden. Im Testfeld wurden sogenannte Nudging Maßnahmen mit dem Ziel erprobt, das Verhalten der Fahrenden zu beeinflussen, nämlich die Fahrzeuge zu verlangsamen. Um diese Maßnahmen wirken lassen zu können, war es unabdingbar, die Position der Fahrzeuge in der Auffahrt zu jedem Zeitpunkt zu kennen. Das isac entwickelte zu diesem Zweck eigene Bildanalyseverfahren, damit Fahrzeuge im Videobild erkannt (detektiert) und in den folgenden Videobildern, auch von den anderen, nacheinander platzierten Kameras lückenlos verfolgt werden können. Die Nutzung der Wärmebildkameras hat mehrere Vorteile bei der Trajektorienerfassung, wie zum Beispiel die Fähigkeit, wetter- und tageszeitunabhängig in Betrieb zu sein. Diese Erkenntnisse und Vorteile wurden im Projekt ACCorD genutzt, um die Sensorik im Testfeld Autobahn an der A44 mit weiteren sieben Wärmebildkameras zu vervollständigen.

Bei der Planung und Aufbau der Testfelder Land an der B56 und Autobahn an der A44 wurden die aktuell gültigen Regelwerke und Richtlinien (beispielsweise die Richtlinien für passive Schutzeinrichtungen RPS) berücksichtigt und eingehalten.

MOOVE GmbH:

Als Plattform für den Aufbau eines Forschungsfahrzeuges, welches als automatisiertes und elektrisch betriebenes Shuttle eingesetzt werden kann, wurde der von MOOVE entwickelte People Mover genutzt. Die verwendete Sensorik, welche in das Fahrzeug für die Entwicklung automatisierter Fahrfunktionen integriert wurde, richtet sich nach dem Stand der Technik in der Automobilbranche und Robotik im Bereich der Umfeldwahrnehmung. Hierzu konnte auf

bereits etablierte Sensorhersteller (Velodyne, IBEO) im Bereich LiDAR zurückgegriffen werden.

Des Weiteren wurde das ROS als Basis genutzt, um die softwareseitige digitale Fahrzeugarchitektur aufzubauen. Die hier entwickelten Komponenten (Sensordatenverarbeitung, Umfeldwahrnehmung, Detektion, Lokalisierung und Pfadplanung) konnten somit separat entwickelt und getestet werden. Insbesondere bei der Sensordatenfusion wurde auf bereits etablierte Methoden zurückgegriffen (Kalman-Filter) und bei der Lokalisierung (Monte-Carlo-Lokalisierung).

Ford-Werke GmbH:

Es wurde an Arbeiten aus vorangegangenen öffentlich geförderten und internen Projekten angeknüpft. In Bezug auf öffentlich geförderte Projekte ist insbesondere das Projekt KoMoD (2017-2019) zu erwähnen. Im Rahmen dessen wurde ein Ampelphasenassistent (GLOSA) entwickelt und getestet, dieser diente als Ausgangspunkt für die Aktivitäten im Anwendungsszenario „Vernetzte Lichtsignalanlagen“.

Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen:

Die bidirektionale Übertragung von Meldungen zwischen RSU an LSA und Fahrzeugen mit V2X-Technologie wurde bereits in zahlreichen Projekten untersucht, die meist im städtischen Umfeld stattfanden. Eins der aktuellen Beispiele ist das Forschungsprojekt KoMoD, in dem ebenfalls Schaltzeitprognosen und Grünzeitanforderungen an LSA untersucht wurden. An die Ergebnisse von KoMoD wird in ACCorD angeknüpft. Im Unterschied zu den bisherigen Projekten konzentrieren sich die ACCorD Anwendungsfälle für LSA jedoch auf einen zentralen, herstellerunabhängigen Anschluss der LSA und RSU im eher ländlichen Raum. Hierfür werden die aktuellen Standards für V2X (ETSI) und LSA (OCIT) auf ihre Tauglichkeit untersucht.

Für die Beeinflussung des Verkehrs im nordrhein-westfälischen Bundesautobahnnetz wurde in der Verkehrszentrale NRW eine Netzbeeinflussungsanlage entwickelt, die situationsbedingt Hinweise und Umleitungsempfehlungen automatisch generiert und an die dynamischen Wegweiser mit integrierter Stauanzeige (dWiSta) an relevanten Autobahnknotenpunkten überträgt. Im Rahmen von ACCorD werden diese Hinweise und Umleitungsempfehlungen für die dWiSta-Standorte, aber auch beliebig andere Standorte (= virtuelle Netzbeeinflussung) als strategische Routen über den MDM publiziert, wo sie durch einen Service Provider an die Fahrzeuge weitergeben werden können.

Die Stabstelle Baustellenkoordinierung von Straßen.NRW koordiniert mit Unterstützung der international verbreiteten Software TIC des Herstellers GEWI die Umsetzung von Baumaßnahmen mit den beteiligten Instanzen (Niederlassungen, Kommunen, Bahn und andere ÖV-Betreiber). Im Rahmen von ACCorD wurden die MDM-Schnittstelle des TIC zur Publizierung der Baustellen um ergänzende Informationen wie beispielsweise Umleitungen erweitert.

Für Besonderheiten im kommunalen Bereich beziehungsweise im Netz der Bundes-, Landes- und Kreisstraßen gegenüber dem Autobahnnetz wurden spezifische Ausprägungen der Software angestoßen und sollen bedarfsgerecht weiterentwickelt werden (TIC kommunal, TIC BLK).

PTV Planung Transport Verkehr GmbH:

Bei Fahrstreifenwechsel gibt es unterschiedliche Phasen, beginnend von der Entscheidung für oder gegen den Fahrstreifenwechsel bis hin zur Ausführung des Fahrstreifenwechsel. Für die unterschiedlichen Phasen gibt es verschiedene Verhaltensmodelle, beispielsweise Sparmann [SP78], Kesting [KE16]. Verglichen zu den Verhaltensmodellen zur Längsbewegung, gibt es sehr wenige Modelle für die Querbewegung und den Fahrstreifenwechsel, weil für diese Verhaltensmodelle eine deutlich höhere Genauigkeit von empirischen Daten benötigt wird. Die Erhebung solcher Daten ist sehr aufwendig. Beispiele von empirischen Studien sind Sparmann [SP78] oder U.S. Department of Transportation [US06]. Das menschliche Verhalten beim Fahrstreifenwechsel unterscheidet sich jedoch regional aufgrund unterschiedlicher Verkehrsregeln und kultureller Gegebenheiten. Daher sind die vorliegenden empirischen Studien nicht übertragbar, um Verhaltensmodelle für den Fahrstreifenwechsel für die lokalen Begebenheiten abzuleiten. Aktuelle Forschungen in diesem Kontext im deutschen Raum waren zu Beginn des Projektes nicht bekannt.

Stadt Aachen:

Der Fachbereich Wirtschaft, Wissenschaft, Digitalisierung und Europa der Stadt Aachen beschäftigt sich seit einigen Jahren intensiv mit dem Thema der Innovationsförderung – speziell auch im Bereich innovativer Mobilitätslösungen. In diesem Zusammenhang wurden beziehungsweise werden bereits zahlreiche Projekte umgesetzt. Insbesondere die Arbeitsergebnisse und Erfahrungen aus den folgenden Projekten und Aktivitäten konnten für das ACCorD Projekt genutzt werden. In den beiden interdisziplinären Innovationsnetzwerken EMA und UAM koordinierte die Stadt Aachen die gemeinschaftlichen Aktivitäten regionaler Stakeholder zur Entwicklung innovativer Mobilitätslösungen zu Land und in der Luft. Daraus entstanden unter anderem folgende Projektvorhaben, in welchen neben der Entwicklung innovativer Mobilitätslösungen (beispielsweise autonomes Fahren, smarte Innenstadtlogistik) auch jeweils ein starker partizipativer Charakter vorhanden war. Im Rahmen der Förderkulisse Digitale Modellkommunen in NRW betreibt der Fachbereich seit Anfang 2021 Aachens erstes smartes Co-Creation Center um gemeinsam mit Innovationstreibenden und der Stadtgesellschaft innovative Zukunftsprojekte für Aachen zu entwickeln. Im Projekt SULEICA wird gemeinsam an einem autonomen Leichtfahrzeug geforscht sowie an Anwendungsfällen für die Aachener Innenstadtlogistik. Im BMBF geförderten Projekt Flow2Work wurde in einem interaktiven Prozess gemeinsam mit Forscher*innen und Mitarbeiter*innen eines Aachener Gewerbegebiets die Voraussetzung für ein innovatives Konzept für die Mitarbeitermobilität erarbeitet. In dem vom BMWi geförderten Forschungsprojekt UrbanMove wurde erstmals in Aachen in Kooperation der Stadtverwaltung, der Hochschule, sowie mit innovativen Unternehmen am autonomen Fahren sowie auch explizit an dessen Akzeptanz geforscht. Im Projekt Care and Mobility Innovation arbeiten die Kommunen der Region Aachen gemeinsam daran, die beiden Leitmärkte Mobilität und Gesundheitswirtschaft zu stärken und weiterzuentwickeln und fokussieren hierbei insbesondere die Förderung innovativer Forschungsvorhaben im Bereich der Cross-Innovationen. In den vom BMVI (jetzt: BMDV) geförderten Projekten SkyCab, RescueCopter, FCNavSkate, EULE und GrenzFlugPlus werden Technologien und Anwendungsfälle für innovative Drohnen entwickelt sowie ein kontinuierlicher Dialog mit der Bevölkerung aufgebaut.

Vodafone GmbH:

C-V2X ermöglicht den Austausch von Informationen zwischen der Verkehrsinfrastruktur und Fahrzeugen, die erwiesenermaßen die Verkehrssicherheit und die Effizienz von

Verkehrssystemen verbessern. Das Konzept des Informationsaustauschs zwischen Fahrzeugen und Infrastruktur, machen den Verkehr sicherer und umweltfreundlicher. Die mit KoMoD eingeführten Technologien (C-V2X-Multicast) und die Vernetzung der Verkehrsinfrastruktur versprechen, Verkehrsstaus zu reduzieren, die schädlichen Folgen des Transports für die Umwelt zu verringern und die Zahl der tödlichen Verkehrsunfälle deutlich zu reduzieren. Im Rahmen von ACCorD sollen die bereits eingeführten Technologien, um weitere Interfaces und Protokolle erweitert werden und ihre Tauglichkeit in einem größeren Testfeld untersucht werden. Auch im Projekt KoMoDNext wird die zugrundeliegende Technologie benutzt und erweitert. Das bereits aufgebaute ECO System wird in einer anderen virtuellen Instanz realisiert und andere Partner werden über das VIP Gateway angebunden.

Vodafone ist auch an dem Forschungsprojekt KoMoDNext beteiligt. Sowohl KoMoD, KoMoDNext als auch ACCorD bauen technisch auf dem gleichen ECO System auf (VIP Labs, VIP Gateway, C-V2X Server). Wie man dem Arbeitsplan und den Angeboten der Lieferanten entnehmen kann, geht es in den Projekten um einen weiteren Ausbau der Verkehrsinfrastruktur mit neuen beziehungsweise erweiterten Interfaces zu den Projektpartnern und eine entsprechende Verbreitung von Verkehrsinformationen via Mobilfunk. Es werden in KoMoDNext andere Akteure und Systeme angebunden (außer MDM) als in ACCorD. In ACCorD werden auch andere/zusätzlich Protokolle unterstützt.

Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden

Institut für Kraftfahrzeuge (ika) – RWTH Aachen University

In der implementierten I2V-Kommunikation wurde auf den aktuellen ETSI-Standard für CPM zurückgegriffen.

Institut für Straßenwesen (isac) – RWTH Aachen University

Nichtzutreffend.

MOOVE GmbH:

Nichtzutreffend.

Ford-Werke GmbH:

Für die V2X-Kommunikation wurden aktuelle ETSI-Standards verwendet.

Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen:

Die bei Straßen.NRW eingesetzte Software (beispielsweise TIC) unterliegt zum Teil lizenzrechtlichen Bedingungen. Derartige Beschränkungen wurden im Rahmen der Ergebnisverwertung aber nicht tangiert.

Die LSA-Anwendungsfälle wurden entsprechend den Use Cases des europäischen C-ITS-Projekts C-ROADS umgesetzt. Dabei wurden die aktuellen ETSI-Standards für V2X-Kommunikation verwendet.

Für die Untersuchung des zentralen Anschlusses der LSA unterschiedlicher Signalbaufirmen wurde auf die Einhaltung des von der Open Traffic Systems City Association e.V. (OCA) spezifizierten Standards OCIT in der Version 3 für Integration von C-ITS angestrebt. Im Laufe des Projekts hat sich gezeigt, dass die Signalbaufirmen derzeit keine einheitliche Implementierung dieses Standards umgesetzt haben.

Für die Übertragung der strategischen Routen über den MDM wurde das DATEX-II-Format der Publikation „Strategisches Routing WWW“ der MDM-Plattform verwendet. Es ist zwar lizenziert aber kostenfrei.

PTV Planung Transport Verkehr GmbH:

Die PTV besitzt bestehende Schutzrechte für das Softwareprodukt PTV Vissim, das teilweise im Rahmen des Projektes eingesetzt wurde. Eine Patentrecherche hat zudem ergeben, dass keinerlei Schutzrechte Dritter existieren, die einer Verwertung der avisierten Ergebnisse entgegenstehen.

Stadt Aachen:

Nichtzutreffend.

Vodafone GmbH:

Nichtzutreffend.

Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste

Institut für Kraftfahrzeuge (ika) – RWTH Aachen University

Für die Literaturrecherche sind am ika die folgenden Informations- und Dokumentationsdienste genutzt worden, um Fachliteratur zu beschaffen.

- Hochschulbibliothek RWTH Aachen
- TIB Leibniz-Informationszentrum Technik und Naturwissenschaften
Universitätsbibliothek
- Google Scholar

Institut für Straßenwesen (isac) – RWTH Aachen University

Nichtzutreffend.

MOOVE GmbH:

Für die Entwicklung einer hochgenauen digitalen Karte auf Basis von vertikalen Landmarken wurden digitale Orthofotos verwendet, welche kostenlos über den vom Land NRW bereitgestellten Server (TIM-Online, Geobasis NRW) bezogen wurden. Hierfür wurde ebenfalls die freizugängliche Open-Source Software QGIS verwendet.

Ford-Werke GmbH:

Nichtzutreffend.

Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen:

Nichtzutreffend.

PTV Planung Transport Verkehr GmbH:

Während des Projekts wurde eine ausführliche Literaturrecherche zu den Themen Fahrstreifenwechsel und Fahrstreifenverhalten durchgeführt. Diese Literaturrecherchen sind in den unten aufgeführten Masterarbeiten von Mohd Faizan Parvez [PA21] und Dominik Mussack [MU21] zu finden.

[KE06] Kesting, A.; Treiber, M., Helbig, D. (2006): MOBIL: General Lane-Changing Model for Car-Following Models, Dresden. Abgerufen unter http://www.mtreiber.de/publications/MOBIL_TRB.pdf.

[KR18] Krajewski, R.; Bock, J.; Kloeker, L.; Eckstein, L. [2018]: The highD Dataset: A Drone Dataset of Naturalistic Vehicle Trajectories on German Highways for Validation of Highly Automated Driving Systems. Verfügbar unter: <http://arxiv.org/pdf/1810.05642v1>

[MU21] Dominik Mussack, Kalibrierung der Fahrstreifenaufteilung in PTV Vissim, Technische Universität München 2021

[PA21] Mohd Faizan Parvez, Fahrstreifenwechselfverhalten auf Autobahnen Technische Universität München 2021

[SP78] Sparmann, U., Hrsg. (1978): Spurwechselforgänge auf zweispurigen BAB–Richtungsfahrbahnen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 263, Bundesministerium für Verkehr, Abt. Straßenbau, Bonn.

[US06] U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration (2006): Next Generation SIMulation Fact Sheet. Abgerufen unter <https://ops.fhwa.dot.gov/trafficanalysistools/ngsim.htm>.

Stadt Aachen:

Nichtzutreffend.

Vodafone GmbH:

Nichtzutreffend.

1.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Institut für Kraftfahrzeuge (ika) – RWTH Aachen University

Außerhalb des Konsortiums wurde mit der Autobahn GmbH des Bundes zusammengearbeitet, um die Aktivitäten rund um den Testfeldaufbau Autobahn an der A44 am Dreieck Jackerath gemeinsam zu planen und zu diskutieren. Zudem bestand eine intensive Kooperation mit folgenden Forschungsprojekten:

- HDV-Mess
 - Fachaustausch zu intelligenter Infrastruktursensorik
- KoMoDnext
 - Fachaustausch zu V2X-Technologie
- innocam.NRW
 - Netzwerkbildung mit Dritten aus Forschung und Industrie
- UNICARagil
 - Gemeinsame Veröffentlichung in der Automobiltechnischen Zeitschrift (ATZ)
- VVM/L3Pilot
 - Fachaustausch zu Szenariextraktion und szenarienbasierter Absicherung

Institut für Straßenwesen (isac) – RWTH Aachen University

Nichtzutreffend.

MOOVE GmbH:

Nichtzutreffend.

Ford-Werke GmbH:

Nichtzutreffend.

Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen:

- Anwenderkreis „Intelligente Verkehrssysteme (IVS)“ der Open Traffic Systems City Association e.V. (OCA) (Austausch über nationale und internationale IVS-Aktivitäten und deren Auswirkungen auf Städte und Kommunen)
- Anwenderkreis „DiMAP“ der OCA e.V. (Standardisierung der Digitalisierung von Kreuzungstopologien und -geometrien für den Regelbetrieb kooperativer Verkehrssysteme)
- Niederlassung Rheinland der Autobahn GmbH des Bundes
 - Verkehrszentrale Leverkusen
 - Verkehrsbehörde
- Regionalniederlassung Vile-Eiffel von Straßen.NRW
- Stadt Herzogenrath
- Stadt Alsdorf

PTV Planung Transport Verkehr GmbH:

Nichtzutreffend.

Stadt Aachen:

Im Rahmen des Teilprojekts „Einbindung Stadt und Mensch“ konnten an mehreren Stellen Synergieeffekte zu anderen Projekten im Fachbereich Wirtschaft, Wissenschaft, Digitalisierung und Europa genutzt werden.

So konnte der geplante Mobility Store als Teil des städtischen Co-Creation-Centers OecherLab realisiert werden. Auch der Oecher Dialog so wie das Festival der Mobilität wurden in enger Zusammenarbeit mit den Projektleitenden des OecherLab organisiert und umgesetzt. Die Planung des Festival der Mobilität wurde in enger Abstimmung mit dem Fachbereich Stadtentwicklung, -planung und Mobilitätsinfrastruktur durchgeführt, um dieses in das gesamtstädtische Programm der Europäischen Mobilitätswoche zu integrieren. Vor dem Hintergrund der COVID-19-Pandemie wurden die Bürgerwerkstätten in enger Kooperation mit der Projektleitung des Projekts SULEICA umgesetzt, um Synergieeffekte zu schaffen und auch unter den restriktiven Vorgaben für die Durchführung von Veranstaltungen ein ansprechendes Veranstaltungsprogramm anbieten zu können.

Vodafone GmbH:

Nichtzutreffend.

2. Eingehende Darstellung

Institut für Kraftfahrzeuge (ika) – RWTH Aachen University

Ziel des Projekts war die Schaffung einer integrierten Entwicklungsumgebung, um automatisierte Fahrzeuge in Interaktion mit vernetzter Infrastruktur systematisch zu testen und abzusichern. Dies erfolgte durch eine zeit- und kosteneffiziente Toolkette und Methodik, in der Simulation, abgeschlossene Testgelände sowie Testfelder im öffentlichen Verkehr bestmöglich verknüpft werden. Nur durch eine Vielzahl erhobener naturalistischer Verkehrsdaten können zukünftige automatisierte Fahrfunktionen entwickelt und angelehrt werden. Hierbei steht insbesondere die Untersuchung der Interaktion von Verkehrsteilnehmern in verschiedenen Situationen im Vordergrund, welche im Nachgang zu Szenarien verarbeitet und beispielsweise in der Simulation für Testzwecke nachgebildet werden können. Um vielfältige Verkehrsszenarien abbilden zu können, enthält der Korridor einen Autobahnabschnitt, einen urbanen und einen ländlichen Bereich. Eine schematische Übersicht des Projektziels ist in Abbildung 2 dargestellt.

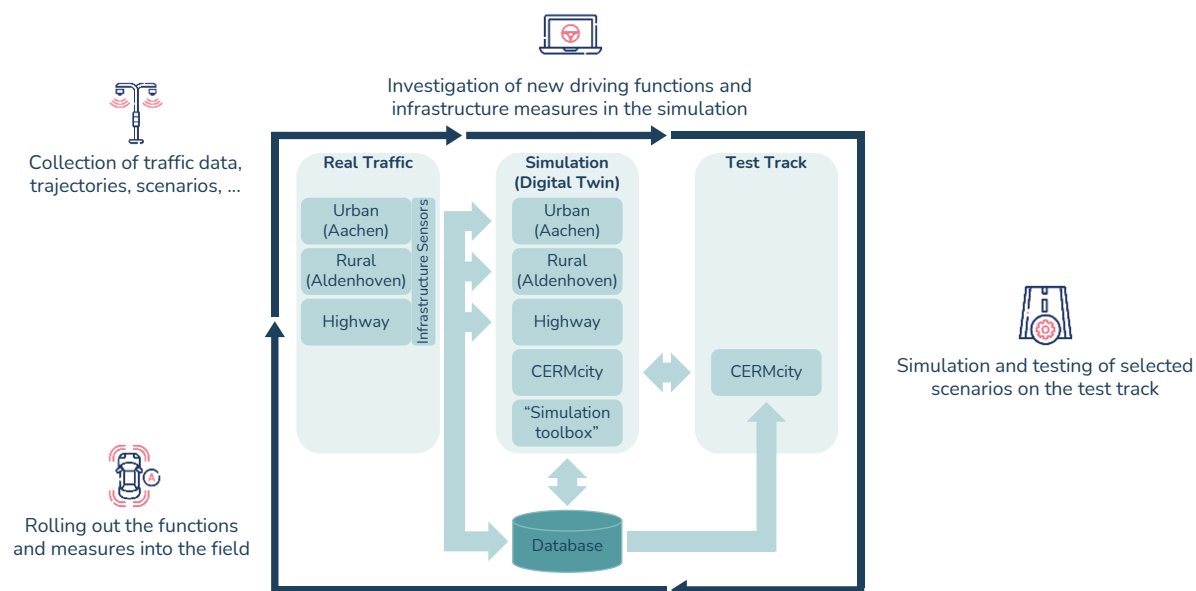


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Gesamtprojektzieles

Testfeldaufbau:

Die zu errichtenden digitalen Testfelder hatten zunächst den Anspruch, die drei Domänen Stadt, Land und Autobahn abzudecken, um sämtliche auftretende Interaktionen zwischen verschiedenen Verkehrsteilnehmenden zu umfassen. Unter Berücksichtigung diverser technischer, regulatorischer und finanzieller Rahmenbedingungen wurden drei konkrete Testfeldabschnitte im Korridor zwischen Aachen und Düsseldorf herausgearbeitet, die die formulierten Anforderungen erfüllen: der Campus Melaten in Aachen (Stadt), die B56 in Aldenhoven (Land) und das Autobahndreieck Jackerath der A44 (Autobahn).

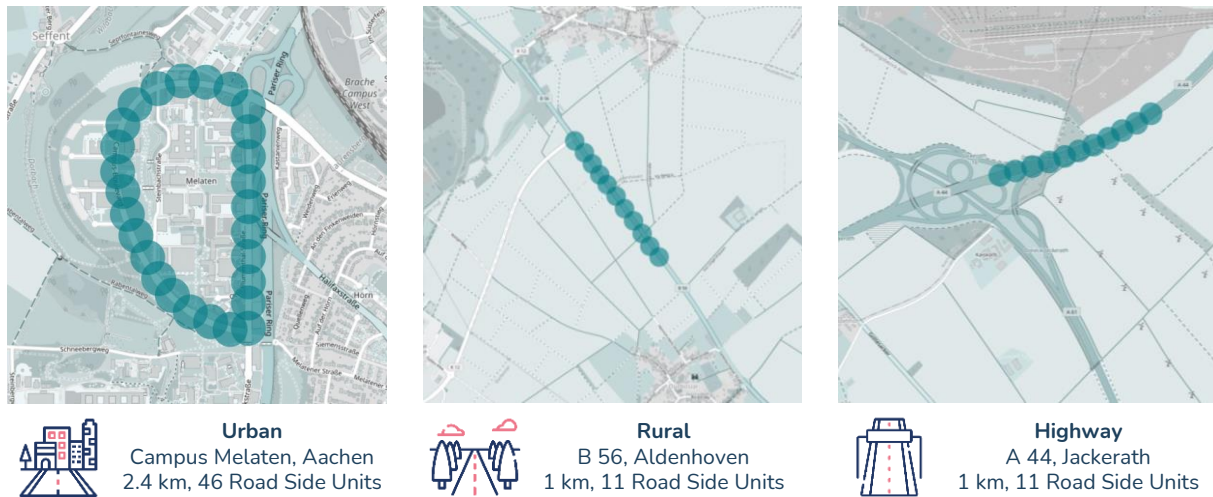


Abbildung 3: Kartenansicht der errichteten digitalen Testfelder in den Bereichen Stadt, Land und Autobahn

Im städtischen Bereich wurden auf dem Campus Melaten in Aachen 46 Messstationen entlang eines Rundkurses von 2,4 Kilometern errichtet. Der Rundkurs umfasst einen Kreisverkehr, eine vierarmige Kreuzung und sieben Bushaltestellen. Dabei wird er von sämtliche vorkommende Klassen an Verkehrsteilnehmenden samt Vulnerable Road Users (VRUs) genutzt. Durch eine Zusammenarbeit mit den Stadtwerken Aachen (STAWAG) konnte zur Installation der Infrastruktursensorik auf die örtlichen Straßenlaternen zurückgegriffen werden, über welche zudem die Stromversorgung realisiert wird. Die 46 Messpunkte stehen in Abständen von ca. 30 bis 70 Meter zueinander entfernt. Dabei wurden am Kreisverkehr, an der Kreuzung sowie an den sieben Bushaltestellen im Vergleich zu den restlichen Abschnitten des Rundkurses mehr Straßenlaternen mit Infrastruktursensorik ausgerüstet, um eine höhere Sensorabdeckung zu erzielen.

Im ländlichen Bereich sowie auf der Autobahn wurden jeweils elf Messstationen entlang einer Strecke von einem Kilometer errichtet. Besonderheit des ländlichen Testfelds ist die hohe Verkehrsdichte sowie das Vorkommen langsamer landwirtschaftlicher Fahrzeuge, welche in der Regel von PKW überholt werden. Das Testfeld auf dem Autobahndreieck umfasst zwei Beschleunigungsstreifen, welche ebenfalls eine hohe Interaktionsrate zwischen Verkehrsteilnehmenden verursachen. Im Gegensatz zum Testfeld Stadt am Campus Melaten mussten auf den beiden Testfeldern Land an der B56 und Autobahn an der A44 neue Masten sowie eine örtliche vollautarke Solarstromversorgung errichtet werden.



Abbildung 4: Fotografische Ansicht der errichteten digitalen Testfelder in den Bereichen Stadt, Land und Autobahn

Verkehrserfassungskonzept:

Jede Messstation ist mit der gleichen Hardware ausgestattet. Es sind jeweils zwei LiDAR-Sensoren mit 128 vertikalen Ebenen, zwei PTRZ-Domekameras mit 4K Auflösung, eine RSU mit V2X-Kommunikation (ITS-G5/802.11p), eine Multibandantenne (GNSS/WLAN/4G/5G) und ein Messrechner zur lokalen Auswertung der Sensorrohdaten verbaut. Die Montagehöhe der Sensorik erfolgt an den Masten in einer Höhe von ca. sechs Metern. Durch eine gekippte Anordnung der beiden Rotationslaserscanner je Messstation wird der gesamte Verkehrsbereich unterhalb der Masten von der vorderen bis zur hinteren Straßenkante abgedeckt. Die Kamerasensoren sind hingegen in entgegengesetzte Richtungen ausgerichtet und decken den Fernbereich ab. Ihr Sichtfeld überlappt dabei mit dem Kamerasichtfeld der benachbarten Messstation. Eine Überlappung der LiDAR-Sichtbereiche findet maßgeblich im nahen Umfeld der einzelnen Messstationen statt.

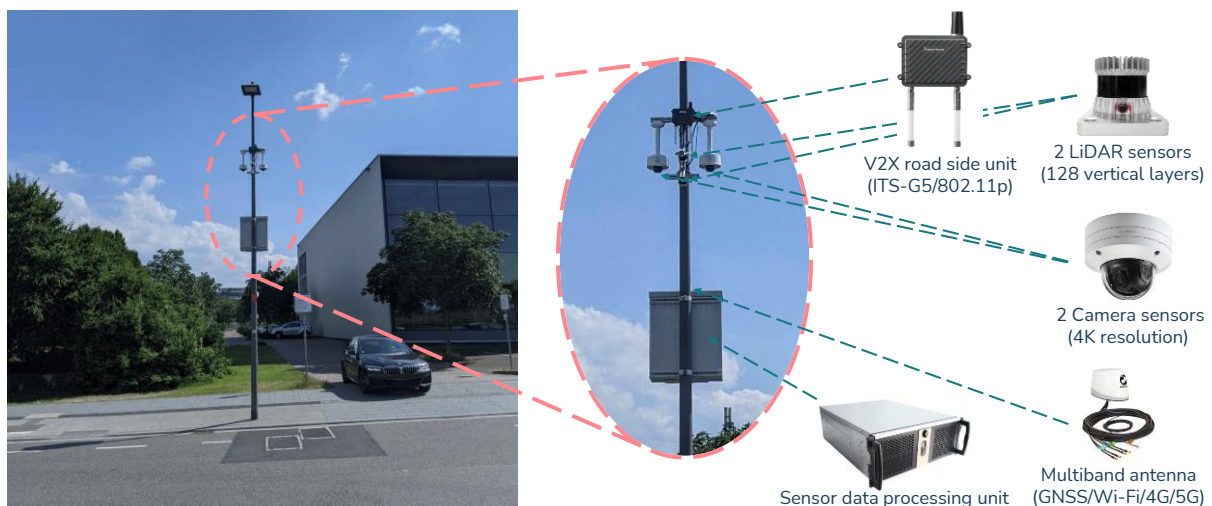


Abbildung 5: Hardwarekomponenten einer infrastruktureseitigen Messstation

Die insgesamt 68 Messstationen der drei Testfelder zeichnen das umliegende Verkehrsgeschehen dauerhaft auf. Die automatisierte Auswertung der Sensorrohdaten erfolgt lokal an den einzelnen Messpunkten in Echtzeit. Unmittelbar nach der Auswertung werden die einzelnen Bilder und Punktwolken der verbauten Kamera- und LiDAR-Sensorik wieder verworfen, um eine anonyme Handhabung der Messdaten zu gewährleisten. Eine über den automatisierten Auswertungszweck hinausgehende Speicherung der Kamerabilder findet zu keinem Zeitpunkt statt. Die so erhobenen Objektdaten werden über Mobilfunk an den zentralen Server versendet, auf welchem die globale Objektfusion je Testfeld stattfindet. Anschließend wird eine globale Objektliste je Testfeld im CPM Format ebenfalls in Echtzeit zurückgespielt, sodass entsprechend vernetzte Forschungsfahrzeuge diese empfangen können. Neben der Objektfusion findet auf dem Server ebenfalls die Extraktion von Trajektorien und deren Verarbeitung zu Szenarien statt, welche auf separaten Datenbanken abgespeichert und für Dritte zugänglich gemacht werden.

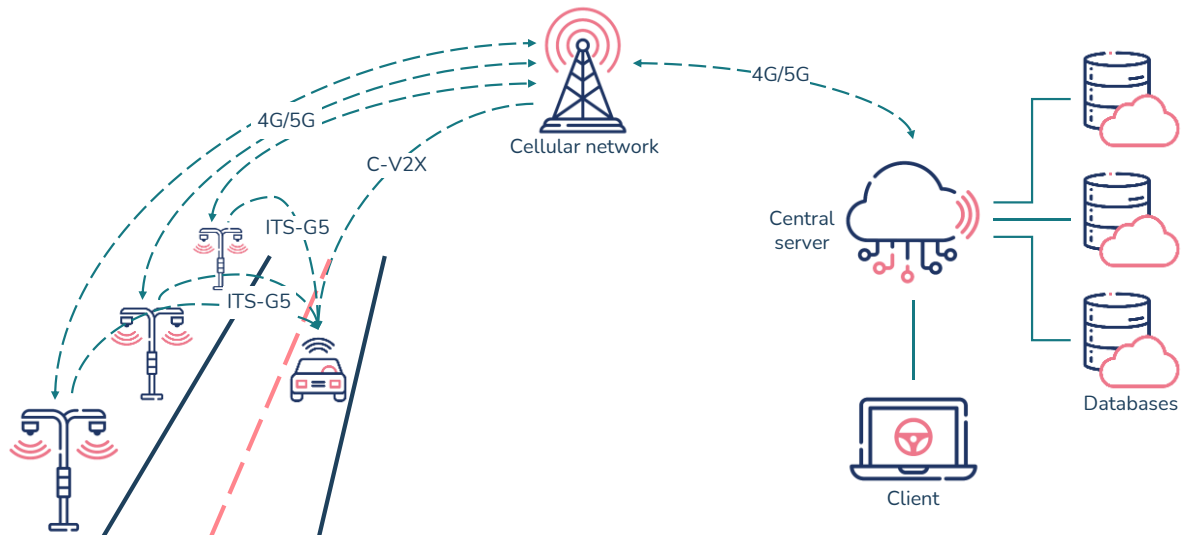


Abbildung 6: Verkehrserfassungskonzept der digitalen Testfelder in ACCorD

Die Verarbeitungsschritte der lokalen Sensordatenauswertung unterteilen sich sowohl für Kamera- als auch LiDAR-Sensorik in die Schritte Datenstreamdekodierung, Sensorposenbestimmung, 2D/3D Objekterkennung und Weiterleitung der lokalen Objektliste an den zentralen Server. Die Punktwolken der beiden LiDAR-Sensoren pro Messstation werden vor der Objekterkennung zudem fusioniert. Sämtliche genannten Schritte erfolgen zu jedem Zeitpunkt einer Messung (~10 Hz Betrieb). Eine Visualisierung des Ergebnisses der automatisierten Objekterkennung unter Einsatz neuronaler Netzwerke ist in Abbildung 7 gegeben.

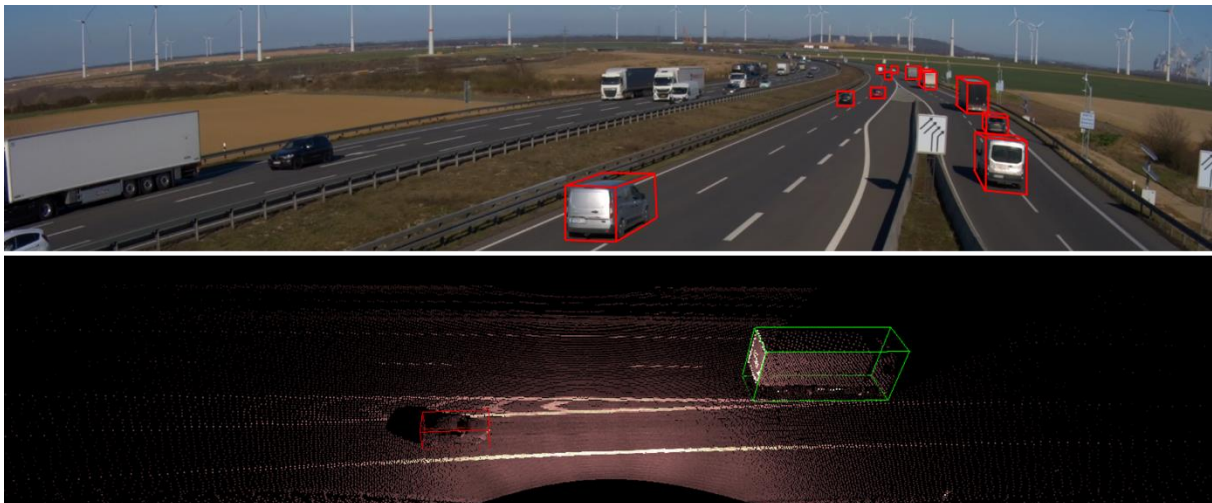


Abbildung 7: Automatisierte 3D Objekterkennung in Kamera und LiDAR-Rohdaten

Dateninfrastruktur und digitaler Zwilling:

Für die Durchführung einer hochgenauen serverseitigen globalen Objektfusion ist zunächst eine hochgenaue Sensorposenbestimmung der einzelnen Messstationen essenziell. Zuvor erstellte hochauflösende digitale Karten, welche auf einer separaten Datenbank versioniert und abgespeichert werden, ermöglichen einen Abgleich der Sensorinformationen mit der digitalisierten Testfeldumgebung. Unter algorithmischem Einsatz wird anschließend die Posenbestimmung durchgeführt.

Die von den Messstationen erhobenen lokalen Objektdaten werden zunächst an den zentralen Datenserver übermittelt, der die globale Fusion je Testfeld und das anschließende Tracking der einzelnen Verkehrsteilnehmenden durchführt. Die fusionierten Objektdaten, welche die physikalischen Zustände wie Position, Dimensionen, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Ausrichtung und Klassifizierung angeben werden unmittelbar im Anschluss an eine mögliche Live-Visualisierung und als CPMs über V2X an die Forschungsfahrzeuge versendet. Die extrahierten Trajektorien werden hingegen offline in der Trajektorienbank abgelegt. Basierend auf der Trajektorienbank findet die Szenariextraktion statt. Hierbei können unter Vorgabe bestimmter Kriterien Szenarien zunächst identifiziert, automatisiert analysiert und anschließend die zugehörigen Parameter bestimmt werden. Die so extrahierten Szenarien werden in der Szenariendatenbank abgespeichert. Eine schematische Übersicht des gesamten IT-Backends ist in Abbildung 8 gegeben.

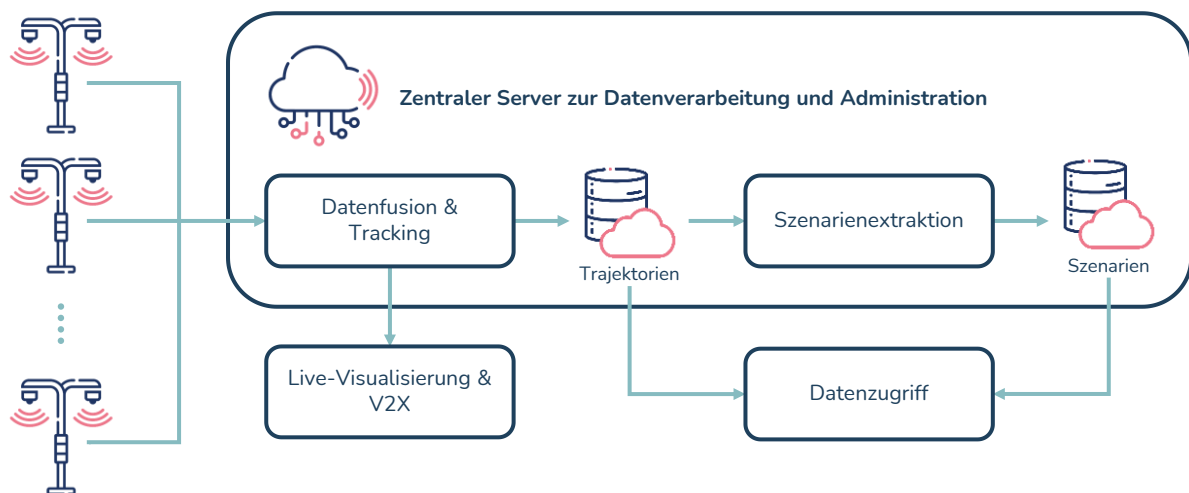


Abbildung 8: IT-Backend in ACCorD

Die Funktionalitäten des zentralen Servers und der verknüpften Trajektorien- und Szenariendatenbanken bedienen zwei konkrete Fälle – offline und online Anwendungen im Bereich des automatisierten und vernetzten Fahrens.

Zu den offline Anwendungen zählen zunächst Referenzmessungen von Forschungsfahrzeugen, die die Testfelder befahren. Hierbei kann die fahrzeugeigene Umfeldwahrnehmung evaluiert und die selbst gefahrene Trajektorie im Nachgang bewertet werden. Die datenbasierte Entwicklung ermöglicht beispielsweise die Parametrisierung von Verhaltensmodellen von Verkehrsteilnehmenden. Abschließend bietet die simulative Absicherung ein großes Potenzial, um neue Fahrfunktionen szenarienbasiert in der Simulation zu testen.

Online können hingegen V2X-Nachrichten (CPMs) an automatisierte und vernetzte Forschungsfahrzeuge versendet werden, um die aktive Fahrfunktion durch externe Infrastrukturinformationen zu ergänzen und einen sicheren Fahrbetrieb zu gewährleisten. Die Verbreitung der V2X-Nachrichten kann dabei zentral über Mobilfunk (C-V2X) oder lokal über ITS-G5 RSU an den einzelnen Messstationen erfolgen.

Die im Projekt errichtete Testumgebung soll auch nach Projektende für vollständig, das heißt nicht nur einzelne Testabschnitte, weiter für Forschungszwecke genutzt werden und der interessierten Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden. Hier soll neben der Nutzung in

öffentlich geförderten Forschungsprojekten auch die Möglichkeit einer Nutzung im Rahmen von Industrieforschung geprüft werden. Auf diese Weise könnte der Wirtschaftsstandort Deutschland von der errichteten Testumgebung und dem entwickelten Know-how direkt profitieren, zielführend könnte dabei auch eine forcierte Nutzung durch KMUs sein. Wie im Projektantrag formuliert, könnte auf diese Weise auch die zum Weiterbetrieb erforderlichen Mittel erwirtschaftet werden. Außerdem wird so ein breiter Zugang für interessierte externe Nutzende geschaffen. Dabei ist sicherzustellen, dass die Nutzung für wissenschaftlichen Industrieforschung nachrangig gegenüber der wissenschaftlichen hoheitlichen Nutzung erfolgen soll.

Institut für Straßenwesen (isac) – RWTH Aachen University

Automatisierte und vernetzte Fahrzeuge sind ein wichtiger Baustein zukünftiger Mobilitätssysteme. Die Entwicklung und Validierung von automatisierten und vernetzten Fahrzeugen erforderten unter anderem Feldversuche auf öffentlichen Straßen. Das isac stieg ab Projektmonat 9 (September 2020) als Projektpartner in das Projekt ein, um bei der Errichtung beziehungsweise bei der Koordination der Baumaßnahmen der Testfelder Autobahn und Bundesstraße das ika im Rahmen des Arbeitspaketes 1 zu unterstützen. Das isac beauftragte die Firma AVT-Consult GmbH als Unterauftragnehmer für die Planungsarbeiten der Standorte beziehungsweise Messstationen in den Testfeldern Land an der B56 und Autobahn an der A44. Die Firma Greenway Systems GmbH wurde als Unterauftragnehmer für die Bauarbeiten beauftragt.

MOOVE GmbH:

Im Anwendungsszenario Stadt kommt der Moover als automatisierte Shuttle-Plattform zum Einsatz. Er dient der Entwicklung von automatisierten Fahrfunktionen bestehende aus Lokalisierung und Trajektorienplanung. Die Lokalisierung konnte im Testfeld Stadt am Campus Melaten gegenüber einer Referenzsensorik ausgewertet und validiert werden. Die einzelnen Teilaspekte der Entwicklung werden im Folgenden beschrieben.

Fahrzeugausbau: Sensorauswahl und Integration

Die Auswahl des Sensorsetup spielt eine große Rolle, was die Fähigkeiten eines automatisierten Fahrzeugs angeht. Dieses muss exakt auf die Einsatzbedingungen angepasst werden. Insbesondere für den Anwendungsfall des Personentransportes im urbanen Bereich ist eine Rundumerfassung des Nahbereichs essenziell, um die Sicherheit von Passanten und anderen Verkehrsteilnehmenden beispielsweise beim An- und Wegfahren an und von einer Bushaltestelle zu gewährleisten. Das erarbeitete Sensorsetup basiert auf nach vorne gerichteten LiDAR-Sensoren für den Frontbereich, sowie auf dem Dach montierte 360° LiDAR-Sensoren für die Umfeldwahrnehmung und insbesondere die Lokalisierung. Der Nahbereich wird über ein Kamera-Setup abgedeckt, welches über integrierte Objekterkennung und Klassifizierung verfügt und so die Möglichkeit besteht präzise auf detektierte Objekte zu reagieren. (siehe Abbildung 9 der Sensorintegration).

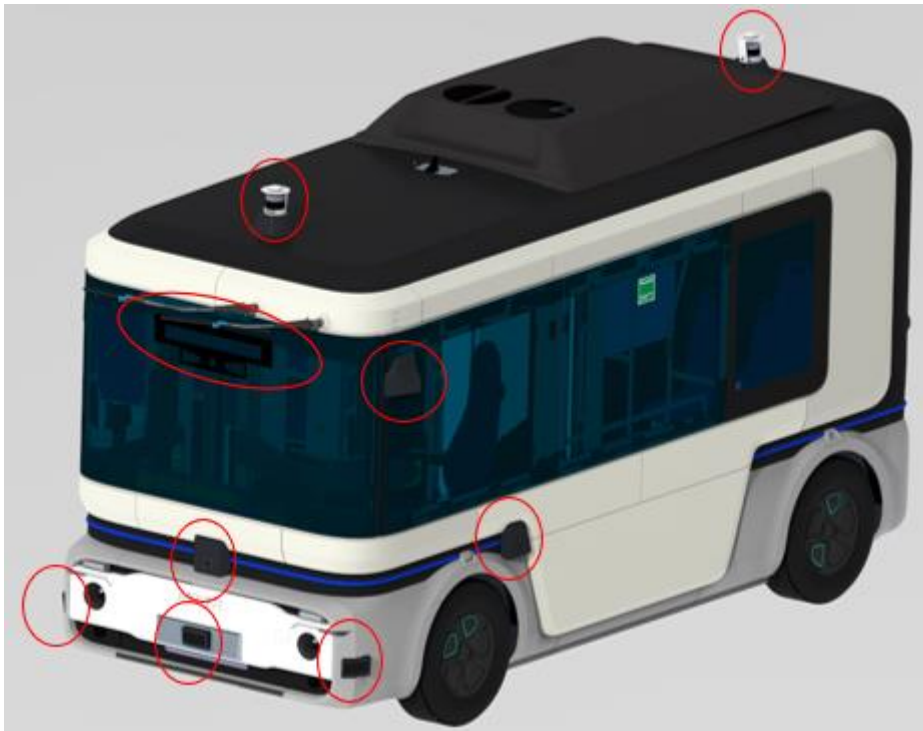


Abbildung 9: Integration der Sensorik in den People Mover

Kartenerstellung

Für den entwickelten Lokalisierungsalgorithmus ist eine präzise Karte der Einsatzumgebung notwendig. Hierfür wurden vertikale Landmarken verwendet, da diese robust gegenüber Umwelteinflüssen (Wetter, Jahreszeiten) sind.

Die Karte der Landmarken wurde vorab erstellt und in die Softwarearchitektur des Fahrzeuges integriert. Als Vorbereitung für diesen Schritt, wurden zunächst Referenzfahrten am Testfeld Stadt am Campus Melaten durchgeführt. Die Aufzeichnungen der Sensordaten der LiDARs wurde genutzt, um mit Hilfe der integrierten onboard RTK eine überlagerte Punktwolke des Testfeldes zu erstellen. Aus diesen Daten konnten die vertikalen Landmarken extrahiert werden, die von der Sensorik gut erkannt und für den Lokalisierungsalgorithmus genutzt werden können. Hierbei handelt es sich insbesondere um Straßenlaternen und Schilder, LSA und Bäume, welche über einen längeren Zeitraum stationär und ortsfest bleiben.

Die Karte wurde unter Hilfenahme von digitalen Orthofotos (TIM-Online, Geobasis NRW) der Testumgebung korrigiert und verbessert, so dass beispielsweise fehlerhaft erkannte Landmarken identifiziert werden konnten. Insgesamt wurden 1207 vertikale Landmarken auf dem Rundkurs um den Campus Melaten identifiziert (Länge 2.5km), welche ausreichend für eine präzise Lokalisierung sind.



Abbildung 10: Landmarken basierte Karte (links) im Vergleich zum Testfeld Stadt am Campus Melaten (rechts)

Lokalisierungsalgorithmus

Der getestete und kontinuierlich verbesserte Lokalisierungsalgorithmus basiert auf dem Sensor-Setup dargestellt in der Abbildung 10.

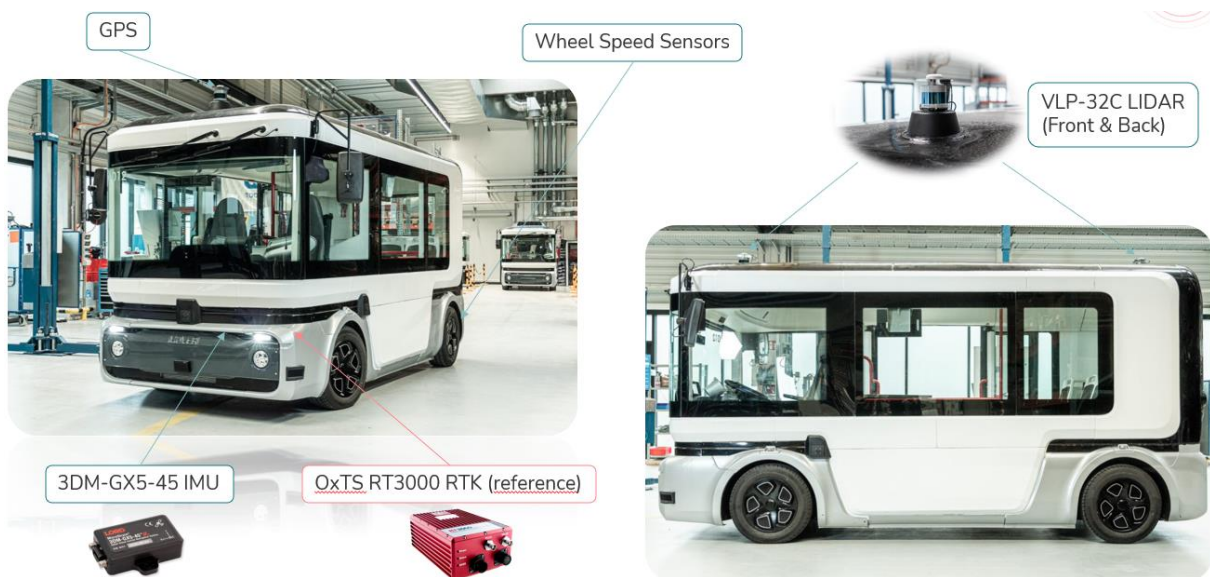


Abbildung 11: Sensorik der Lokalisierung

Basierend auf den LiDAR-Sensoren, welche für die Detektion der vertikalen Landmarken genutzt wird, kann über den Ansatz der Monte-Carlo-Lokalisierung eine Positionsschätzung des Ego-Fahrzeuges innerhalb der erstellten Karte ermittelt werden. Um das Filter Problem zur vereinfachen wird nur ein eingeschränkter Bereich um die GPS-Position betrachtet. Des Weiteren ist dem System eine Referenz-Route bekannt, welche das Fahrzeug im autonomen Shuttle-Betrieb befahren soll. Diese wird ebenfalls zur Vereinfachung des Filterproblems genutzt.

Die erste Positionsschätzung der Monte-Carlo-Lokalisierung wird in einem folgenden Schritt mit den Informationen der weiteren Fahrzeugsensoren (IMU, GPS, Raddrehzahlsensoren) über einen Kalman-Filter fusioniert. Eine vereinfachte Darstellung der Sensordatenverarbeitung ist in Abbildung 12 gezeigt.

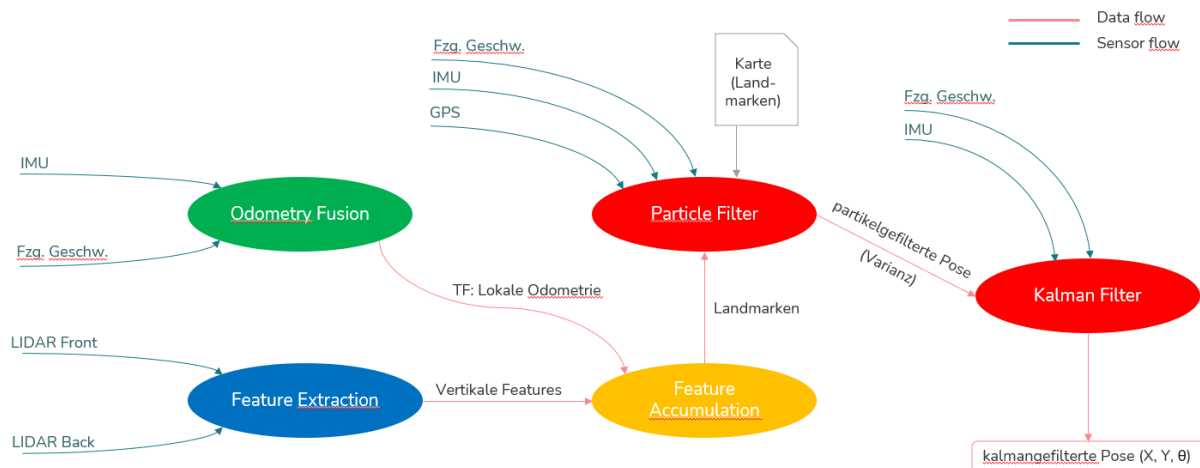


Abbildung 12: Sensordatenverarbeitung innerhalb der Fahrzeugarchitektur

Validierung gegenüber Referenzsensorik

Mehrere Testfahrten wurden im Testkorridor am Campus Melaten durchgeführt. Die Testfahrten wurden aus Sicherheitsgründen im Shadowmode (ohne Ansteuerung der Aktuatoren) durchgeführt, aus diesem Grund konnte lediglich die Genauigkeit des Lokalisierungsalgorithmus, und nicht des Trajektorienplaners ausgewertet werden.

Zunächst wurde die Lokalisierung gegenüber einer internen Referenzsensorik (RTK 3000) validiert, um verschiedene Parameter der Landmarken Erkennung und Filter zu optimieren. Hierfür wurde eine komplette Rundfahrt um den Campus Melaten aufgezeichnet und ausgewertet (siehe Abbildung 13). Hier wurde eine durchschnittliche Genauigkeit von 17cm (Standardabweichung: 9.5 cm) erreicht. Da die Referenzposition GPS basiert ist, kann hier nicht von einer absoluten Genauigkeit ausgegangen werden. Es zeigt sich ein geschwindigkeitsunabhängiger, geositionsabhängiger Versatz, welcher möglicherweise auf GPS-Abschattungen und Mehrwegeausbreitung des Signals zurückzuführen ist. Abschließend lässt sich die Genauigkeit des Algorithmus nur über eine externe, Fahrzeug- sowie GPS-unabhängige Referenz (Ground Truth) validieren.

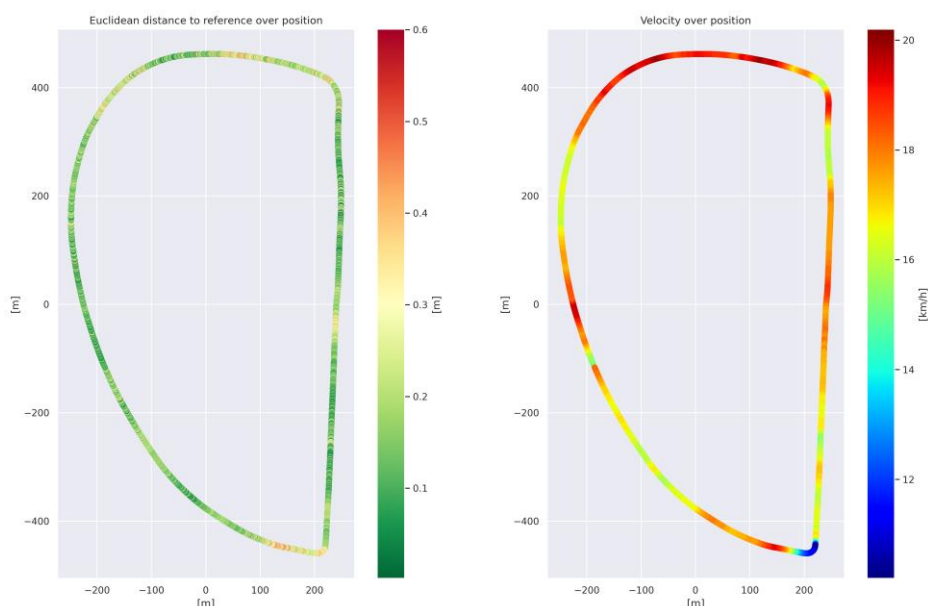


Abbildung 13: Auswertung des Lokalisierungsalgorithmus gegenüber interner Referenz

Aufgrund technischer Einschränkungen während der Durchführung der Testfahrten konnte das externe im ACCorD Testfeld aufgebaute Referenzsystem jedoch nur für die Validierung einzelner Streckenabschnitte auf Basis einzelner Messstation genutzt werden.

Hierfür wurde ein Hauptanwendungsfall, das Bedienen eine Bushaltestelle, des People Movers getestet (siehe Abbildung 14).

Hier zeigt sich, dass gerade im näheren Umfeld der Messstation (grüner Bereich) ein gutes Ergebnis erzielt werden konnte (durchschnittliche Genauigkeit 15cm). Die begrenzte Datenlage lässt leider keine weiteren Aussagen über die Genauigkeit des Referenzsystems zu. Es zeigt jedoch die Durchgängigkeit der Toolkette und das Potential, welches ein vernetztes und voll funktionsfähiges Referenzsystem für die Entwicklung automatisierter Fahrfunktionen und Algorithmen liefern kann. Da hierbei externe Fehler- und Störquellen ausgeschlossen werden können.

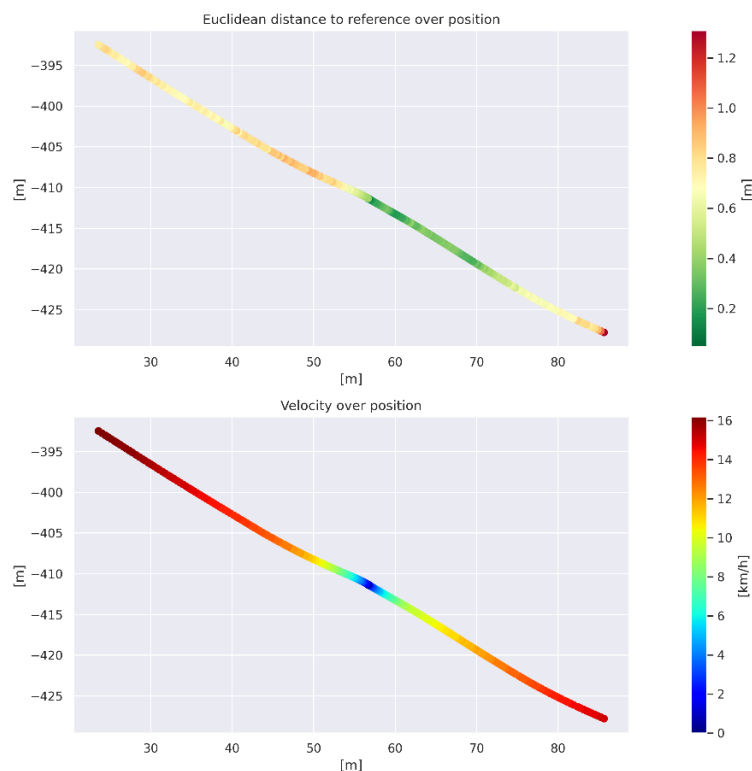


Abbildung 14: Manöver „Bedienen einer Bushaltestelle“ – Lokalisierungsalgorithmus ausgewertet gegenüber der generierten Trajektorie der ACCorD Messstation

Ford-Werke GmbH:

Im Projekt war Ford an zwei verschiedenen Anwendungsszenarien beteiligt, dem Anwendungsszenario „Vernetzte Lichtsignalanlagen“ und dem Anwendungsszenario „Autobahn“. Da es im Vorhaben keine wirklichen Schnittmengen zwischen den beiden Anwendungsszenarien gab, werden diese nun unabhängig voneinander beschrieben.

Anwendungsszenario „Vernetzte Lichtsignalanlagen“

Verwendung und Gegenüberstellung zu den geplanten Zielen:

Im Anwendungsszenario „vernetzte Lichtsignalanlagen“ sind die geplanten Ziele zu einem wesentlichen Teil erreicht worden. Zunächst wurden die Anforderungen an die vernetzten LSAs erstellt und mit den Projektpartnern Stadt Aachen und Straßen.NRW geteilt. Das im

Projekt aufgebaute Erprobungsfahrzeug konnte automatisch längsgeführt durch die LSA-Korridore, unter Berücksichtigung der Ampelzustände, fahren. Zusätzlich wurden verschiedene Kommunikationswege evaluiert, darunter ITS-G5 Kommunikation via RSUs und Mobilfunk (4G), wohingegen der Datenaustausch zwischen LSA und Fahrzeug einerseits über den MDM sowie andererseits über einen MQTT-Broker, betrieben durch das ika, untersucht wurde. Lediglich eine Beurteilung von C-V2X PC5 Sidelink Kommunikation konnte mangels Verfügbarkeit auf Infrastrukturseite nicht wie geplant erfolgen.

Wissenschaftliche Erkenntnisse:

Der automatisch längsgeführte Ampelphasenassistent hat zuverlässig funktioniert, solange die per V2X empfangene Daten zum Ampelzustand sowie Schaltzeitprognoseinformationen zuverlässig empfangen werden konnten und korrekten Inhalt enthalten haben. Das mit dem System ausgestattete Fahrzeug hatte teils mehr als 300 Meter vor der LSA Kenntnis über den aktuellen Zustand sowie zukünftige Schaltzeiten und konnte die Geschwindigkeit so anpassen, dass es bei Grün die LSA passierte oder rechtzeitig ausrollen und sanft zum Stillstand bei Rot kommen. Damit wurden die Erwartungen, die an die Fahrfunktionen und die Infrastruktur gestellt wurden, grundsätzlich erfüllt.

Ein Beispiel aus aufgezeichneten Messdaten ist in Abbildung 15 zu sehen. In blau und durchgezogen dargestellt ist das Fahrzeug mit dem automatisch längsgeführten Ampelphasenassistenten, in gepunktet dargestellt ein Referenzfahrzeug ohne das System. Der rote/orange/grüne Balken oberhalb zeigt den aktuellen Ampelzustand an.

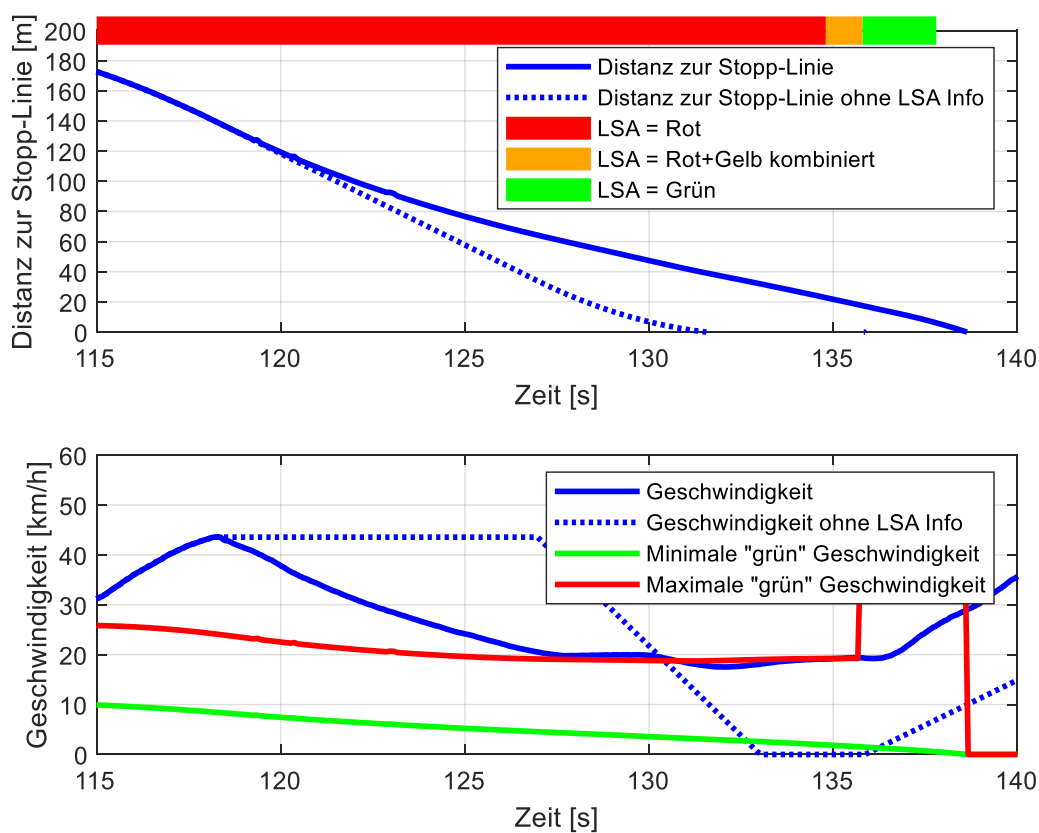


Abbildung 15: Erprobungsfahrzeug vermeidet Stopp vor einer roten LSA durch frühzeitige Geschwindigkeitsreduktion

Das Fahrzeug nähert sich einer roten LSA und fängt frühzeitig an seine Geschwindigkeit zu reduzieren, so dass es genau bei Grün an der LSA ankommt. In Grün und Rot dargestellt sind die minimale und maximale Geschwindigkeit, die das Fahrzeug fahren darf um bei Grün an der LSA anzukommen. Die Geschwindigkeit wird auf die maximal mögliche „Grün“-Geschwindigkeit eingeregelt. Dadurch wird ein Stopp verhindert, der Verkehrsfluss verbessert und Emissionen reduziert.

Im Folgenden sollen allerdings noch Themen mit zukünftigem Handlungsbedarf beleuchtet werden, die durch die durchgeführten Arbeiten entdeckt wurden und Fahrzeug- sowie Infrastrukturseite betreffen.

Im Projekt wurden LSA-Systeme von drei unterschiedlichen Herstellern genutzt. Dadurch konnte ein guter Überblick über die Unterschiede der einzelnen Systeme in Bezug auf die Vernetzung von LSAs per V2X gewonnen werden. Auffällig war, dass sich die durch ETSI standardisierten Nachrichtenstrukturen (MAPEM und SPATEM) zunächst inhaltlich deutlich voneinander unterschieden, in Abhängigkeit vom LSA-System. Da die Nachrichtenstrukturen viele optionale Felder enthalten, die für automobiler Anwendungszwecke aber teilweise zwingend erforderlich sind, ist eine Kompatibilität nicht automatisch gegeben. Aber auch bei zwingend zu nutzenden Datenfeldern gab es Unterschiede, beispielsweise in der Genauigkeit der Werte. Ohne eine Standardisierung des Nachrichteninhalts (Profiling), der in Abstimmung zwischen allen relevanten Parteien erfolgen muss, wird es schwer möglich sein, die Diversität sicher zu verarbeiten und Fahrfunktionen mit hoher Verfügbarkeit, Verlässlichkeit und Robustheit zu vertretbarem Aufwand anzubieten.

Bei LSA ist zwischen einer Festzeitsteuerung und einer verkehrsabhängigen Steuerung zu unterscheiden. Festzeitsteuerungen arbeiten nach einem festen Programm, welches sehr gut prädizierbar ist. Als Ergebnis waren auch die empfangenen Schaltzeitprognosen von festzeitgesteuerten LSA sehr gut, sodass diese sich grundsätzlich zur Nutzung für automatisierte Fahrfunktionen eignen. Verkehrsabhängig geschaltete LSA können Ampelphasen verkürzen oder verlängern. Die übermittelte Schaltzeitprognose änderte sich oft sprunghaft und die angegebenen Zeiten (beispielsweise Rot in fünf Sekunden) waren oft falsch. Während der Testungen resultierten daraus Phantombremungen vor grünen LSAs, die nicht angemessen waren und vom Sicherheitsfahrer überstimmt werden mussten. Ursache dafür war ein zu früh prognostizierter Umschaltzeitpunkt von Grün zu Gelb, der später wieder korrigiert wurde. Um frühzeitig auf den Ampelzustand reagieren zu können und dadurch zu einem verbesserten Verkehrsfluss sowie verringerten Emissionen beitragen zu können ist eine verlässliche Schaltzeitprognose wesentlich. Abbildung 16 zeigt die Schaltzeitprognosen einer LSA, die zunächst im Festzeitprogramm, anschließend im verkehrsabhängigen Programm geschaltet war. Insbesondere die sprunghafte Änderung bei $t=23s$ kann zu einem inkonsistenten Verhalten einer automatisierten Fahrfunktion führen.

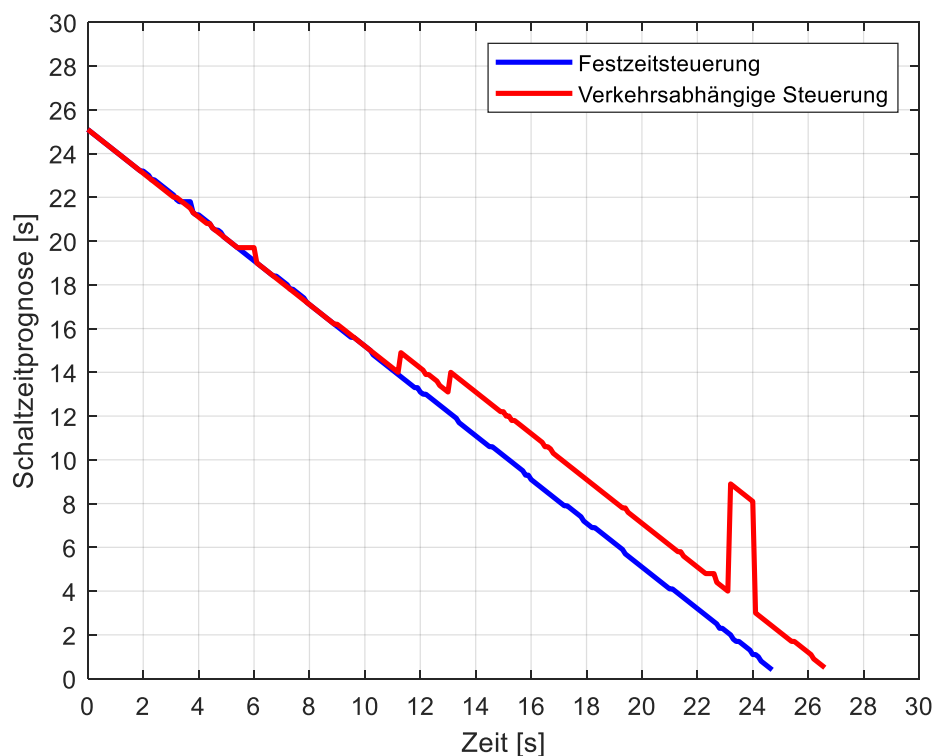


Abbildung 16: Vergleich der Schaltzeitprognose einer Festzeitsteuerung und verkehrsabhängigen Steuerung an der gleichen LSA

Das Fahrzeug mit einem automatisch längsgeführten Ampelphasenassistenten hat einen Informationsvorsprung gegenüber anderen Verkehrsteilnehmenden, wenn es frühzeitig über zukünftige Schaltzeitpunkte der LSA Bescheid weiß. Dadurch kann proaktiv und vorausschauend auf aktuelle und zukünftige LSA Zustände reagiert werden, beispielsweise indem frühzeitig gebremst wird, wenn eine grüne LSA vor dem erwarteten Passieren der Stopp-Linie auf Rot wechseln wird. Dies kann irritierend auf andere Verkehrsteilnehmende wirken, die zum Zeitpunkt, wenn die Geschwindigkeitsreduktion eingeleitet wird, noch nicht wissen, dass die LSA kurz später ihren Zustand von Grün auf Gelb und anschließend Rot wechseln wird.

Für eine komfortable und konsistente Nutzererfahrung ist es zudem wichtig, den Status eines potenziellen Rückstaus vor der LSA zu kennen, beispielsweise die Länge sowie die Geschwindigkeit der Fahrzeuge zwischen dem Ego-Fahrzeug und der LSA. Andernfalls kann es zu Situationen kommen, wo das Ego-Fahrzeug zunächst aufgrund einer zeitnah zu Grün wechselnden LSA beschleunigt, um Sekunden später aufgrund eines Rückstaus (den der menschlich Fahrende gegebenenfalls schon erkannt hätte, das System aber nicht) wieder zu bremsen.

Weiterhin gibt es einen Zielkonflikt in der Auslegung des Systems. Aufgrund von Störgrößen wie GPS-Genauigkeit, Latenz, Nachrichtenverlust etc. muss das System Sicherheitspuffer vorsehen, um das Risiko einer Überfahrung bei Gelb und Rot zu vermeiden. Ein progressiv abgestimmtes System kann dazu führen, dass das Fahrzeug beispielsweise erst bei Gelb über die Stopp-Linie fährt, wohingegen ein konservativ abgestimmtes System sehr vorsichtig agiert und deshalb beispielsweise schon kurz vor dem Umschalten auf Gelb anhalten würde, während der menschliche Fahrer ohne Probleme noch bei Grün über die Stopp-Linie gefahren wäre. Für eine hohe Akzeptanz vom Nutzenden sowie von anderen Verkehrsteilnehmenden ist ein im Rahmen der Sicherheitsanforderungen möglichst progressiv

abgestimmtes System grundsätzlich anzustreben. Dafür müssen aber auch die Störgrößen so weit wie möglich reduziert werden, beispielsweise durch hochgenaue Lokalisierung und eine latenzarme und stabile V2X-Kommunikation. Auch eine Fusion mit Kameradaten, welche Erkenntnisse über den aktuellen LSA-Zustand bereitstellen, kann dabei helfen.

Eine Bevorrechtigung für Einsatzfahrzeuge wurde im Laufe des Projektes ebenfalls erfolgreich validiert. Hierzu hat das Erprobungsfahrzeug von Ford ein Einsatzfahrzeug sowie einen Bus (ÖPNV) simuliert und ein grünes Lichtzeichen an der LSA angefordert, damit ein schnelles und sicheres Passieren des Kreuzungsbereiches möglich wird. Verwendet wurden hierzu nach ETSI standardisierte SREM und SSEM Nachrichtentypen. Im Laufe der Validierung im LSA-Korridor wurde eine robuste Funktionalität nachgewiesen. In aller Regel waren auch Rückstaus beim Eintreffen des Fahrzeuges bereits beseitigt, sodass ein ungestörtes Überfahren des Kreuzungsbereiches möglich war. Eine sehr lange Grünphase war zu beobachten, wenn das anfordernde Fahrzeug in der Nähe der Kreuzung aufgehalten wurde, sodass dennoch ein reibungsloses Passieren der LSA möglich war. Auch wenn die LSA kurz zuvor bereits Grün war, erfolgte ein erneuter sofortiger Wechsel auf Grün, wenn sich das anfordernde Fahrzeug genähert hat.

Es hat sich herausgestellt, dass sowohl ITS-G5 Kommunikation als auch Mobilfunk für eine zuverlässige und latenzarme Verbindung im Rahmen des Use-Cases eignen kann. Da bei Mobilfunk in der Regel eine Mehrzahl von Backend-Systemen involviert sind, kommt es hierbei mit Blick auf die Latenz sowie die Aktualität der Daten insbesondere auf die Architektur des Gesamtsystems an.

Die praktische Anwendung eines Ampelassistenten setzt voraus, dass die Standardisierung und Qualitätssicherung der Nachrichteninhalte erreicht wird, mit einem möglichst großen Geltungsbereich (Europa). Eine Ausrüstung möglichst vieler LSA im Zuge von Modernisierung sowie Neubau ist ebenfalls notwendig. Eine verlässliche Schaltzeitprognose ist zudem wesentlich.

Anwendungsszenario „Land“ und „Autobahn“

Verwendung und Gegenüberstellung zu den geplanten Zielen:

Im Anwendungsszenario „Land“ und „Autobahn“ hat es größere Anpassungen an der Zielsetzung während der Projektlaufzeit gegeben. Die ursprünglichen Ziele konnten aufgrund der hohen technischen Komplexität sowie anschließender Umpriorisierung nicht wie geplant erreicht werden. Ein Erprobungsfahrzeug wurde wie geplant aufgebaut. Eine (teil-) automatisierte Fahrt auf Landstraßen wurde aus oben genannten Gründen nicht weiterverfolgt. Der Fokus wurde deshalb auf das automatisierte Fahren auf der Autobahn gelegt. Auch wenn das Ergebnis keine integrierte Fahrfunktion ist, so wurden wichtige Kernthemen untersucht, die einen Unterschied zwischen assistiertem Fahren und höher automatisiertem Fahren ausmachen, wie

- kostengünstige aber dennoch hochauflösende Sensorik,
- ein Fahrerzustands-Beobachtungssystem,
- der unangemessene Eingriff des Fahrenden in die Automatisierung während Gefahrensituationen.

Aufgrund der späten Verfügbarkeit der Infrastruktursensorik an der Autobahn und der Landstraße, unmittelbar zum Projektende, konnten die Daten nicht mehr wie ursprünglich geplant verwertet werden.

Wissenschaftliche Erkenntnisse:

Eine hochgenaue Lokalisierung erfordert in der Regel GPS-Korrekturdaten (D-GPS), die über Mobilfunk oder über Basisstationen zur Verfügung gestellt werden können. Befindet man sich außerhalb extra ausgestatteter Testfelder, so muss in aller Regel auf Korrekturdaten via Mobilfunk zurückgegriffen werden. Diese Dienste können signifikante Kosten erzeugen. Insbesondere mit Blick auf eine zukünftig potenziell größere Testflotte wurde versucht einen Weg zu finden, der diese Kosten drastisch reduzieren kann. Zusätzlich stehen Korrekturdaten von öffentlichen Institutionen teilweise kostenfrei zur Verfügung. Daher wurde im Projekt ein Weg erarbeitet, wie Korrekturdaten über ein handelsübliches Mobiltelefon sowie einen Bluetooth/RS232 Converter an ein D-GPS fähiges RTK-System übertragen werden. Anschließend wurde der Aufbau evaluiert. Testungen haben gezeigt, dass sich die Positionsgenauigkeit im erwarteten Rahmen bewegt und sich nicht signifikant von den deutlich teureren Lösungen unterscheidet. Dadurch können die Kosten für ein Prototypenfahrzeug um bis zu einige Tausend Euro pro Jahr reduziert werden.

Hochauflösende und genaue, aber erschwingliche, Sensorik ist entscheidend für die Einführung hochautomatisierter Systeme im PKW-Bereich. Imaging Radare versprechen in dieser Hinsicht viel Potential. Da Herstellerangaben hinsichtlich der Sensor-Performance nicht immer zutreffen, manchmal unvollständig oder an Bedingungen geknüpft sind, wurde im Rahmen des Projektes ein Imaging Radar evaluiert. Hierzu wurde ein Versuchsaufbau mit verschiedenen Radar-Reflektoren gewählt, die hochgenau eingemessen wurden. Weiterhin verfügte das Fahrzeug über ein RTK-System. Die Abweichung zwischen den vom Imaging Radar gemessenen Werten und den eingemessenen Werten zeigte eine Normalverteilung, was ein Indikator dafür ist, dass keine bedeutenden Nebeneffekte zum Tragen kamen. Das Ergebnis zeigt, dass der Radar die Herstellerangaben erfüllen kann und höhere Genauigkeiten, verglichen mit den Standard-Radarsensoren, aufweist. Dies ist eine wichtige Voraussetzung für das höher automatisierte Fahren auf der Autobahn, wo aufgrund der hohen Geschwindigkeiten auch bei in größeren Distanzen Objekte zuverlässig erkannt werden müssen, idealerweise auch mit Informationen zur Objekthöhe.

Die Zuverlässigkeit des Fahrerzustands-Beobachtungssystems ist wichtig um Risiken durch einen abgelenkten Fahrenden frühzeitig erkennen zu können. Es wurden Testungen zur Beurteilung der Zuverlässigkeit durchgeführt. Dazu wurde bei stehendem Fahrzeug der Fokus alle fünf Sekunden auf ein anders Ziel gerichtet, beispielsweise die Windschutzscheibe (=Blick auf die Straße), das Mobiltelefon, das Cluster oder das Infotainmentsystem. In der Abbildung 15 ist zu erkennen, dass das System schnell und zuverlässig die Aufmerksamkeitszone des Fahrenden erkennt und bewertet. Die daraus abgeleitete Fahreraufmerksamkeit, also ob er abgelenkt oder aufmerksam ist, reagiert manchmal mit leichter Verzögerung, bildet die Realität aber insgesamt ausreichend schnell ab mit Blick auf die derzeit diskutierten Übergabezeiten.

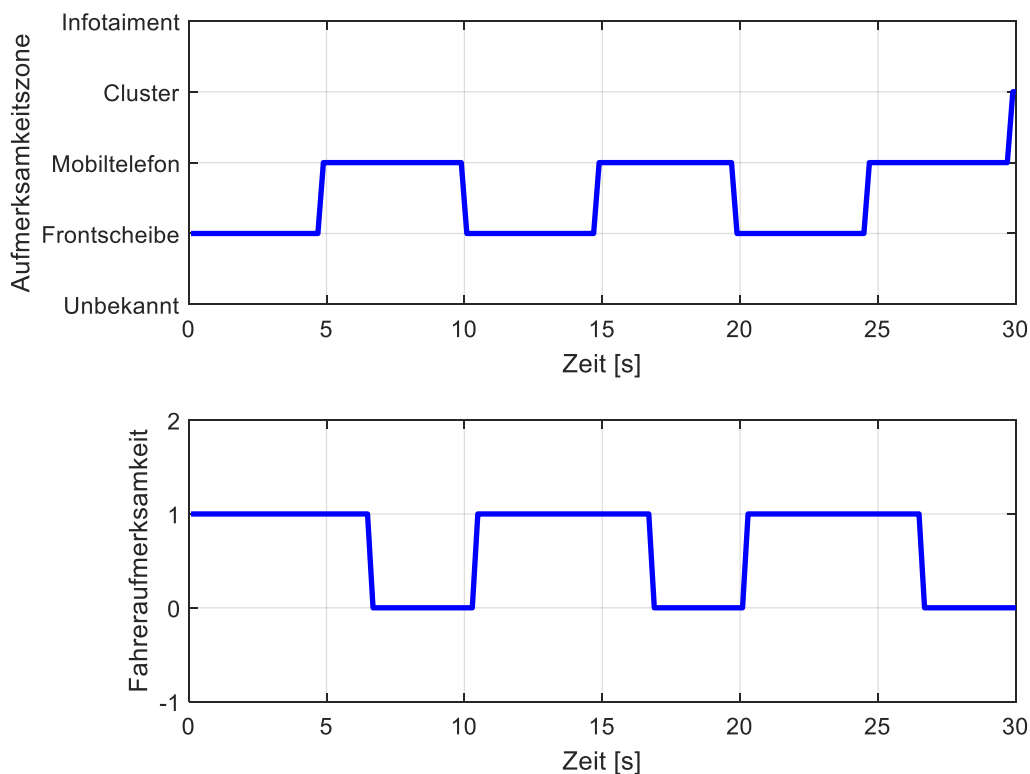


Abbildung 17: Klassifikation der Aufmerksamkeit im Fahrerzustands-Beobachtungssystem

Erkennt ein Fahrer eine Gefahrensituation während das Fahrzeug von einer automatisierten Fahrfunktion gesteuert wird, könnte es zu einer Intervention durch den Fahrer kommen, auch wenn das Fahrzeug diese Fahrsituation selbständig und vielleicht sicherer als der Mensch handhaben kann. Da diese Intervention gegebenenfalls reflexartig erfolgt, können Gefahrensituationen entstehen. Um zu untersuchen, wie Fahrer in einer solchen Situation reagieren, wurde eine Fahrstudie mit acht Probanden durchgeführt. Das Szenario (siehe Abbildung 18) sieht so aus:

- Das Fahrzeug befindet sich im automatischen Modus und fährt mit 120 km/h, bremst dann plötzlich stark
Ursache: Ein verdecktes Stauende (Abbildung 18)
- Der Lieferwagen, der das Stauende verdeckt weicht dem Stauende aus und wechselt die Spur. Im toten Winkel des Ego-Fahrzeugs befindet sich ein Fahrzeug.

Durch die plötzliche und sehr starke Bremsung der automatisierten Fahrfunktion werden alle Probanden dazu animiert einzugreifen und selbstständig zu bremsen. Dabei haben sechs von acht Probanden die Hände am Lenkrad. Ein Proband leitet eine Lenkbewegung zum Ausweichen ein, schaut aber in den Seitenspiegel und macht einen teilweisen Schulterblick. Die meisten Probanden gaben an, reflexartig gehandelt zu haben. Dabei kam es auch zu einem unangemessenen Eingriff, der eine Gefahr für alle Verkehrsteilnehmenden dargestellt hat. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass weiterer Forschungsbedarf zur Konzeption und Entwicklung von Übergabestrategien in Gefahrensituationen notwendig ist.

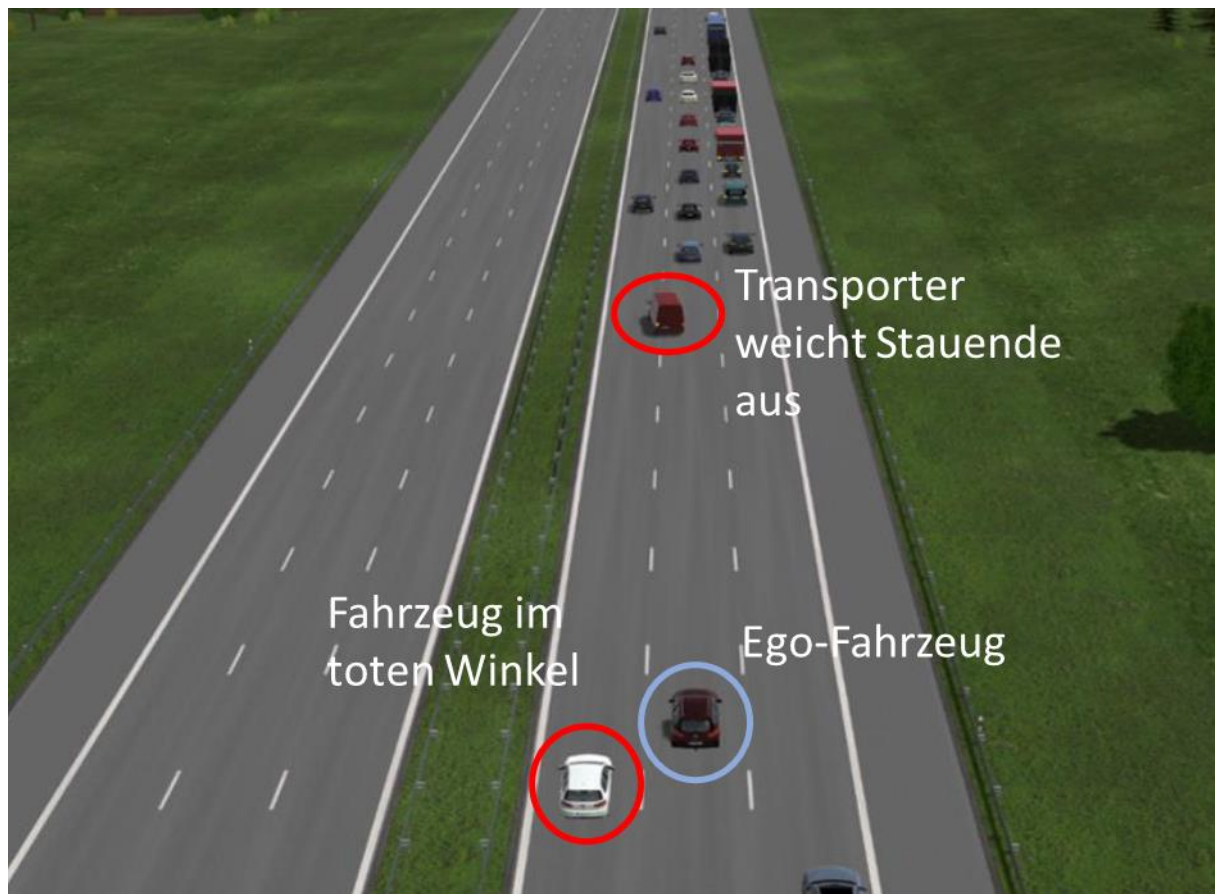


Abbildung 18: Szenario-Lieferwagen wechselt Spur gegen Stauende

Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen:

Straßen.NRW hat im Projekt ACCorD in erster Linie die V2X-Kommunikation zwischen der Straßeninfrastruktur und den Fahrzeugen untersucht. Mit den folgenden Anwendungsfällen zur kooperativen LSA wurde der Aufwand und der zu erwartenden Nutzen für die Lichtsignalsteuerung und ihre Einbettung in das übergeordnete Verkehrsmanagement bewerten:

- Schaltzeitprognose zur Bereitstellung von SPaT- und MAP-Meldungen über den MDM sowie über die lokale V2X-Kommunikation
- Fahrzeuggenerierte Grünzeitanforderung von ÖPNV und Einsatzfahrzeugen
- Fahrzeugbasierte Verkehrslageermittlung

Darüber hinaus wurde der System- und Lösungsansatz verschiedener Hersteller bezüglich der für die Realisierung der Anwendungsfälle bereitzustellenden LSA-Infrastruktur unter realen Bedingungen erprobt und bewertet.

Mit den Anwendungsfällen zur virtueller Netzbeeinflussung

- Virtuelle Netzbeeinflussung zur Übertragung von Störungen im Straßennetz und gegebenenfalls Umleitungsempfehlungen über den MDM
- Baustelleninformation zur Übertragung von Meldungen zu Baustellen und den Baustellenumleitungen über den MDM

wurde untersucht, inwieweit die Netzbeeinflussung mit Hilfe der V2X-Kommunikation direkt in die Fahrzeuge gebracht werden kann.

Kooperative LSA

Eine kooperative LSA dient dem Austausch von Nachrichten zwischen der LSA und den Verkehrsteilnehmenden, um einerseits die Sicherheit und Leistungsfähigkeit des Verkehrs am Knotenpunkt zu erhöhen und andererseits den Verkehrsteilnehmenden ein effektives Passieren des Knotenpunkts zu ermöglichen.



Abbildung 19: Kooperative LSA mit RSU auf der L232 (HERZ0218)

Je nachdem, ob die LSA mit fest definierten Programmen, verkehrsabhängig oder mit anderen koordiniert (von einer Zentrale) gesteuert werden, ergeben sich unterschiedliche Möglichkeiten und Anforderungen. In ACCorD wurde die unterschiedlichen Ansteuerungen der LSA und RSU untersucht.

Testfelder

Die kooperativen LSA sollten ursprünglich auf einer langen Strecke mit acht LSA unterschiedlicher Hersteller mit unterschiedlichen Steuerungsverfahren untersucht werden. Da im Ausschreibungsprozess nur zwei Signalbaufirmen gewonnen werden konnten, die ihre LSA und RSU an die ACCorD-Zentralen-Funktionalitäten (AZF) eines weiteren Herstellers anschließen wollten, teil sich das Testfeld für die kooperativen LSA auf die L232 zwischen Herzogenrath und Aachen und die L240 nördlich der Autobahnanschlussstelle Alsdorf auf.



Abbildung 20: Kooperative LSA auf der L232 südlich von Herzogenrath und auf der L240 nördlich der Autobahnanschlussstelle Alsdorf

In diesen beiden Testfeldern wurden je drei LSA einer Signalbaufirma mit einer RSU aufgerüstet und die jeweils zugehörige SMZ angepasst. Die beiden SMZ und alles sechs LSA wurden mit Ihren RSU an die AZF angeschlossen. Untersucht wurden damit die Schaltzeitprognose für Festzeit- und verkehrsabhängige Programmsteuerung, die Grünzeitanforderung eines ÖPNV- und eines Einsatzfahrzeugs sowie die Möglichkeiten einer fahrzeugbasierten Verkehrslageermittlung. Die Ergebnisse der Schaltzeitprognose lassen sich mit den Ergebnissen der festzeitgesteuerten kooperativen LSA auf der Vaalser Straße in Aachen vergleichen.

Schaltzeitprognose

In einem Festzeitprogramm einer LSA ist der Zeitpunkt eines Phasenwechsels, beispielsweise die Schaltung von Rot nach Grün, jederzeit bekannt. In der Regel sind auch Programmwechsel bis auf Grünzeitanforderungen etwa von Bussen, Einsatzfahrzeugen oder Fußgängern zeitlich für eine LSA fest eingestellt. Da aber auch mit einer dynamischen Anforderung ein festgelegter Prozess in Gang gesetzt wird, kann eine LSA den nächsten Phasenwechsel jederzeit den Verkehrsteilnehmenden mitteilen.

Da gerade im ländlichen Bereich zahlreiche verkehrsabhängige LSA-Steuerungen existieren, um auf die wechselnde Auslastung der Straße reagieren zu können, ist eine Prognose des Phasenwechsels erforderlich. Diese sollte zentralseitig erfolgen.

In ACCorD erstellte eine KI in der AZF auf Basis aktueller und historischer LSA-Daten eine Schaltzeitprognose. Diese Prognose wurde als MAPEM und SPaTEM an das Versuchsfahrzeug übertragen. Die Übertragung erfolgte auf drei unterschiedlichen Wegen:

- 1) Von der AZF werden MAPEM und SPaTEM mit OCIT-O 3 an die RSU und von dort weiter mit ITS-G5 an das Fahrzeug übertragen.
- 2) Von der AZF werden MAPEM und SPaTEM mit OCIT-C 2 an die SMZ übertragen. Von der SMZ werden sie dann weiter mit OCIT-O 3 an die RSU und von dort weiter mit ITS-G5 an das Fahrzeug übertragen.
- 3) Von der AZF werden MAPEM und SPaTEM in einem Nachrichten-Container an den MDM übertragen. Vom MDM wurden die Nachrichten von einem Service Provider (Vodafone) ausgelesen und an das Fahrzeug übertragen.

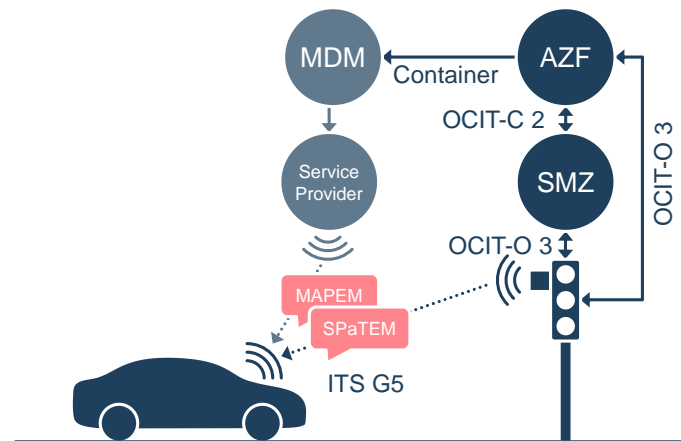


Abbildung 21: Übertragung einer Schaltzeitprognose von der AZF an das Versuchsfahrzeug

Die Latenzen für die Nachrichtenübertragungen auf den ersten beiden Übertragungswegen waren sogar für das automatisierte Fahren ausreichend klein (Verluste in den SMZ lassen sich sicherlich noch optimieren). Da die Topologie und Geometrie eines Straßenknotenpunkts sich nur hin und wieder ändert, ist eine Übertragung der MAPEM auch auf dem dritten Weg zu vernachlässigen. Die Übertragung der SPaTEM über dem MDM konnte nicht mehr innerhalb der Projektlaufzeit verifiziert werden. Dafür gab es aber einen ähnlichen Übertragungsweg per MQTT in der Stadt, dessen Latenzen zwar größer sind als beim Weg über die RSU, aber dennoch ausreichend für das automatisierte Fahren. Der Anwendungsfall Schaltzeitprognose kann zukünftig als durchaus auch über Mobilfunk erfolgen.

Die Prognosen für den Phasenwechsel einer Festzeitsteuerung waren sowohl in der Stadt als auch auf dem Land für das automatisierte Fahren geeignet. Die Prognosen für den Phasenwechsel einer verkehrsabhängigen Steuerung konnte das Versuchsfahrzeug erwartungsgemäß nicht direkt für das automatisierte Fahren nutzen. Hier liegt Potential für eine modifizierte verkehrsabhängige LSA-Schaltung auf Basis der Anmeldung von Verkehrsteilnehmenden per V2X-Kommunikation.

Grünzeitanforderung

Das Anmelden eines ÖPNV-Fahrzeugs (Bus, Straßenbahn, ...) oder eines Einsatzfahrzeuges (Polizei, Krankenwagen, Feuerwehr, ...) an einer LSA per Funktechnik hat sich in vielen Jahren des Einsatzes gut bewährt. Eine Umstellung der Übertragungstechnik auf V2X-Kommunikation bietet den Vorteil, dass die Anwendung genauer spezifiziert und auf Verkehrsteilnehmende ausgeweitet werden kann, die bislang nicht berücksichtigt werden konnten.

Die ÖPNV-Priorisierung unterscheidet sich von der Unterstützung eines Einsatzfahrzeuges nur durch die unterschiedliche Reaktion der LSA. Während bei einer ÖPNV-Priorisierung versucht wird, die Phasenfolgen auf das ÖPNV-Fahrzeug anzupassen, wird die vorausliegenden Route des Einsatzfahrzeuges schnellstmöglich auf Grün und führ alle kreuzenden Verkehrsströme auf Rot geschaltet.

In ACCorD konnte mit dem Versuchsfahrzeug die Grünzeitanforderung sowohl zur ÖPNV-Priorisierung als auch zur Unterstützung von Einsatzfahrzeugen erfolgreich durchgeführt werden.

Es wurde der bereits in mehreren Städten (Hamburg, Kassel, ...) erprobte ETA-Befehl verwendet, der in der OCIT-Version 3 noch nicht berücksichtigt ist, aber die Route des Fahrzeuges (also die Kette der LSA auf dem weiteren Weg des Fahrzeuges) aufnimmt. Dabei meldete sich das Versuchsfahrzeug per SREM an der RSU an. Die RSU leitet die SREM (über die SMZ) an die AZF. Die AZF generiert eine ETA-Anmeldung zur ÖPNV-Priorisierung oder Einsatzfahrzeugunterstützung und sendet sie an die LSA. Gleichzeitig sendet sie eine SSEM (über die SMZ) an die RSU. Die RSU sendet die SSEM per ITS-G5 an das Fahrzeug.

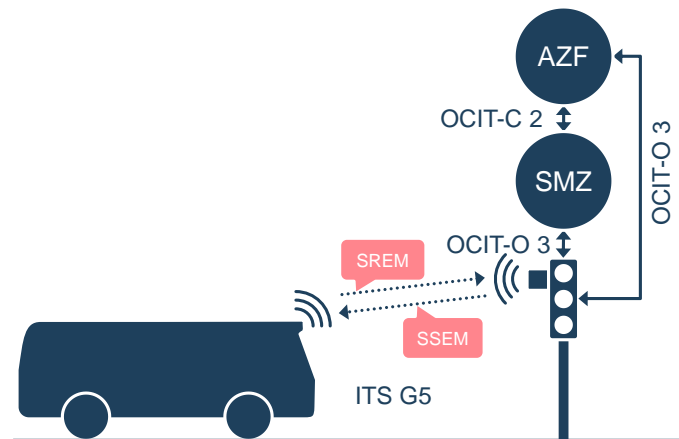


Abbildung 22: Übertragung einer Grünzeitanforderung und Rückmeldung zur ÖPNV-Priorisierung

Die Umsetzung der Standardisierung von OCIT-O 3 wurde parallel zur ACCorD Projekt vom OCA in Zusammenarbeit mit den Signalbaufirmen in der OCIT Developer Group (ODG) vorangetrieben

Fahrzeugbasierte Verkehrslageermittlung

Ein Anwendungsfall, der in vielen Forschungsprojekten zur V2X-Kommunikation aus Sicht der öffentlichen Straßenverkehrsbetreiber immer wieder Forschungsgegenstand sein sollte, ist die Bestimmung einer lokalen Verkehrslage aus den anonymisierten Verkehrsdaten (Ort, Geschwindigkeit, Ziel, Nässe, Temperatur, ...) der Fahrzeuge. Allerdings konnte er meist nicht in Gänze umgesetzt werden, ebenso wie in ACCorD, wo nur ein Versuchsfahrzeug zur Verfügung stand.

In ACCorD wurden die verfügbaren CAM-Daten aus dem Fahrzeug per ITS-G5 an die RSU gesendet. Von der RSU wurden sie über ein proprietäres Format direkt oder über die SMZ an die AZF gesendet. Die proprietäre Übertragung war notwendig, da in OCIT-O 3 derzeit keine Übertragung von CAM vorgesehen ist. In der AZF wurden die Fahrzeugdaten analysiert, um Informationen für eine Verkehrslage zu erhalten.

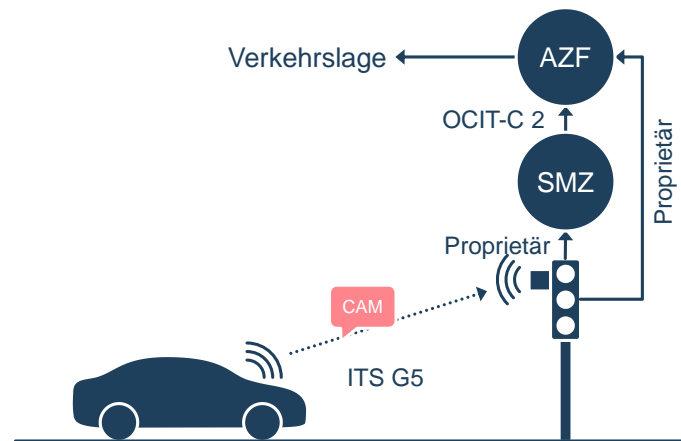


Abbildung 23: Übertragung von Fahrzeugdaten zur Bestimmung einer lokalen Verkehrslage

Die Schwierigkeit, dass derzeit zu wenig Fahrzeuge für eine ausreichende Bestimmung einer aussagekräftigen Verkehrslage in den Forschungsprojekten zur Verfügung stehen, sollte nicht die Notwendigkeit eine solchen Anwendung für den Regelbetrieb von V2X-Kommunikation mit der Straßeninfrastruktur in Vergessenheit bringen. Eine möglichst umfassende, qualitätsgesicherte, zentrale bestimmte Verkehrslage, die jedem Verkehrsteilnehmenden zur Verfügung gestellt wird, muss eine Hauptaufgabe der Straßenverkehrsbetreibenden im Bereich der V2X-Kommunikation werden.

Virtuelle Netzbeeinflussung

Die Beeinflussung des Verkehrs (also aller Verkehrsteilnehmenden) in einem Straßennetz hat das Ziel, Staus zu vermeiden, indem die Verkehrsteilnehmenden im Straßennetz mit Hinweisen und Umleitungsempfehlungen möglichst gut versorgt werden. Diese Verteilung in der NBA erfolgt derzeit über RDS/TMC (Radio) oder dynamische Wechselverkehrszeichen.

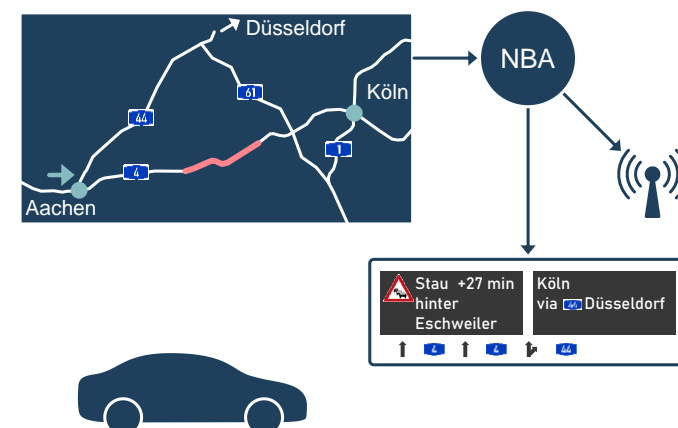


Abbildung 24: Derzeitige Netzbeeinflussung mit Hilfe von RDS/TMC oder Wechselverkehrszeichen

Eine virtuelle Netzbeeinflussung dient der Versorgung der Verkehrsteilnehmenden im Straßennetz mit Hinweisen und Umleitungsempfehlungen per V2X-Kommunikation, um einerseits die Sicherheit und Leistungsfähigkeit des Verkehrs im Netz zu erhöhen und andererseits den Verkehrsteilnehmenden ein schnelleres und effektives Erreichen ihres Fahrziels zu ermöglichen.

In ACCorD wurde auf Basis einer geprüften Verkehrslage für das zu beeinflussende Straßennetz in der NBA die relevanten Störungen identifiziert und mögliche

Umleitungsempfehlungen ermittelt. Die Störungen und Umleitungsempfehlungen wurden als strategische Routen per DATEX II an den MDM gesendet.

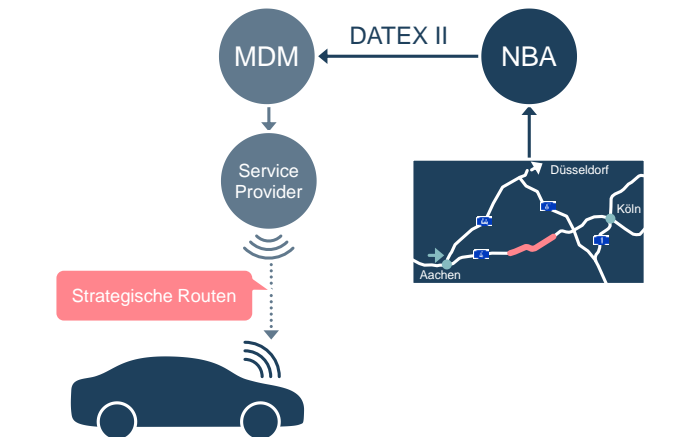


Abbildung 25: Virtuelle Netzbeeinflussung mit Übertragung strategischer Routen über den MDM

Die Übertragung der Störungen und Umleitungsempfehlungen vom MDM an die Fahrzeuge kann über einen Service Provider erfolgen, der die Nachrichten in den entsprechenden Netzbereich weiterleitet. In ACCorD wurde die Aufgabe des Service Providers von Vodafone übernommen, da das DATEX-II-Format im projektverlauf nicht vom Versuchsfahrzeug geparkt und über das HMI angezeigt werden konnte, gelangten die Störungen und Umleitungsempfehlungen nur bis zum MDM.

Da der MDM (und zukünftig die Mobilithek) als nationaler Zugangspunkt für Mobilitätsdaten unter anderem mit den neuen delegierten Verordnungen zur europäischen IVS-Richtlinie und des novellierten Personenbeförderungsgesetzes an Bedeutung zunimmt, wird dieser Übertragungsweg sowohl für die V2X-Kommunikation sowohl für das vernetzte Fahren als auch für viele Verkehrsbeeinflussungsmaßnahmen zum automatisierte Fahren nicht zu vernachlässigen sein.

Baustellenumleitung

In der Landesverkehrszentrale werde in einem entsprechenden System sämtliche bestehenden und anstehenden Baustellen in Nordrhein-Westfalen aufgenommen. In ACCorD wurde ihre Übertragung per DATEX II an den unter anderem mit den ausgewiesenen Umleitungsstrecken erfolgreich erweitert.

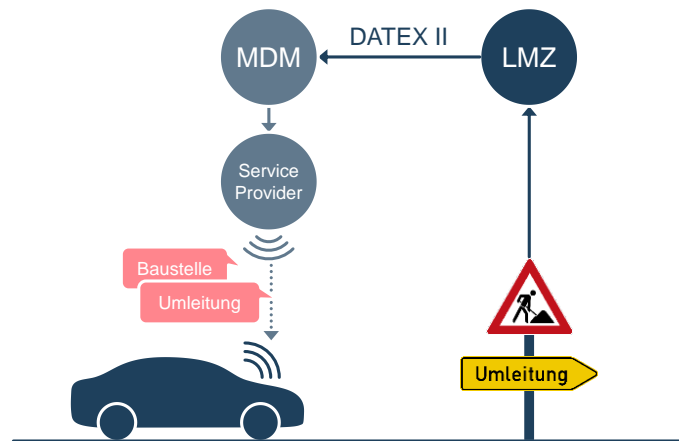


Abbildung 26: Virtuelle Netzbeeinflussung mit Übertragung von Baustellen und Umleitungen über den MDM

In ACCorD konnte die Übertragung der Baustelleninformationen und -umleitungen vom MDM an das Versuchsfahrzeug aus denselben Gründen wie bei der virtuellen Netzbeeinflussung nicht erfolgen. Unter Berücksichtigung der derzeitigen Entwicklung zur Standardisierung der Übertragung von MAPeM und SPaTEM unter anderem in der Version 2 des MAPeM und SPaTEM-Handbuchs des europäischen Projekts C-ROADS, in dem auch Bestrebungen zur Übertragung der Topologie und Geometrie von Baustellen diskutiert werden, sollte auch dieser Anwendungsfall eingehender untersucht werden.

Fazit

Das Ziel des Arbeitspaket 2 war die Erschließung von Verkehrsmanagementmaßnahmen im ländlichen Raum für das vernetzte Fahren. Alle hierfür in der ACCorD Projektskizze genannten Anwendungsfälle wurden umgesetzt.

Die Erweiterung der Straßeninfrastruktur um V2X-Technologie war im August 2021 abgeschlossen. Zu diesem Zeitpunkt wurden auch schon die strategischen Routen für die virtuelle Netzbeeinflussung und die Baustelleninformationen an den MDM übertragen. Bis Projektende konnten alle Anwendungsfälle erfolgreich umgesetzt werden.

Eine herstellerunabhängige zentrale Funktionalität mit mehreren Signalbaufirmen wurde nur bedingt erreicht, da eine Signalbaufirma sich nicht beteiligt hat und eine weitere zwar die V2X-Infrastruktur für drei LSA erfolgreich aufbauen, aber die Umsetzung der LSA-Anwendungsfälle bis Projektende nicht abschließen konnte.

Wie in vielen anderen Projekten zu vernetzten Fahren wurde auch in ACCorD deutlich, dass die Standardisierung der bidirektionalen V2I-Kommunikation für den Regelbetrieb noch nicht ausgereift ist. Ebenso wird der nationale Datenzugangspunkt (MDM, zukünftig Mobiltheke) derzeit für den individuellen Straßenverkehr noch zu wenig genutzt.

PTV Planung Transport Verkehr GmbH:

Im Rahmen des Arbeitspaketes 3 wurden von der PTV folgende Arbeiten durchgeführt und Ergebnisse erzielt.

Aufbau der Simulationsumgebungen

Von der PTV wurden Simulationsumgebungen für drei Testfelder und zwei der drei V2X-Korridore in PTV Vissim aufgebaut. Die zwei V2X-Simulationsumgebungen wurden Ford im Juni 2021 zur Verfügung gestellt.



Abbildung 27: Simulationsumgebung Campus Melaten



Abbildung 28: Simulationsumgebung A44



Abbildung 29: Simulationsumgebung B56



Abbildung 30: Simulationsumgebung Roermonder Straße (V2X)

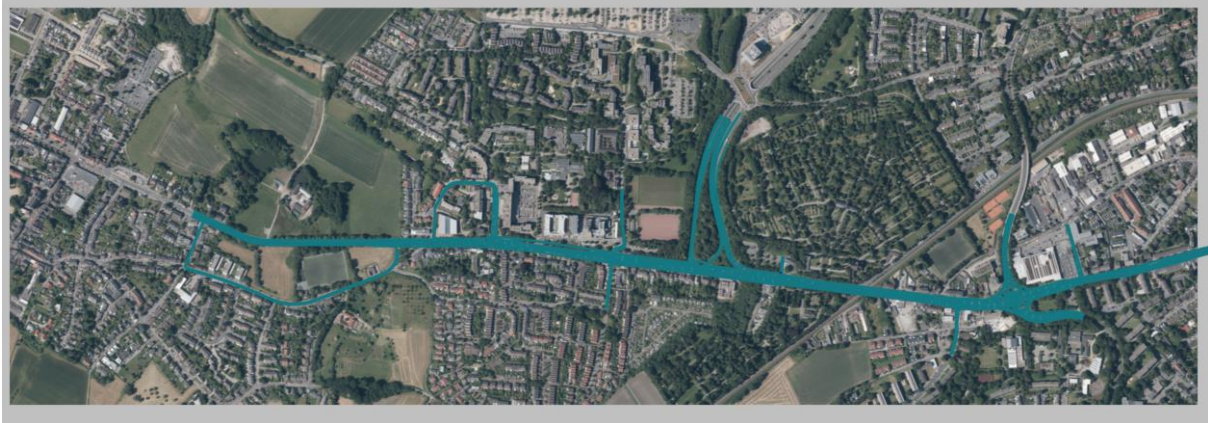


Abbildung 31: Simulationsumgebung Vaalser Straße (V2X)

Forschungsarbeiten zum lateralen Fahrverhalten

Die Forschungsarbeiten zum Fahrverhalten wurden in zwei Themen untergliedert:

- 1) Fahrstreifenaufteilung und
- 2) Fahrstreifenwechselverhalten

Datengrundlage: highD Datensatz

Als Datengrundlage der Forschungsarbeiten diente der sogenannte highD Datensatz. Dieser Datensatz beinhaltet Einzelfahrzeugtrajektorien, welche mithilfe von Drohnen-Aufnahmen erzeugt wurden. Der highD Datensatz soll vor allem der Weiterentwicklung der Sicherheit von hochautomatisierten Fahrzeugen dienen. Doch auch andere Forschungsbereiche wie Verkehrssimulationsmodelle oder Fahrverhaltensmodelle können durch die Trajektorien-Daten vorangetrieben werden [Krajewski et al., 2018].

Insgesamt umfasst highD folgende sechs gerade Autobahnabschnitte, die sich alle in der Nähe von Köln befinden. Ihre genauen Positionen sind in der Abbildung 32 dargestellt.



Abbildung 32: Positionen der untersuchten Autobahnabschnitte – modifizierte Abbildung [Krajewski et al., 2018]

Bei allen Autobahnabschnitten wurden jeweils beide Fahrrichtungen auf einer Länge von ca. 420 Metern observiert. Die Datenerhebung fand zwischen 2017 und 2018 tagsüber bei sonnigem Wetter statt. Insgesamt wurden 60 Videoaufnahmen mit einer durchschnittlichen

Dauer von 17 Minuten und einer hohen Auflösung von 25 Bildern pro Sekunde aufgezeichnet. Dadurch ergaben sich 110.000 Einzelfahrzeugtrajektorien.

Die Abschnitte sind mehr als 1.000 Metern von den nächsten Einfahrts- beziehungsweise Abfahrtsrampen entfernt. Dies gilt für beide Fahrrichtungen. Bei Autobahnabschnitt 6 befindet sich innerhalb des Untersuchungsraumes eine Einfahrtrampe in Fahrrichtung 1, welche in der Mitte der 420 Meter langen Strecke endet. Aus diesem Grund ergibt sich die Anzahl der Fahrstreifen von 6+1, wobei 6 für die Fahrstreifenanzahl des gesamten Querschnitts steht und somit drei Fahrstreifen je Richtung vorhanden sind. Dementsprechend sind in den Daten vier Autobahnabschnitte mit je drei Fahrstreifen pro Richtung und zwei Abschnitte mit je zwei Fahrstreifen pro Richtung enthalten. Lediglich bei ID 1 und ID 3 ist die zulässige Geschwindigkeit auf 120 km/h beziehungsweise 130 km/h begrenzt.

Der highD Datensatz liefert äußerst präzise und umfangreiche Informationen zum Verkehrsablauf auf deutschen Autobahnen. Verglichen mit anderen verfügbaren Daten, wie die des NGSIM-Projektes, umfasst er weitaus mehr Fahrzeugtrajektorien und repräsentiert ein breiteres Spektrum an Verkehrszuständen, was sich in weit gefächerten mittleren Geschwindigkeiten und unterschiedlichen Verkehrszusammensetzungen widerspiegelt [KR18]. Entsprechend wird der Datensatz als sinnvolle Grundlage für die Forschungsarbeiten betrachtet. Lediglich die Tatsache, dass für die meisten Autobahnabschnitte zeitlich stark limitierte Aufzeichnungen zur Verfügung stehen, wird als einschränkend angesehen. Außerdem ist es aufgrund der kurzen Untersuchungsstrecke von 420 Metern schwierig, Fahrstreifenwechsel und somit auch eine Änderung der Fahrstreifenwahl zu analysieren, da von den insgesamt 11.000 in den Daten enthaltenen Fahrstreifenwechseln nur die Hälfte komplett innerhalb des Untersuchungsraumes stattfinden [KR18].

Fahrstreifenwechselverhalten auf Autobahnen

Das Fahrstreifenwechselverhalten hat erhebliche Auswirkungen auf die mikroskopischen und makroskopischen Merkmale des Verkehrsflusses. Fahrstreifenwechsel werden häufig mit einer Verringerung der Autobahnkapazität und der Verkehrssicherheit in Verbindung gebracht. Bestehende Modelle konzentrieren sich hauptsächlich auf die Entscheidungsfunktion des Fahrstreifenwechsels und vernachlässigen im Allgemeinen eine detaillierte Modellierung des Fahrstreifenwechsellvorganges, indem sie ihn als ein momentanes Ereignis modellieren.

Diese Lücken wurden geschlossen, indem die Auswirkungen des Verkehrsflusses, der Verkehrsdichte und der Durchschnittsgeschwindigkeit auf die Anzahl der Fahrstreifenwechsel analysiert wurden. Zusätzlich wurden die Dauer der Fahrstreifenwechsel für Pkw und Lkw sowie die verschiedenen Faktoren ermittelt, die die Dauer beeinflussen. Dafür wurden Daten des oben beschriebenen highD Datensatz verwendet.

Insgesamt wurde keine eindeutige Korrelation der Anzahl der Fahrspurwechsel mit dem Verkehrsfluss beobachtet. Allerdings war die Anzahl der Fahrspurwechsel bei höheren Verkehrsdichten und niedrigeren Durchschnittsgeschwindigkeiten geringer. Aufgrund der hohen Sensitivität des Datensatzes konnten die genaue Dauer und Entfernung der Fahrstreifenwechsel berechnet werden. Die mittlere Dauer für Pkw und Lkw betrug 6,4 Sekunden beziehungsweise 6,8 Sekunden, mit einer Standardabweichung von 1,1 Sekunden beziehungsweise 1,2 Sekunden. Abbildung 33 zeigt die unterschiedlichen Formen der Trajektorien bei Fahrstreifenwechsel.

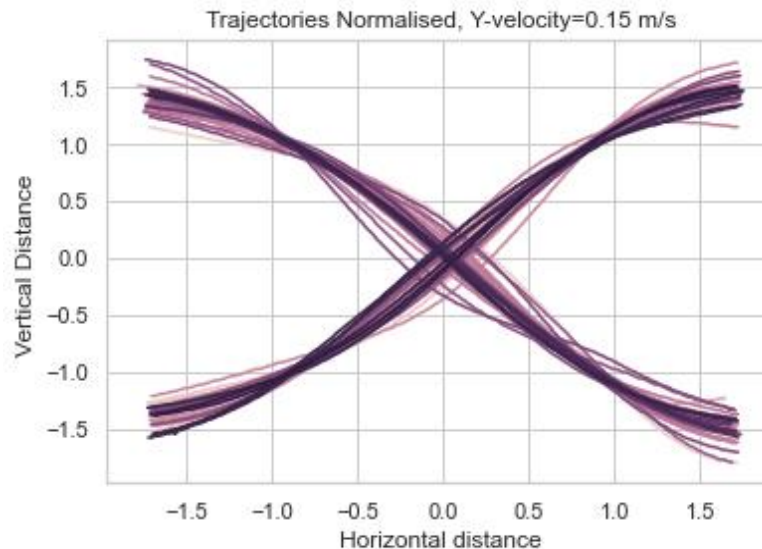


Abbildung 33: Trajektorie der Fahrzeuge bei einem Fahrstreifenwechsel

Die durchschnittliche Dauer des Abbiegens bei Pkw war beim Linksabbiegen kürzer als beim Rechtsabbiegen. Bei Lkw verhält sich die Abbiegedauer umgekehrt. Es wurde auch festgestellt, dass die durchschnittliche Dauer des Fahrstreifenwechsels kürzer ist, wenn der Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug auf derselben Fahrspur geringer ist. Befand sich bei einem Linksabbiegenden zum Zeitpunkt des Spurwechsels ein benachbartes Fahrzeug auf dem Zielfahrstreifen, so war die durchschnittliche Dauer des Spurwechsels kürzer als ohne das benachbarte Fahrzeug; bei einem Rechtsabbiegenden war dies jedoch umgekehrt. In Bezug auf den Verkehrsfluss und die Durchschnittsgeschwindigkeit wurde keine eindeutige Veränderung der Dauer des Fahrstreifenwechsels festgestellt. Die Analyse der Dauer von Fahrstreifenwechseln in Abhängigkeit von der Verkehrsdichte ergab, dass bei einer höheren Verkehrsdichte keine Fahrstreifenwechsel mit längerer Dauer gefunden wurden. Die Analyse der akzeptierten Lücken zeigte, dass die Fahrenden verschiedene Lücken mit unterschiedlicher Bedeutung wahrnehmen. Beim Linksabbiegen wurde die links vorausfahrende Lücke als weniger kritisch eingestuft als die links nachfolgende Lücke. Beim Rechtsabbiegen wurde die rechtsfolgende Lücke als weniger kritisch eingestuft als die rechtsvorangehende Lücke.

Bei der Testsimulation in PTV Vissim zeigte sich, dass bei der Verwendung der unveränderten Modellparameter in der Simulation, eine größere Anzahl von Fahrstreifenwechseln durchgeführt werden kann als bei den realen Daten. Die Anzahl der Fahrspurwechsel verringerte sich jedoch erheblich, wenn die Dauer der Fahrspurwechsel aus der realen Welt im PTV Vissim-Modell verwendet wurde. Dies zeigt, dass die Modellierung einer korrekten Spurwechseldauer und -distanz einen großen Einfluss auf die Leistung der bestehenden mikroskopischen Modelle haben kann.

Fahrstreifenaufteilung auf Autobahnen

Der Einfluss ausgewählter PTV Vissim-Parameter auf die Fahrstreifenaufteilung wurde untersucht, um herauszufinden, welche Parameter eine relevante Rolle für die spätere Kalibrierung spielen. Da die Fahrstreifenaufteilung sowohl vom Fahrzeugfolge- als auch vom Fahrstreifenwechselverhalten abhängt, sind die Parameter beider Modelle in der Sensitivitätsanalyse untersucht worden. Da sich diese Forschungsarbeit auf Autobahnen mit hohen Geschwindigkeiten bezieht, wurde als Fahrzeugfolgemodell Wiedemann 99 festgelegt. Entsprechend werden die Parameter dieses Modells analysiert. Hinsichtlich des Fahrstreifenwechselverhaltens wird als Grundverhalten das Rechtsfahrgebot verwendet, da dieses auf deutschen Autobahnen Anwendung findet. Außerdem wurden bei der Sensitivitätsanalyse die Parameter für notwendige Fahrstreifenwechsel nicht berücksichtigt,

da die untersuchte Strecke ohne Abzweigungen oder Rampen verläuft und somit nur eine Route vorhanden ist. Insofern treten keine Fahrstreifenwechsel auf, die durch Ein- oder Ausfahrt auf die oder von der Autobahn verursacht sind.

Bei den Default-Einstellungen der mikroskopischen Verkehrsflusssimulationssoftware PTV Vissim ist der Anteil des rechten Fahrstreifens bei geringen Verkehrsstärken zu hoch und der des mittleren Fahrstreifens zu gering (siehe Abbildung 34). Diese Abweichung kommt vermutlich dadurch zustande, dass sich die Fahrerenden in der Realität nicht so strikt an das Rechtsfahrgebot halten, wie die Fahrzeuge in der Software.

Um ein Kalibrierungsergebnis mit ausreichender Qualität zu erreichen, müssen mehrere Parameter fahrstreifenfein verändert werden. Zuerst wurde versucht, die Kalibrierung mit der Änderung der Parameter des Fahrzeugmodells zu erreichen. Als relevanteste Größen wurden die Parameter CC1 (Folgezeitlücken-Verteilung), CC2 (Folgeabstand-Oszillation), CC3 (Wahrnehmungsschwelle für Folgen), Sicherheitsabstandsfaktor und Freifahrzeit für die Sensitivitätsanalyse gewählt. Bei der Kalibrierung der Parameterkombinationen wurde oftmals entweder die Verkehrsstärkeanteile oder die Kapazität der Realdaten besser abgebildet.

Außerdem ergab die Überprüfung der Kalibrierungsgenauigkeit, dass die Hinzunahme von zusätzlichen Parametern nicht immer eine Verbesserung der Fahrstreifenaufteilung bedeutet. Durch Anpassung der fünf Parameter wird in PTV Vissim eine Fahrstreifenaufteilung erzeugt, die die Realität gut widerspiegelt (siehe Abbildung 34).

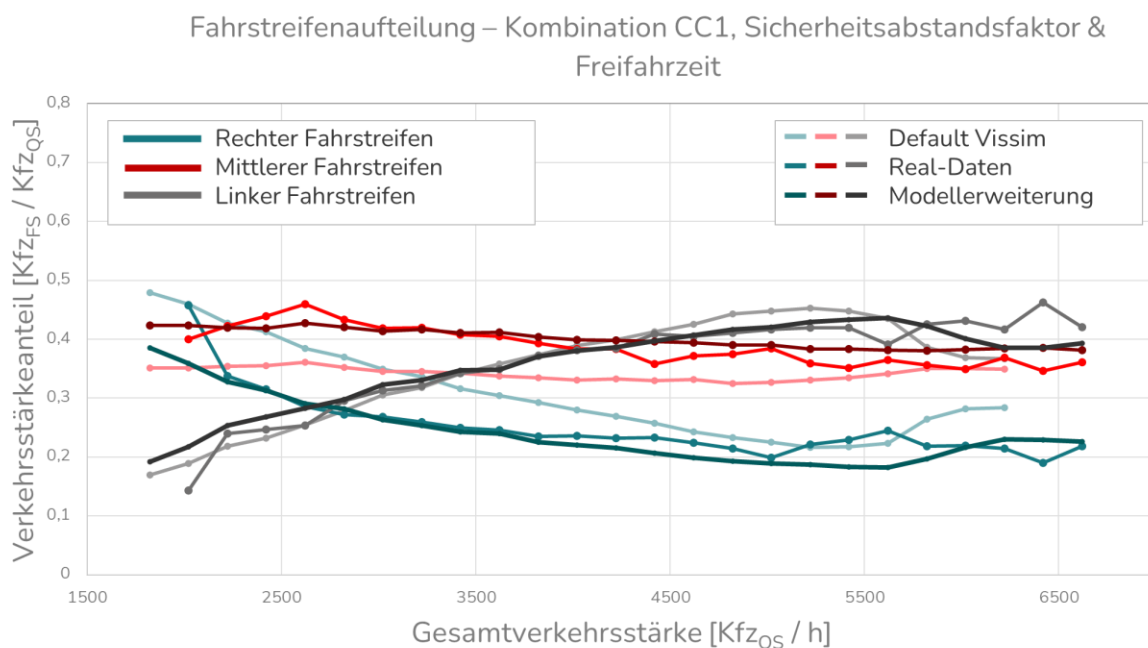


Abbildung 34: Vergleich zwischen Realdaten, Vissim default Einstellungen und der Kombination CC1, Sicherheitsabstandsfaktor und Freifahrzeit

Durch Änderung der Parameter des Fahrzeugfolgmodells ändern sich die gewünschten Fahrzeugabstände, was nicht unbedingt der Realität entspricht. Um eine einfachere und bessere Kalibrierung zu ermöglichen, werden im Folgenden zwei mögliche Modellerweiterungen aufgezeigt.

- Freifahrzeit als Zeitverteilung: Es ist anzunehmen, dass sich die Freifahrzeit in der Realität je nach Fahrendem und Fahrzeug ändert. Während sich manche sehr genau an das Rechtsfahrgebot halten und schon bei kleineren Lücken auf den langsameren

Fahrstreifen wechseln, nutzen andere „stur“ den mittleren Fahrstreifen. Aus diesem Grund wird vorgeschlagen, für die Freifahrzeit keinen festen Wert, sondern eine Zeitverteilung zu nutzen. Der Effekt einer verteilten Freifahrzeit wurde in PTV Vissim mithilfe von Fahrzeugklassen getestet.

Hierbei zeigte sich, dass je höher die Freifahrzeit beispielsweise der Mittelwert der Freifahrzeit-Verteilung gewählt wird, desto weniger Fahrzeuge nutzen den rechten Fahrstreifen. Dadurch wird die Nutzung des rechten Fahrstreifens besser abgebildet. Gleichzeitig nutzen deutlich mehr Fahrzeuge den linken Fahrstreifen, wodurch sich hier die Abbildung des Fahrverhaltens etwas verschlechtert. Für den mittleren Fahrstreifen sind die Abweichungen nur gering. Zusammenfassend lässt sich für diese Erweiterungsmöglichkeit sagen, dass dadurch vor allem ein realistischeres Verhalten simuliert wird. Es werden sowohl Fahrzeuge erzeugt, die sich strikt an das Rechtsfahrgebot halten, als auch „Mittelspurschleicher“. Hinsichtlich der Kalibrierung der Fahrstreifenaufteilung liefert die Modellerweiterung nur eine geringe Verbesserung gegenüber festen Werten.

- Einführung des Parameters SpwVwunschToleranz: Dieser Parameter legt fest, welche Verringerung der eigenen Wunschgeschwindigkeit in m/s, bedingt durch ein langsames vorausfahrendes Fahrzeug, ein Fahrzeug toleriert, ohne dass es versucht auf den schnelleren Fahrstreifen zu wechseln. Hierbei wird angenommen, dass Fahrer eine gewisse Geschwindigkeitsverringerung akzeptieren und keinen Fahrstreifenwechsel vollziehen. Dies hat vermutlich vor allem damit zu tun, dass das Fahren auf einem bestimmten Fahrstreifen für viele Fahrer angenehmer ist, als Fahrstreifenwechsel auszuführen. Zu diesen Fahrern können auch die sogenannten „Mittelspurschleicher“ gezählt werden. Insofern hat auch der neue Parameter zum Ziel, diese zu erzeugen. Der Parameter wurde demonstratorhaft in PTV Vissim eingesetzt. Generell eignet sich die Anwendung des neuen Parameters nicht für alle Fahrstreifen, da dadurch mehr Fahrzeuge den rechten Fahrstreifen nutzen würden und die Fahrstreifenaufteilung dadurch noch weiter von den Realdaten abweichen würde. Um stattdessen die Fahrzeuge, die trotz Rechtsfahrgebot auf dem mittleren Fahrstreifen bleiben, erzeugen zu können, wurde die SpwVwunschToleranz lediglich für den mittleren Fahrstreifen angewendet. Je höher der Parameterwert gewählt wird, desto mehr Fahrzeuge nutzen den mittleren Fahrstreifen. Dadurch, dass die Fahrzeuge gewisse Geschwindigkeitseinbußen tolerieren und auf dem mittleren Fahrstreifen bleiben, verringern sich die Verkehrsstärkeanteile des linken Fahrstreifens. Hinsichtlich des Simulationsergebnisse zeigen sich für den mittleren Fahrstreifen bessere Werte, je höher die Toleranz gewählt wird. Gleichzeitig erhöht sich der Fehler für den linken Fahrstreifen. Insgesamt ergibt sich dadurch die Verwendung des Parameters eine bessere Abbildung des Verhaltens auf dem Mittelfahrstreifen, aber keine Verbesserung der Fahrstreifenaufteilung.
- Kombination aus Freifahrzeit und SpwVwunschToleranz: Die beiden oben beschriebenen Modellerweiterungen verringern einzeln entweder den Fehler des rechten oder des mittleren Fahrstreifens und deren Effekt auf den linken Fahrstreifen gleicht sich aus. Kombiniert man nun die beiden Parameter und wählt beispielsweise SpwVwunschToleranz = 4m/s und Freifahrzeit = 30s / Normalverteilung ($\mu=25s$; $\sigma=5s$), werden alle Qualitätskriterien der Kalibrierung erfüllt. Abbildung 35 zeigt die Ergebnisse von unterschiedlichen Freifahrzeit und SpwVwunschToleranz im Vergleich zu den realen Daten.

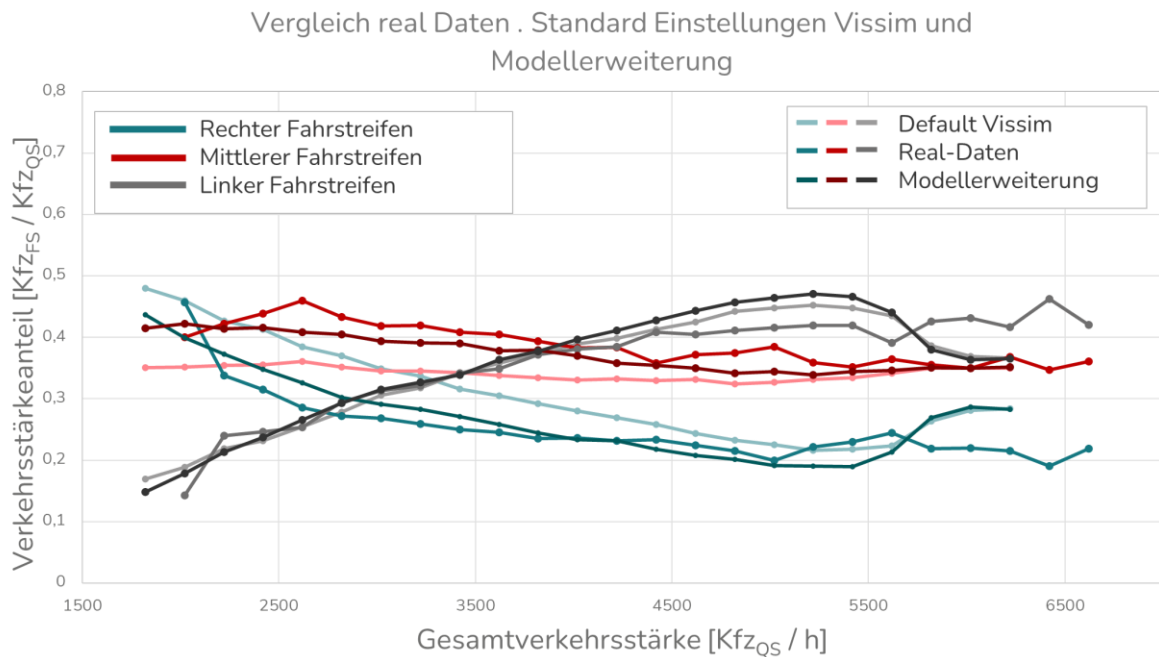


Abbildung 35: Vergleich zwischen Realdaten, Vissim Standard Einstellungen und der Modellerweiterung (Kombination zeitverteilte Freifahrzeit und Wunschgeschwindigkeitstoleranz)

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Kombination aus den beiden vorgeschlagenen Parametern eine erheblich einfachere und bessere Kalibrierung der Fahrstreifenaufteilung in Vissim ermöglicht. Zu Beginn der Arbeit wurden Kalibrierungen auf einzelnen Fahrstreifen durchgeführt. Dabei mussten zahlreiche Parameter auf den einzelnen Fahrstreifen verändert werden, um qualitativ ausreichende Ergebnisse zu erzielen. Mit dem neuen Ansatz ist nur eine Anpassung der Freifahrzeit auf dem rechten Fahrstreifen und eine Adaption der SpwVwunschToleranz auf dem mittleren Fahrstreifen notwendig. Wird statt einem festen Wert für die Freifahrzeit eine Zeitverteilung genutzt, ergeben sich etwas besser angepasste Verkehrsstärkeanteile. Außerdem führt eine Verteilung, genauso wie der neu eingeführte Parameter SpwVwunschToleranz, zu einer realistischeren Abbildung des Verkehrsverhaltens auf deutschen Autobahnen. Auf die Kapazität haben die beiden Parameter kaum einen Einfluss.

Stadt Aachen:

Nachdem zu Beginn des Projekts zunächst nur die Umrüstung von sechs LSA geplant war, konnten im Laufe des Projektes insgesamt acht LSA entlang der Vaalser Straße für die V2X-Kommunikation von der Siemens Mobility GmbH (heute: YUNEX GmbH) umgerüstet werden. Somit konnte eine hochmoderne, städtische Testumgebung geschaffen werden. Hochgerüstet wurden die folgenden LSA: 1141 Vaalser Straße/Welkenrather Straße, 1143 Vaalser Straße/Kronenberg, 1146 Vaalser Straße/Steppenbergallee, 1148 Vaalser Straße/Lennestraße. Teil des Auftrages war zudem die Erweiterung des Verkehrsrechners um ein CMS-Zentralensystem für V2X-Kommunikation sowie die Anschaltung der nun acht RSU an das CMS-Zentralensystem. Im Projektzeitraum konnte auch die Erweiterung des Verkehrsrechners (SCALA-VSR) der Stadt Aachen für den Anschluss von LSA-Steuergeräten via Ethernet-Technologie (DSL/LTE) sowie der Anschaltung der acht hochgerüsteten LSA entlang der Vaalser Straße an den SCALA-VSR via DSL/LTE durch die YUNEX GmbH abgeschlossen werden.

In Absprache mit den Projektpartnern ika, Ford und Vodafone, sowie mit dem Auftragnehmer YUNEX GmbH und mit dem DLR-Projektträger wurde die Entscheidung getroffen, anstelle der

MDM-Schnittstelle eine MQTT-Schnittstelle einzurichten, da diese geringere Latenzen aufweist. Auch das Teilprojekt „Einbindung Stadt und Mensch“ unter der Leitung der Stadt Aachen konnte unter teilweise bedingt durch die COVID-19-Pandemie herausfordernden Rahmenbedingungen erfolgreich abgeschlossen werden. So wurde das Projekt ACCorD in den Zukunftsräumen Smart City und Smarte Mobilität und Innenstadtlogistik des städtischen co-creation Centers OecherLab öffentlichkeitwirksam präsentiert. Die Ausstellungen waren von März bis September 2021 zu besichtigen und für Besucher*innen kostenfrei zugänglich. Neben zahlreichen Exponaten weiterer Innovationsprojekte, wurde hier in Anlehnung an die Idee des Mobility Stores ein Raum geschaffen, der die Bürger*innen zum Mitmachen motiviert und als Anlaufstelle rund um das Thema Mobilität 4.0 dient. Für das ACCorD Projekt lieferte das ika ein Poster, Ford einen Erklärfilm zum autonomen und vernetzten Fahren und Vodafone in enger Zusammenarbeit mit der Stadt Aachen ein Modell, welches eine städtische Umgebung darstellt, in der automatisierte und vernetzte Mobilität durch projizierte Lichtelemente sichtbar und erfahrbar wird. Besucher*innen konnten sich entweder selbst durch kurze Informationstexte informieren, oder sich die Exponate und das Projekt ACCorD durch geschulte Mitarbeiter*innen der Stadt Aachen vorstellen lassen und Fragen stellen. Darüber hinaus führten präsent am Exponat angebrachte QR-Codes zur ACCorD Webseite, um weitere Informationsmöglichkeiten aufzuzeigen und eine weitere Beschäftigung mit dem Thema anzuregen.

Im Rahmen dieser Zukunftsräume fand zudem eine die Veranstaltungsreihe OecherDialog statt, die auf Grund der anhaltenden pandemischen Lage ausschließlich digital besucht werden konnte. Dabei wurden die in der aktuellen Ausstellung präsentierten innovativen Konzepte von den jeweiligen Exponatsgeber*innen vorgestellt. Am 21.04.2021 präsentierte Ford zum Thema der vernetzten und autonomen Mobilität. Bei der Veranstaltung am 14.07.2021 präsentierte das ika das ACCorD Projekt dem digitalen Auditorium und beantwortete in Anschluss Fragen der interessierten Stadtgesellschaft.

In enger Kooperation mit dem Forschungsprojekt SULEICA wurden 2021 insgesamt drei zielgruppenspezifische Bürgerwerkstätten durchgeführt. Den Auftakt machte am 01.07.2021 das digitale „Co Lab – Innovativ, vernetzt & intelligent?“ bei dem Studierende eingeladen waren Aachens Mobilität der Zukunft mit zu gestalten. Nach der Vorstellung der beiden Forschungsprojekte ACCorD und SULEICA diskutierten neun Teilnehmer*innen über Anwendungsfälle für innovative Mobilitätslösungen in Aachen. Das „Co-Lab – Fahrrad, Hooverboard, Roboterauto?“ richtete sich speziell an Kinder und Jugendliche und fand am 17.09.2021 im Rahmen des Festivals der Mobilität statt. Schüler*innen bekamen die Möglichkeit autonom agierende Roboter zu programmieren und sprachen gemeinsam mit den Leiterinnen des Workshops über ihre Visionen für die Mobilität der Zukunft. Den Abschluss der Reihe bildete der Senior*innen Workshop „Co Lab – Gehstock, Rollator, Flugtaxi? Im Alter intelligent mobil!“, bei dem am 04.11.2021 in den Räumlichkeiten des OecherLab insgesamt zwölf Senior*innen über die Möglichkeiten zukünftiger Mobilitätslösungen für die Bewegung im Alter diskutierten.

Eingebettet in das Rahmenprogramm der Europäischen Mobilitätswoche fand am 17.09.2021 das Festival der Mobilität im Kapuzinerkarree statt. Zur Generierung möglichst großer Synergieeffekte sowie möglichst großer öffentlicher Aufmerksamkeit wurde das Festival in Zusammenarbeit mit dem OecherLab organisiert. Auf zwei Outdoor-Flächen sowie im OecherLab selbst präsentierten Innovator*innen (unter anderem MOOVE, Ford, ika, Vodafone, Straßen.NRW) interessierten Bürger*innen ihre Forschungsfahrzeuge und –

Ergebnisse. Die Veranstaltung war von einem Straßenfest-Charakter geprägt und lud so niederschwellig zum Mitmachen ein. So konnten die ca. 600 Besucher*innen technologische Entwicklungen (unter anderem den autonom fahrenden Kleinbus von MOOVE sowie die Funktionsweise einer Ampelschaltung von Straßen.NRW) begutachten und bei dem Entwickler*innen selbst Fragen stellen. Die nachmittags präsentierten Live-Fahrten der Ducktrains sowie zahlreiche Aktionen für Groß und Klein (unter anderem Candy-Bar und Slow Biking) rundeten das Veranstaltungsprogramm ab. Das Abendprogramm lud zu den „Future Talks“ im Cineplex ein: In Anlehnung an die weltweit bekannten TED-Talks stellten regionale Innovationstreibende dem Publikum ihre Visionen der zukünftigen Mobilität in Aachen dar und beantworteten Fragen.

Zum Abschluss des Forschungsprojektes wurde zudem ein Imagefilm zur Bewerbung von ACCorD produziert. In dem knapp 30 Sekunden langen Kurzvideo sind die Testumgebungen auf der Vaalser Straße, dem Campus Melaten und der Streckenabschnitt der B56 Richtung Aldenhoven auf Höhe des Ortes Dürboslar zusehen. Hierbei wurden Aufnahmen aus PKWs als auch Drohnenaufnahmen genutzt. Durch kurze Textbausteine und Animationen werden den Zuschauer*innen niederschwellig die Technologien und deren Nutzen nähergebracht. Das Video wurde auf den verschiedenen städtischen Social-Media-Kanälen veröffentlicht und konnte somit eine beachtliche Reichweite erlangen.

Vodafone GmbH:

Automatisierte und vernetzte Fahrzeuge können zur Steigerung der Verkehrssicherheit sowie zu einer effizienten und emissionsreduzierenden Mobilität und so zu besserer gesellschaftlicher Teilhabe beitragen. Damit wird ein Beitrag zu einem flächendeckenden, bedarfsgerechten und wirtschaftlichen Mobilitätssystem geleistet. Insbesondere im ländlichen Raum ist Mobilität Grundvoraussetzung für Versorgung und Teilhabe am öffentlichen Leben. Jedoch stellt die Entwicklung automatisierter und vernetzter Fahrzeuge alle Akteure vor immense Herausforderungen. Als technologisch komplexes System bestehend aus Verkehrs-, Kommunikations- und IT-Infrastruktur sowie automatisierten und vernetzten Fahrzeugen muss im realen Verkehr in Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmenden eine stets fehlerfreie Funktion sichergestellt sein. Dies erfolgt durch eine zeit- und kosteneffiziente Toolkette und Methodik, in der Simulation, abgeschlossene Testgelände sowie Testfelder im öffentlichen Verkehr bestmöglich verknüpft werden.

Vodafone bringt sich als 5G Pilot in das zukunftsorientierte Vorhaben mit anwendungsnaher Erforschung und Erprobung von automatisierten und vernetzten Fahrzeugen unter Einbeziehung von städtischen und ländlichen Umgebungen sowie von Autobahnabschnitten ein.

Vodafone als Partner im ACCorD Projekt

Vodafone gestaltet als 5G Pilot die Zukunft der Mobilität mit automatisierten und vernetzten Fahrzeugen. Es vernetzt Menschen und Maschinen, sichert Firmen-Netzwerke sowie Kommunikation und speichert Daten für Firmen in der deutschen Cloud. Im Rahmen von ACCorD erweitert Vodafone sein leistungsstarkes Mobilfunknetz, in dem Fahrzeuge, Infrastruktur und sonstige Verkehrsteilnehmende miteinander Informationen austauschen. Zudem ist Vodafone Technologielieferant und verantwortlich für die Kommunikationsinfrastruktur im Bereich Mobilfunk im Projekt ACCorD. Es werden sowohl Verkehrsinformationen von Fahrzeugen an die Verkehrsleitzentralen übertragen als auch Verkehrsinformationen von den Leitzentralen an die Testfelder gesendet.

Unsere Ziele und Verantwortungen im ACCorD Projekt

Neben dem Aufbau einer Infrastruktur zur Übertragung der Verkehrsdaten an die Mobilfunkinfrastruktur erfolgt die Bereitstellung der verfügbaren Daten über geeignete Mobilfunk-Technologie (V2X), die eine direkte Kommunikation zwischen Verkehrsteilnehmenden und Infrastruktur ermöglicht. Die Weiterentwicklung und Erprobung von automatisierten und vernetzten Fahr- und Steuerungsfunktionen in städtischer Umgebung und auf der Autobahn kann dank der Integration von V2X Modulen in die Fahrzeuge mit Kommunikation über Mobilfunk abgedeckt werden. Zusätzlich wurden Kommunikationsprotokolle für den vernetzten Verkehr analysiert, um die zukünftigen Anforderungen an das Mobilfunknetz zu beschreiben und abzuleiten.

Vodafone Infrastruktur im ACCorD Projekt

C-V2X Technologie ermöglicht einen **direkten Datenaustausch** zwischen Fahrzeugen, Infrastruktur (LSA) und anderen Verkehrsteilnehmenden über Mobilfunk. Vorteil dieser Lösung ist, dass dabei nicht notwendigerweise eine zentrale Server-Infrastruktur benötigt wird, und damit die **End-to-End Latenzen** verringert werden können.

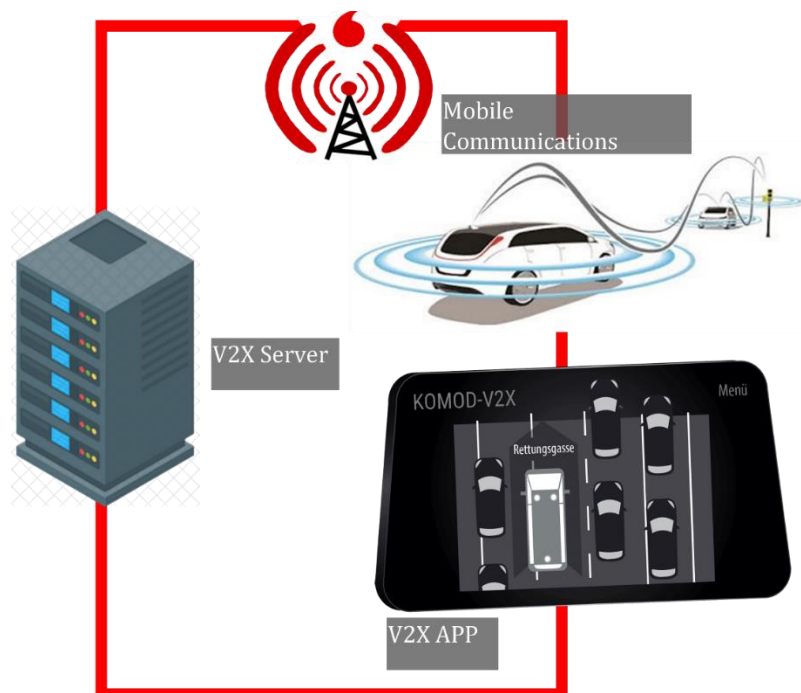


Abbildung 36: Vodafone Infrastruktur

Vodafone Komponente im ACCorD Projekt – V2X Server

Backend-Systeme:

Das **VIP Gateway** nimmt Informationen entgegen wandelt diese und gibt gefilterte Informationen an den C-V2X Server weiter.

C-V2X-Server ist eine Funktion, mit der Nachrichten in Abhängigkeit vom geografischen Standort des Empfängers oder einer Gruppe von Empfängern empfangen beziehungsweise gesendet werden kann.

- Geo-Messaging-Server

Folgende Funktionen eines V2X Servers wurden im Projekt ACCorD implementiert und angewendet:

- Einbindung von mobilem **Broadcast** (multicast - zielgruppenspezifisch)
- Einbindung von **GEOcast** (Geografische Verteilung)
- Anbindung von **3rd-Party-Applikationen** (beispielsweise MDM, Verkehrszentrale via VIP Gateway, etc.)

Vodafone Komponenten im ACCorD Projekt – V2X APP

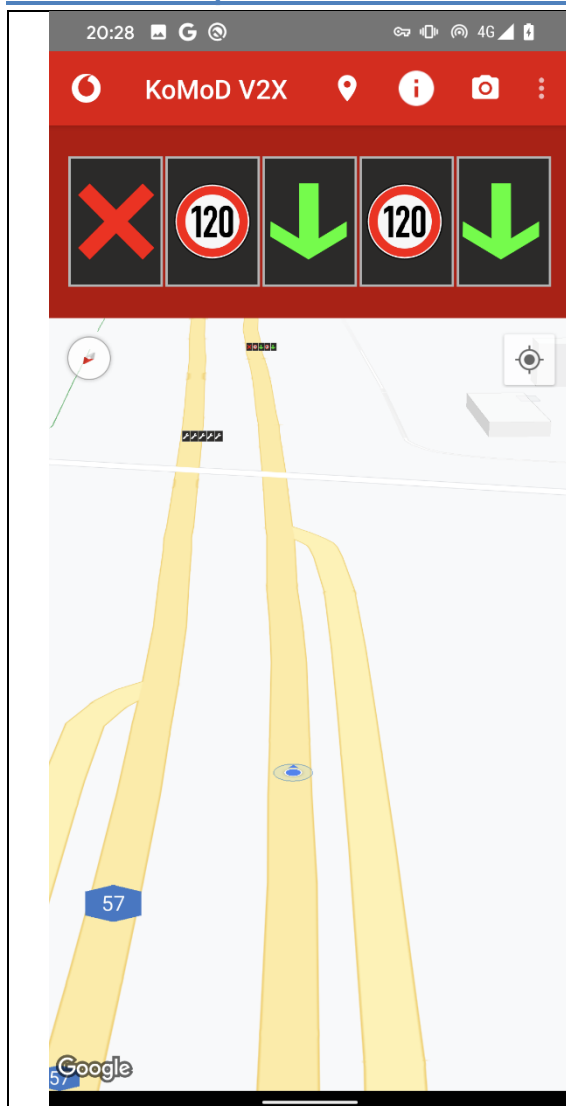


Abbildung 37: Vodafone V2X APP KoMoD

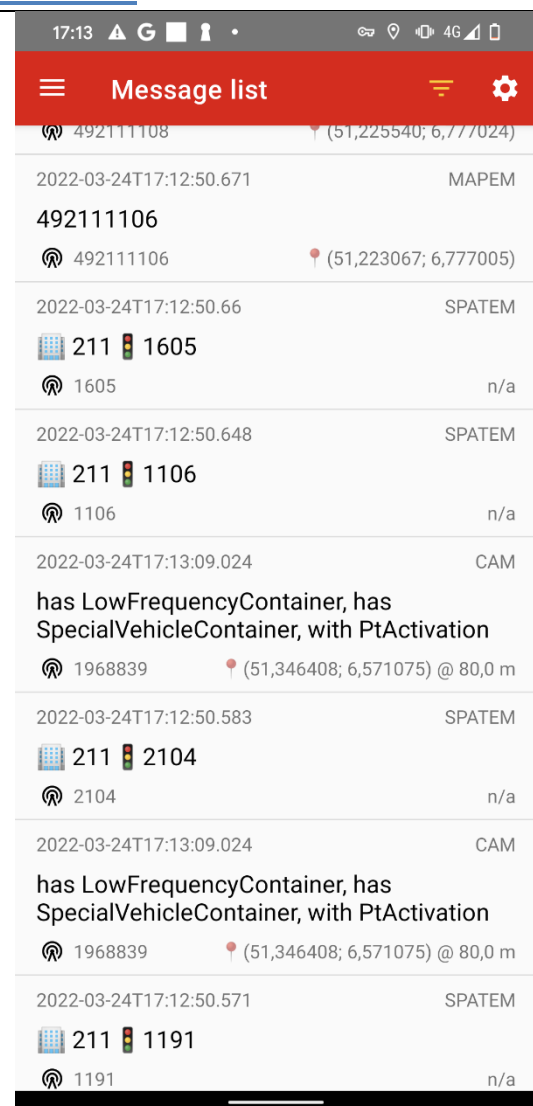


Abbildung 38: Vodafone V2X APP Message list

Die von Vodafone entwickelte V2X APP enthält folgende Dienste:

- Positionsdaten
- Rettungsgassenanforderung

- Ereignismeldungen (beispielsweise Unfall, Baustelle, Sperrung, Stau, Einsatzfahrzeug, Echtzeit Unwetter-Verkehrsinformationen wie Regen, Sturm/starker Wind)
- LSA-Anforderung/-Anmeldung für Radfahrende und Fußgänger*innen

Zusätzlich wurde eine **Debugging** Ansicht eingebaut, um auf Empfängerseite die Nachrichten menschenlesbar darzustellen.

- Dies vereinfacht die Problemlösung beim Ende-zu-Ende-Test.

Vodafone Komponenten im ACCorD Projekt – V2X Modul

Vodafone hat Interfaces zu den Backend-Systemen der verschiedenen Projektpartner etabliert, um Verkehrsinformationen über Mobilfunk bereitzustellen.

- **Vodafone V2X Module**

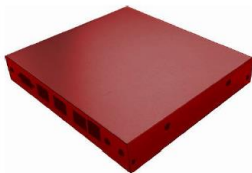


Abbildung 39: Vodafone V2X Module

Zusätzlich hat Vodafone 80 SIM-Karten mit unlimitedem Datentarif für den Einbau in die Infrastruktur zur Verfügung gestellt.

Vodafone Exponat im OecherLab - Modelstadt

Zukunftsraum intelligente Mobilität und Logistik

Dauerausstellung von 13.07 bis 20.09 in Aachen

Setup:

- Modelstadt: Situationen aus dem Autoverkehr
- Film: Auto-Navigationsmonitor
- 5G Handy: die Vodafone V2X APP



Abbildung 40: Vodafone Showcase

2.1. Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Institut für Kraftfahrzeuge (ika) – RWTH Aachen University

Tabelle 7: Verwendung Institut für Kraftfahrzeuge (ika) – RWTH Aachen University

Gepantes Ergebnis	Verwendung der Zuwendung	Erzieltes Ergebnis
AP 0 - Projektbüro		
<ul style="list-style-type: none"> ○ Unterstützung und Mitarbeit bei der Projektstrukturierung. ○ Organisation von Meetings innerhalb der Projektpartner (Steuerkreise, technische Projektmanagements, Sitzungen, Abstimmungstreffen). ○ Kontinuierliche Überwachung von Zeit- und Kostenplanung auf Gesamtprojektebene. ○ Unterstützung bei der Anfertigung von Projektberichten. ○ Bereitstellung von Kontaktmöglichkeiten für interessierte Drittparteien und Beantwortung externer Anfragen zum Gesamtvorhaben. ○ Betreuung von Öffentlichkeitsarbeit durch Bereitstellung von Inhalten für die Projektwebseite und Social-Media-Kanälen. ○ Planung und Organisation von Veranstaltungen und Showcases. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Personalkosten zur Umsetzung von AP 0 	Alle geplanten Ergebnisse erfüllt.
AP 1 – Verkehrserfassung		
<ul style="list-style-type: none"> ○ Anforderungen an Messstationen sowie an das Soft- und Hardwarekonzept definieren. Dies beinhaltet die Konzeptionierung der Referenzsensorik, der Stromversorgung und der Datenkommunikation. Die Referenzsensorik setzt sich aus Videokamerasystemen und Laserscannern (LiDARs) zusammen. ○ Aufbau der Messstationen auf einem 2,4 km langen Rundkurs in Aachen (Campus Melaten), an einem 1 km langen 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Personalkosten zur Umsetzung von AP 1 ○ Beschaffung von Hardware für die Umsetzung der Testfeldaufbauten ○ Vergabe von Unteraufträgen zur Umsetzung der Testfeldaufbauten 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Anforderungen an Messstationen sowie an das Soft- und Hardwarekonzept wurden definiert. ○ Alle geplanten Testfelder wurden erfolgreich aufgebaut. ○ Vollautarke örtliche Stromversorgung an den Streckenabschnitten B56 und A44 umgesetzt realisiert. ○ Algorithmen zur Objekterkennung und

<p>Landstraßenabschnitt bei Aldenhoven sowie an einem 1 km langen Autobahnabschnitt unter Berücksichtigung der verschiedenen Einsatzgebiete.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Realisierung einer örtlichen Stromversorgung an den Streckenabschnitten in Aldenhoven und an der Autobahn. Installation der Messstationen an den verschiedenen Streckenabschnitten. Fusion von Sensordaten der einzelnen Messstationen und Implementierung von Algorithmen zur Sicherstellung des Datenschutzes der Verkehrsteilnehmenden. Implementierung von Algorithmen zur automatisierten Objekterkennung und Klassifizierung. ○ Drahtlose oder Kabelgebundene Vernetzung der Messstationen mit einem zentralen Datenserver (abhängig vom Einsatzort). ○ Kontinuierliche Bereitstellung der erfassten Daten zur weiteren Verarbeitung durch die in AP3 zu errichtende Dateninfrastruktur. 		<p>-klassifizierung implementiert.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Drahtlose Vernetzung der Messstationen mit einem zentralen Datenserver und Bereitstellung der Daten umgesetzt.
<p>AP 3 – Dateninfrastruktur und digitaler Zwilling</p>		
<ul style="list-style-type: none"> ○ Aufbau von IT-Infrastruktur zur Übertragung der Daten von den in AP1 errichteten Messstationen an einen zentralen Server. ○ Fusionierung der von den Messstationen bereitgestellten Objektdaten. ○ Implementierung einer Datenbank zur Speicherung und Verwaltung der erfassten Messdaten. ○ Erstellung hochgenauer digitaler Karten der drei mit Referenzsensorik ausgestatteten Streckenabschnitte. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Personalkosten zur Umsetzung von AP 3 ○ Beschaffung von Server-/Messrechnerhardware für die Umsetzung der IT-Infrastruktur ○ Vergabe eines Unterauftrags zur Umsetzung der IT-Infrastruktur ○ Vergabe eines Unterauftrags zur Erstellung der hochgenauen digitalen Karten 	<ul style="list-style-type: none"> ○ IT-Backend inklusive Datenverarbeitung und Datenverwaltung erfolgreich eingerichtet. ○ Hochgenaue digitale Karten aller Streckenabschnitte erstellt.

<ul style="list-style-type: none"> ○ Nutzung der mit Hilfe der Referenzsensorik aufgezeichneten Daten zur Entwicklung und Parametrierung von Verhaltensmodellen von Verkehrsteilnehmende (beispielsweise Modellierung des Spurwechselverhaltens von Fahrzeugen). 		
AP 4 – Prototypische Implementierung von Fahrfunktionen		
<ul style="list-style-type: none"> ○ Versuchsfahrzeuge von MOOVE, Ford und ZF erproben neue Fahrfunktionen an den vorgesehenen Streckenabschnitten. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Personalkosten zur Umsetzung von AP 4 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Versuche mit Fahrzeugen von MOOVE und Ford erfolgreich durchgeführt.
AP 5 – Öffentlichkeitsarbeit, Bürgerbeteiligung und Vernetzung		
<ul style="list-style-type: none"> ○ Einrichtung einer Projektwebseite sowie Organisation und Durchführung von Veranstaltungen für Bürger*innen, Fachpublikum und Presse. ○ Aufbau eines Mobility Stores auf dem Campus Melaten als Präsentationsraum der Thematik „Reallabor teilautonomes Fahren“ für Bürgerinnen und Bürger bzw. Fachpublikum (Informationsbereitstellung durch Objekte, Medien und Informationsbroschüren, Durchführung von kleinformatischen Workshops und Informationsveranstaltungen). ○ Gemeinschaftliche Roadshow des Korridors. Mögliche Anfahrtspunkte: ika (Meetup), Info-Store (Workshop Nutzerakzeptanz), e.GO Werk (Produktionsstätte 4.0), OecherLab (SmartCity), Campusliner (urbane Teststrecke), Campus Aldenhoven (CERMcity). ○ Präsentation der Projektergebnisse auf 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Personalkosten zur Umsetzung von AP 5 ○ Vergabe eines Unterauftrags zur Erstellung der Projektwebseite 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Projektwebseite eingerichtet und Veranstaltungen und Vorträge im möglichen Rahmen durchgeführt. ○ Projekt erfolgreich in das landesweite Innovationsnetzwerk innocam.NRW eingebunden.

wissenschaftlichen Konferenzen. ○ Demonstration von Projektergebnissen in Form von Showcases im Korridor. ○ Einbindung des Projektes in das landesweite Innovationsnetzwerk.		
--	--	--

Institut für Straßenwesen (isac) – RWTH Aachen University

Das Ziel des isac war die Unterstützung von Projektpartnern bei der Weiterentwicklung und Erprobung von automatisierten und vernetzten Fahrfunktionen durch den Aufbau von Testfelder in ländlicher Umgebung und auf der Autobahn.

Tabelle 8: Verwendung Institut für Straßenwesen (isac) – RWTH Aachen University

Geplantes Ergebnis	Verwendung der Zuwendung	Erzieltes Ergebnis
Aufbau von Testfeldern, die die hochgenaue Erfassung der Trajektorien aller Verkehrsteilnehmenden auf definierten Streckenabschnitten entlang der Landstraße bei Aldenhoven sowie an der Autobahn A44 im Bereich Kreuz Jackerath mithilfe von Infrastruktursensorik ermöglichen.	Errichtung von zwei Testfeldern, in ländlicher Umgebung auf B56 sowie auf der Autobahn A44.	Auf dem Testfeld Land an der B56 und Autobahn an der A44 wurden jeweils elf Messstationen aufgebaut und mit Referenzsensorik ausgestattet. Jedoch konnten die erfassten Trajektorien- und die Testfelder, auch bedingt durch Verzögerungen durch die COVID-19-Pandemie und durch die Hochwasserkatastrophe 2021 in Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz im Projekt nur kurzzeitig für die Erprobung von automatisierten und vernetzten Fahrfunktionen verwendet werden.

MOOVE GmbH:

Tabelle 9: Verwendung MOOVE GmbH

Geplantes Ergebnis	Verwendung der Zuwendung	Erzieltes Ergebnis
Anforderungen an die Validierungsmethodik fertiggestellt	○ Personalkosten	Ein umfassendes Validierungskonzept für die Lokalisierungsfunktion wurde erarbeitet und in diesem Zuge wurden auch die Anforderungen an die Validierungsmethodik definiert.

<p>Aufbau eines Versuchsträgers, welcher als Forschungsfahrzeug für die prototypische Implementierung von autonomen Fahrfunktionen und Validierung externer Referenzsensorik genutzt werden kann.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Sensorset (LiDAR, Kameras, IMU, GPS, Referenz RTK) ○ Processing Units ○ Fahrzeugintegration (Planung, elektrische/mechanische Integration) 	<p>Die Sensorik wurde erfolgreich in die Fahrzeugarchitektur integriert und der Versuchsträger in mehreren Testfahrten auf verschiedenen Testgeländen eingesetzt.</p>
<p>Erstellung und Integration von hochgenauen digitalen Karten in die Fahrzeugarchitektur.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Forschungsarbeiten im Rahmen der Kartenerstellung (Auswertung der Referenzfahrten, Orthophoto Korrektur) ○ MATLAB Simulink Lizenzen und Entwicklung geeigneter Tools für die Extraktion vertikaler Landmarken aus den LiDAR generierten Punktwolken 	<p>Die Fahrzeugarchitektur und im speziellen die Softwarearchitektur des Fahrzeuges wurde finalisiert und Interfaces definiert. Die Komponenten aus Lokalisierung, Entscheidung und Trajektorienplanung wurden dabei bis auf die Funktionsebene spezifiziert und Interfaces definiert. Die Karte für die Landmarken basierte Lokalisierungsfunktion wurde über Referenzfahrten inkl. LiDAR -Messungen und Vergleich mittels digitalen Orthophotos korrigiert und verbessert.</p>
<p>Entwicklung der Algorithmen für die verschiedenen Domänen Lokalisierung, Wahrnehmung etc.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Personalkosten für Forschungs- und Entwicklungsarbeiten ○ Softwareentwicklung und Verwaltungstools für die Weiterentwicklung eines Software-Stacks 	<p>Die entwickelten Algorithmen zur Wahrnehmung und Lokalisierung sowie für die Entscheidung und Trajektorienplanung sind in einem prototypischen Stand auf Simulationsdaten und aufgezeichneten Realdaten erfolgt. Die Algorithmen wurden hinsichtlich Genauigkeit gegenüber der intern im Fahrzeug vorhandenen Referenzsensorik optimiert.</p>
<p>Erster Funktionstest der durchgängigen Werkzeugkette zur Validierung mit ersten Testdaten.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Entwicklung ausgewählter automatisierter Testungen für die Auswertung und den Vergleich der Trajektorien in Software. 	<p>Die Referenztrajektorien, welche während der Testfahrten auf dem Campus Melaten von der externen Referenzsensorik aufgenommen wurden, konnten genutzt werden, um die entwickelten Lokalisierungsalgorithmen zu validieren. Die aufbereiteten Daten sowie das Datenformat waren nutzbar, um eine</p>

		Auswertung durchzuführen. Die absolute Genauigkeit der Referenzsensorik muss noch abschließend validiert werden. Aufgrund technischer Einschränkung wurde nur ein Bushaltestellen Manöver zum damaligen Zeitpunkt ausgewertet.
Erprobung ausgewählter Fahrfunktionen anhand von aufgezeichneten Realdaten	<ul style="list-style-type: none"> ○ Forschungsfahrzeug und Software-Stack 	Die für die ausgewählten Fahrfunktionen notwendigen Algorithmen wurden anhand von aufgezeichneten Realdaten weiterentwickelt. Die Fahrten wurden stets mit Sicherheitsfahrer durchgeführt, da aufgrund technischer Einschränkungen keine Ansteuerung der Aktuatoren des Fahrzeuges erfolgen konnte.
Pilotbetrieb mit einem bekannten Personenkreis für das städtische Anwendungsszenario	<ul style="list-style-type: none"> ○ Planung der Testfahrten und Absperrung einzelner Teilstrecken des Testfeldes Stadt am Campus Melaten. 	Der Pilotbetrieb beschränkte sich auf zwei Testfahrten in Projektmonat 23. Es wurden verschiedene Testungen der Lokalisierung und des Trajektorienplaners durchgeführt. Da die Testungen mit Sicherheitsfahrer ohne automatisierte Ansteuerung durchgeführt wurden, wurde auf einen bekannten Personenkreis verzichtet.
Konzept für den Einsatz von zukünftigen Remote Operatoren erstellt	<ul style="list-style-type: none"> ○ Entwicklung, Abstimmung und Recherche für die Konzepterstellung (Personalkosten). 	Es wurde speziell das Konzept eines fahrerlosen ÖPNV Betriebs (Level 4) evaluiert und relevante Normen und Gesetze beachtet. Der Rechtsrahmen wurde bewertet und Ziele, sowie Fähigkeiten und Pflichten der betrieblich-technischen Aufsicht festgelegt. Aus diesen wurden Anforderungen auf Funktionsebene spezifiziert.

Ford-Werke GmbH:

Tabelle 10: Verwendung Ford-Werke GmbH

Geplantes Ergebnis	Verwendung der Zuwendung	Erzieltes Ergebnis
Anforderungen an Referenzsensorik	Wie geplant	Berücksichtigung der Anforderungen von Ford
Anforderungen an vernetzte LSA	Wie geplant	Anforderungsdokument erstellt
Versuchsfahrzeug mit automatisch längsgeführtem Ampelphasenassistenten entwickelt und im Korridor erprobt	Wie geplant	<ul style="list-style-type: none"> ○ Erprobungsfahrzeug aufgebaut ○ Fahrfunktion implementiert und zunächst simulativ, dann auf öffentlichen Straßen im Korridor, getestet und validiert ○ Kommunikationstechnologien Benchmarking erfolgt (ITS-G5, Mobilfunk via MDM/MQTT)
Versuchsfahrzeug fährt teilautomatisiert auf autobahnähnlichen Streckenabschnitten und automatisiert auf Autobahnen in den Korridoren	Anpassungen an der Zielsetzung während der Projektlaufzeit in Absprache mit dem DLR-Projekträger erfolgt	<ul style="list-style-type: none"> ○ Erprobungsfahrzeug aufgebaut ○ Preisgünstige Lösung für D-GPS mit Mobilfunk Korrekturdaten getestet und evaluiert ○ Imaging Radar Leistungsfähigkeit evaluiert ○ Fahrerzustands-Beobachtungssystem implementiert und evaluiert ○ Studien zu unangemessenen Fahrereingriffen in Notsituationen während der Automatisierung durchgeführt
Ursprünglich nicht geplant	Ursprünglich nicht geplant	Ford Versuchsfahrzeug simuliert Einsatzfahrzeug/ÖPNV zur Erprobung der Grünzeitanforderung für Bevorrechtigung von Einsatzfahrzeugen/ÖPNV
Öffentlichkeitsarbeit (Fachvorträge, Bürgerinformation /-beteiligung etc.)	Wie geplant	<ul style="list-style-type: none"> ○ Vortrag „Vernetztes und automatisiertes Fahren bei Ford“, Oecher Dialog (21.04.2021) ○ Teilnahme Festival der Mobilität mit Ausstellung des V2X Versuchsfahrzeuges, Aachen (17.09.2021) ○ Vortrag „Prototypical implementation of CAV features at connected traffic lights“, Wissenschaftliche Abschlussveranstaltung ACCorD, (29.03.2022) ○ Pressemitteilung “Ford testet intelligente Ampeln, die für Rettungs- und

		Einsatzfahrzeuge auf Grün umschalten“ (29.03.2022)
--	--	--

Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen:

Tabelle 11: Verwendung Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen

Geplantes Ergebnis	Verwendung der Zuwendung	Erzieltes Ergebnis
<p>AP 1: Die Testsensorik wird im vorgesehen Zeitplan durch das ika errichtet und getestet.</p>	Keine Aufwände für die Beratungsleistungen	Die Testsensorik wurde in der verlängerten Projektlaufzeit errichtet.
<p>AP 2:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Drahtlose oder Kabelgebundene Vernetzung der Implementierung einer virtuellen Netzbeeinflussung für die Autobahn und das nachgeordnete Netz, die eine Ausstattung mit Anzeigetafeln (beispielsweise dynamische Wechselwegweiser mit integrierten Stauinformationen, (dWiSta) entbehrlich macht. ○ Bereitstellung von Störungsmeldungen, wie beispielsweise Unfall- und Staumeldungen sowie Alternativrouten über den MDM. Im nachgeordneten Netz wird durch vorgegebene Routen verhindert, dass Fahrzeuge unerwünschte Strecken befahren (beispielweise durch Wohngebiete). ○ Zentrale betriebstechnische Anbindung der dem Testfeld zugeordneten LSA von Straßen.NRW, sodass auf lokale Verkehrs- und Schaltdaten zugegriffen und Programmänderungen in Abstimmung mit der zuständigen 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Zentrale Anbindung und Aufrüstung relevanter LSA mit geeigneten Steuermodulen und RSU mit V2X-Kommunikation inklusive Konzeption, Ausschreibungen, Koordination, Hardware und Softwareanpassungen ○ Bereitstellung von strategischen Routen zu Hinweisen für Störungen im Straßennetz und mögliche Umleitungsempfehlungen via MDM ○ Bereitstellung von Umleitungsempfehlungen und Baustellenmeldungen auf Bundes-, Landes- und Kreisstraßen inklusive maschinenlesbaren Routenempfehlungen via MDM 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Erfolgreicher Aufbau der Teststrecken in der ursprünglichen Projektlaufzeit ○ Erfolgreiche Durchführung aller Anwendungsfälle in AP 2

<p>Verkehrsbehörde vorgenommen werden können.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Realisierung von Grünzeitanforderungen an LSA im ländlichen Raum. ○ Ausstattung von LSA im ländlichen Raum mit RSU zur bidirektionalen V2X-Kommunikation. Verarbeitung empfangener Fahrzeugmeldungen zu Verkehrslage- und Störungsinformationen. Bereitstellung von Signalzuständen der LSA und Prognosen via V2X-Kommunikation (lokal) sowie via Mobilfunk und MDM (zentral). ○ Die geplanten Produkte und Schnittstellen zum Austausch digitaler Informationen (zentral über den MDM und lokal mittels V2X-Kommunikation über RSU) stehen für die Anwendungsfälle LSA-Schaltzeiten, LSA-Grünzeitanforderung, Ereignismeldungen im nachgeordneten Netz und virtuelle Netzbeeinflussung im Korridor zur Verfügung. 		
<p>AP 5: Synergien mit anderen Forschungsprojekten werden genutzt, die öffentliche Wahrnehmung des Projekts erhöht.</p>	<p>Praktisch kein Verbrauch, da der Austausch in der COVID-19-Pandemie ausschließlich über Video- oder Telefonkonferenzen stattfand</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Reger Austausch mit KOMODnext und der OCA ○ Aktive Beteiligung am Festival der Mobilität und der ACCorD Abschlussveranstaltung

PTV Planung Transport Verkehr GmbH:

Tabelle 12: Verwendung PTV Planung Transport Verkehr GmbH

Geplantes Ergebnis	Verwendung der Zuwendung	Erzieltes Ergebnis
<p>Ableitung allgemeiner Zusammenhänge, die zur allgemeinen (von der konkreten Simulationssoftware losgelösten) Beschreibung</p>	<p>Wie geplant</p>	<p>Ableitung allgemeiner Zusammenhänge, die zur allgemeinen Beschreibung des Fahrstreifenwechselverhalten und des Verhaltens hinsichtlich der lateralen</p>

des Fahrstreifenwechselverhalten und des Verhaltens hinsichtlich der lateralen Fahrzeugbewegung dienen – Zielerreichung bis Projektmonat 17		Fahrzeugbewegungen dienen, wurden erreicht. Details können in [PA21] und [MU21] gefunden werden. Projektmonat 18
Aufstellen von verbesserten allgemeinen Verhaltensmodellen zur Beschreibung des Fahrstreifenwechselverhaltens und des Verhaltens der Verkehrsteilnehmenden hinsichtlich der lateralen Fahrzeugbewegung – Zielerreichung bis Projektmonat 18	Wie geplant	Allgemein verbesserte Verhaltensmodelle zur Beschreibung der Fahrstreifenaufteilung wurden erstellt: Projektmonat 19
Demonstratorhafte Implementierung und Testungen der Verhaltensmodellansätze in der Softwareumgebung PTV Vissim – Zielerreichung bis Projektmonat 18	Wie geplant	Der neue Parameter Wunschgeschwindigkeitstoleranz wurde demonstratorhaft in der Softwareumgebung PTV Vissim implementiert, im Projektmonat 20.
Erstellung von vier Simulationsumgebungen für die Projektpartner – Zielerreichung bis Projektmonat 19	Erhöhter Aufwand, da fünf statt vier Simulationsumgebungen erstellt wurden	Fünf Simulationsumgebungen wurden erstellt (Campus Melaten, B56, A44. V2X Roermonder Straße, V2X Vaalser Straße) bis Projektmonat 27.
Überprüfung und Kalibrierung der Verhaltensmodellansätze zur verbesserten Simulation lateraler Fahrzeugbewegungen und des Fahrstreifenwechselverhaltens – Zielerreichung bis Projektmonat 20	Wie geplant	Die Verhaltensmodellansätze wurden im Projektmonat 21 überprüft und kalibriert.
Bereitstellung von vier Simulationsumgebungen für die Projektpartner – Zielerreichung bis Projektmonat 20	-	Zwei Simulationsumgebungen (V2X -Testfelder) wurden dem Projektpartner Ford im Projektmonat 18 zur Verfügung gestellt. Die weiteren Simulationsumgebungen

		wurden zum Ende des Projektes fertiggestellt. (da die Daten der Testfelder verspätet bereitgestellt wurden)
--	--	---

Stadt Aachen:

Tabelle 13: Verwendung Stadt Aachen

Geplantes Ergebnis	Verwendung der Zuwendung	Erzieltes Ergebnis
Ausstattung von LSA mit RSU zur bidirektionalen Kommunikation		Aufbau einer urbanen Testumgebung
Aufbau eines Mobility Stores		Aufbau eines Mobility Stores im Rahmen des städtischen OecherLab
Lange Nacht der Mobilität		Festival der Mobilität
Bürgerwerkstätten		Vier Bürgerwerkstätten

Vodafone GmbH:

Die Anwendungsfälle ACCorD gehen deutlich über den aktuellen Stand der Wissenschaft und Technik hinaus, welche zukünftige Kommunikationsinfrastrukturen erforderlich machen. Die Realisierung dieser Infrastruktur erfordert signifikante Investitionen seitens Vodafone, die weit über den vorgesehenen Netzausbau am Testfeld Düsseldorf hinausgehen. Um den weit gespannten Projektumfang ermöglichen zu können, sind somit weitreichende Investitionen in die Kommunikationsinfrastruktur erforderlich, die nur mithilfe von staatlicher Förderung für Vodafone tragbar sind.

Im Rahmen des Projektes ACCorD sollen innovative, neuartige Anwendungsfälle für das vernetzte Fahren erprobt und getestet werden. Um diese zu ermöglichen, ist es nicht ausreichend auf existierende Kommunikationsinfrastruktur zurückzugreifen. Technologien, die sich noch in einem Entwicklungsstand befinden, das heißt noch nicht standardisiert sind, sind somit erforderlich. Die Investitionen in diese Technologien ziehen ein wirtschaftliches Risiko für Vodafone nach sich. Auf der einen Seite bestehen erhöhte Risiken im Hinblick auf die sich noch in der Entwicklung befindende Technologie. Auf der anderen Seite sind zum jetzigen Zeitpunkt auch die Wertschöpfung und das resultierende Geschäftsmodell für Vodafone noch nicht eindeutig abzusehen. Aufgrund dieses erhöhten wirtschaftlichen Risikos wird sich Vodafone ohne staatliche Förderung nicht am Projekt ACCorD im beschriebenen Umfang beteiligen können.

Tabelle 14: Verwendung Vodafone GmbH

Geplantes Ergebnis	Verwendung der Zuwendung	Erzieltes Ergebnis
Konzipierung und Umsetzung der	Eigenleistung durch Vodafone	Kommunikation der einzelnen

Kommunikationslösung für alle Projektaufgaben mittels Mobilfunks		Verkehrsteilnehmenden und der Infrastruktur wurde konzipiert/entwickelt, aufgebaut, integriert, getestet und den Projektpartnern bereitgestellt. Als Weiteres hat Vodafone eine V2X APP entwickelt und für sämtliche Anwendungsfälle im ACCorD umgesetzt.
Aufbau und Betrieb der V2X Plattform	Beauftragte Leistungen an die unterbeauftragten Partner wie Tactilo und Consol	V2X Plattform bereitgestellt und Verfügbarkeit für alle relevante Anwendungsfälle sichergestellt
Versorgung des Testfeldes mit Mobilfunkkarten	Aufwendungen der SIM Karten	80 SIM Karten mit Tarif Data unlimited ans Projekt bereitgestellt

2.2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Institut für Kraftfahrzeuge (ika) – RWTH Aachen University

Tabelle 15: zahlenmäßiger Nachweis Institut für Kraftfahrzeuge (ika) – RWTH Aachen University

Position	Benennung im Antrag (AZK/AZA)	Verwendung
0835.1-6	diverse Unteraufträge	Vergabe essenzieller Dienstleistungen für Planung und Aufbau der Testfelder und der IT-Infrastruktur
0850.1	Videokameras Messstation	Essenzielle Komponenten der Testfelder
0850.2	Laserscanner Messstation	Essenzielle Komponenten der Testfelder
0850.3-4	Recheneinheit Messstation	Essenzielle Komponenten der Testfelder
0850.5	V2X- Kommunikationsmodul Messstation	Essenzielle Komponenten der Testfelder
0850.10	Zentraler Rechenserver	Zentraler Rechenserver als IT-Backend und Datenbank
0850.14	PV-Anlagen für Messstationen B56	Essenzielle Komponenten des Testfeldes Land an der B56
0850.15	PV-Anlagen für Messstationen A44	Essenzielle Komponenten des Testfeldes Autobahn an der A44

Institut für Straßenwesen (isac) – RWTH Aachen University

Tabelle 16: zahlenmäßiger Nachweis Institut für Straßenwesen (isac) – RWTH Aachen University

Position	Benennung im Antrag (AZK/AZA)	Verwendung
0850	Thermalkameras	Erweiterungskomponente des Testfeldes Autobahn an der A44

MOOVE GmbH:

Tabelle 17: zahlenmäßiger Nachweis MOOVE GmbH

Position	Benennung im Antrag (AZK/AZA)	Verwendung
F0813	Sensorset und Processing Units für das Fahrzeug	Das Sensorset wurde in die Fahrzeugarchitektur des People Mover genutzt und diente als Basis für die Entwicklung automatisierter Fahrfunktionen.
F0823	F&E und Forschungstransfer	Die Entwicklung der Algorithmen für die Lokalisierung, Umfeldwahrnehmung und Pfadplanung wurden in diesem Rahmen erforscht.
F084.1	Matlab / Simulink / Stateflow / Automated Driving Toolbox	Für die Verarbeitung von Punktwolken zur Erstellung der Landmarken basierten Karten, sowie zur Erstellung von Modellen der Fahrzeugarchitektur und der Steuergeräte genutzt.
F0847.2	Carmaker	Nicht erfolgt. Ursprünglich gedacht für Sensorsimulation verschiedener Testumgebungen. Stattdessen Sensoraufzeichnung aus Testfahrten verwendet.

F0847.3/4	Azure	Verwendet für Verwaltung von Software. Sourcecode Verwaltung (Repositories) und Projektabläufe sowie Strukturierung.
F0850	Zugang Teststrecke Aldenhoven	Test des Sensorsetup zur Umfeldwahrnehmung in sicherer Umgebung, um die Grenzen und Möglichkeiten des Systems in einer sicheren Umgebung zu testen.

Ford-Werke GmbH:

Tabelle 18: zahlenmäßiger Nachweis Ford-Werke GmbH

Position	Benennung im Antrag (AZK/AZA)	Verwendung
F0813.1	Material (C-V2X System)	Benchmarking der Kommunikationstechnologien.
F0813.2/3/4/5/6	Material <ul style="list-style-type: none"> ○ Antennen ○ RTK-System ○ LiDAR-Sensor ○ RCP Hardware ○ Fahrerzustands-Beobachtungssystem 	Anschaffungen nicht durchgeführt. Komponenten waren intern bereits verfügbar.

Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen:

Tabelle 19: zahlenmäßiger Nachweis Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen

Position	Benennung im Antrag (AZA)	Verwendung
0835	Vergabe von Aufträgen	<ul style="list-style-type: none"> ○ Auftrag für die Konzeption, Vergabe und Koordinierung der fünf Anwendungsfälle in AP 2 ○ Aufträge für den Aufbau der Testfelder zur Umsetzung der LSA-Anwendungsfälle ○ Auftrag für die Umsetzung der Übertragung der strategischen Routen an den MDM ○ Auftrag für die Erweiterung des TIC-Systems zur Übertragung von u.a. Baustellenumleitungen an den MDM
1	LSA-Workshop	
2	Grobkonzepts Anbindung lokalen LSA ...	
3	Feinspezifikation für Anbindung lokale LSA	
4	Feinspezifikation für die V2X-Kommunikation	
5	Grobkonzept für V2X basierte	
6	Grünzeitanforderung	
7	Feinspezifikation für die V2X basierte	
8	Grünzeitanforderung	
9	Feinspezifikation für die Software TIC BLK	
10	Erweiterung Netzmodell der UZ FCD	
11	Erweiterung Lizenz und Schnittstelle FCD Feinspezifikation für die Netzbeeinflussung Projektkoordination LSA	
0850	Hard- und Software	Hard- und Software für 6 LSA, 2 SMZ, 6 RSU

PTV Planung Transport Verkehr GmbH:

Tabelle 20: zahlenmäßiger Nachweis PTV Planung Transport Verkehr GmbH

Position	Benennung im Antrag (AZK/AZA)	Verwendung
0837	Personalkosten	Wie geplant

0838	Reisekosten	Kick Off Veranstaltung und Abschlussveranstaltung
------	-------------	---

Stadt Aachen:

Tabelle 21: zahlenmäßiger Nachweis Stadt Aachen

Position	Benennung im Antrag (AZK/AZA)	Verwendung
0850	0850.1 Umrüstung von LSA für V2X-Kommunikation 0850.2 Aus- und Einbau von Signalmasten 0850.3 Erweiterung des Zentralrechners	<ul style="list-style-type: none"> ○ Aufträge für den Aufbau und die Erweiterung des Testfelds
8031	0831.1 Mobility Store	<ul style="list-style-type: none"> ○ Ausstattung des Mobility Store im Rahmen des städtischen OecherLab
0835	0835.1 Mobilitätsfestival 0835.2 Bürgerwerkstätten	<ul style="list-style-type: none"> ○ Aufträge für das Event-management ○ Bewerbung der Veranstaltungen ○ Auftrag Workshop Konzeption, Durchführung und Nachbereitung

Vodafone GmbH:

Tabelle 22: zahlenmäßiger Nachweis Vodafone GmbH

Position	Benennung im Antrag (AZK/AZA)	Verwendung
0823	AZK: Pos.0823 01 ConSol	Lieferant des VIP Gateway. Erweiterung des bestehenden Systems
0823	AZK: Pos.0823 02 Tactilo	Lieferant des C-V2x Servers im VIP Lab. Erweiterung des bestehenden Systems
0823	AZK: Pos.0823 02 Altran	Erweiterung des Test Labs für ACCorD
0856	AZK: Pos.0856 04 VIP Labs	Unterstützungsleistung VIP Labs. Das VIP Lab stellt die zentralen Komponenten des C-V2x Eco-Systems dar und dient dem Forschungsprojekt als Rechenzentrum/Serverfarm

2.3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Institut für Kraftfahrzeuge (ika) & Institut für Straßenwesen (isac) – RWTH Aachen University

Automatisierte und vernetzte Fahrzeuge sind ein wichtiger Baustein zukünftiger Mobilitätssysteme. Die Entwicklung und Validierung von automatisierten und vernetzten Fahrzeugen erfordert unter anderem Feldversuche auf öffentlichen Straßen. Die Errichtung von vernetzter Verkehrsinfrastruktur in den Testfeldern Stadt am Campus Melaten in Aachen, Land an der Bundesstraße B56 und Autobahn an der A44 stellte somit einen wichtigen, unverzichtbaren Teil des Projektes dar.

MOOVE GmbH:

Da das Entwickeln automatisierter Fahrfunktionen mit hohen finanziellen Aufwänden verbunden ist, benötigte insbesondere das auf Wirtschaftlichkeit ausgerichtete Privatunternehmen MOOVE eine Förderung zur Durchführung des Projektes.

Da automatisiertes und vernetztes Fahren große Potenzial zur Steigerung der Verkehrssicherheit und Effizienz bietet, sind Entwicklungen in diesem Bereich von gesellschaftlichem Interesse und im Einklang mit den förderpolitischen Zielen der Bundesregierung.

Durch den Einsatz von Versuchsfahrzeugen wie dem People Mover mit integrierten Sensorsetup, können wichtige Daten gesammelt und evaluiert werden, um das automatisierte Fahren möglich und sicher zu machen.

Ford-Werke GmbH:

Höher automatisierte Fahrfunktionen für höhere Geschwindigkeiten (>60 km/h) sowie die Vernetzung von Fahrzeugen mit Infrastruktur und die Nutzung dieser Daten für die Fahrzeugregelung sind, zumindest in Europa, noch nicht serienmäßig verfügbar. Es gibt weiterhin einen hohen Forschungs-, Entwicklungs- und Validierungsbedarf. Insbesondere im Bereich der Vernetzung von Fahrzeugen mit Infrastruktur kann dies heutzutage nur in dafür vorgesehenen Testfeldern erfolgen, da die Technologie anderenorts noch nicht verfügbar ist. Zu Projektbeginn war unbekannt, ob die Qualität der Daten von vernetzten LSA ausreichend zur Nutzung von automatisierten Fahrfunktionen ist. Auch die Frage, welche der Kommunikationstechnologien sich mit Blick auf Latenz, Reichweite und Zuverlässigkeit eignen wurden, ist zuvor nicht umfänglich in der praktischen Anwendung untersucht worden.

Die Herausforderungen beim höher automatisierten Fahren auf der Autobahn sind aufgrund der hohen Geschwindigkeiten nach wie vor groß. Die Kosten für zusätzlich notwendige Sensorik, Aktuatorik und robuste Rechenleistung stellen eine Herausforderung dar. Daher werden Wege gesucht, die Kosten für Erprobungsfahrzeuge und Serienfahrzeuge zu senken. Auch das Zusammenspiel zwischen Mensch und Maschine während der Automatisierung erfordert weitere Forschung, etwa beim Eingriff des Menschen in die Automatisierung während Gefahrensituation und die notwendige Vorlaufzeit bei Übergabe von automatisiertem Fahren an den Menschen.

Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen:

Straßen.NRW hat nicht zuletzt aufgrund der guten Leitung des Arbeitspaket 2 seine Projektziele erreicht. Die Testfelder zur Untersuchung der LSA-Anwendungsfälle auf den

Landstraßen L232 und L240 konnten im Projektzeitraum eingerichtet und ausgebaut werden. Mit den sechs umgerüsteten LSA und der zentrale eingerichteten AZF konnten alle Anwendungsfälle erfolgreich durchgeführt, wichtige Erkenntnisse zum Aufbau einer LSA-Zentrale mit C-ITS-Anschlüssen gewonnen und die Übertragung von wichtigen Nachrichten über den nationalen Mobilitätsdatenzugangspunkt realisiert werden.

Die Übertragung der erweiterten Baustelleninformationen inklusive der Umleitungsstrecken an den MDM (zukünftig Mobiltheke) sind bereits im Regelbetrieb der Landverkehrszone NRW für jede erfasste aktuelle und geplante Baustelle in NRW etabliert. Gleiches gilt prinzipiell für die strategischen Routen der virtuellen Netzbeeinflussung. Für ein erfolgreiches Ausrollen des vernetzten Fahrens wird in der Landesverkehrszone von Straßen.NRW die V2X-Kommunikation weiter auf relevante verkehrliche Wirkungen untersuchen und ausbauen. Daher werden auch nach Projektende die Testfelder zur Kommunikation zwischen Zentrale, LSA und Verkehrsteilnehmenden auf der L232 und L240 weiter betrieben.

PTV Planung Transport Verkehr GmbH:

Die PTV führte alle notwendigen Aufgaben in Bezug auf das erfolgreiche Managen des Forschungsprojektes durch. Dazu zählte die Teilnahme an allen relevanten Telefonkonferenzen und Projektmeetings sowie das Verfassen aller Berichte im Berichtszeitraum.

Darüber hinaus leistete die PTV mit dem Aufbau der Simulationsumgebungen und die verbesserten Verhaltensmodelle zur lateralen Fahrzeugbewegungen einen wichtigen Beitrag zum Gelingen des Forschungsprojektes ACCorD.

Stadt Aachen:

Trotz einigen Herausforderungen konnte die Stadt Aachen ihre Projektziele zufriedenstellend erreichen. Die Testumgebung konnten im Projektzeitraum eingerichtet und ausgebaut werden. Mit den acht umgerüsteten LSA, statt ursprünglich nur sechs geplanten, konnte hier sogar die Erwartungen übertroffen werden. Im Bereich der Öffentlichkeitsarbeit konnte die Stadt Aachen ihre Aufgaben trotz der pandemischen Lage erfüllen. Durch zahlreiche Maßnahmen konnte der Aachener Stadtgesellschaft sowohl die Thematik des automatisierten Fahrens als auch Aachen als lebendiges Reallabor vorgestellt werden.

Nach Projektende soll die V2X-Infrastruktur der Stadt Aachen weiter betrieben werden und interessierten externen Nutzenden zur Verfügung stehen. Denn das Campus-Gebiet bietet als zentrales Erprobungsgebiet die Möglichkeit, intelligente Infrastruktur und automatisiertes Fahren Langzeittestungen zu unterziehen und dauerhaft bürgernah darzustellen.

Vodafone GmbH:

Die Anwendungsfälle ACCorD gehen deutlich über den aktuellen Stand der Wissenschaft und Technik hinaus, welche zukünftige Kommunikationsinfrastrukturen erforderlich machen. Die Realisierung dieser Infrastruktur erfordert signifikante Investitionen seitens Vodafone, die weit über den vorgesehenen Netzausbau am Testfeld Düsseldorf hinausgehen. Um den weit gespannten Projektumfang ermöglichen zu können, waren somit weitreichende Investitionen in die Kommunikationsinfrastruktur erforderlich, die nur mithilfe von staatlicher Förderung für Vodafone tragbar waren.

Digitale Testfelder für das automatisierte und vernetzte Fahren im Realverkehr sind in sämtlichen deutschen Bundesländern vertreten. Der Schwerpunkt dieser Testfelder bezieht sich allerdings meist auf V2X-Kommunikation (ITS G5 - RSU). Eine Virtualisierung von Verkehrsinfrastruktur (beispielsweise LSA, Verkehrsbeeinflussungsanlagen, etc.) über Mobilfunk in Abhängigkeit von der Position eines Fahrzeuges war bisher noch nicht oder nur bedingt erforscht worden. Hier hat sich Vodafone als Vorreiter bewiesen, streng nach dem Motto: „Stellen Sie sich eine Welt ohne Verkehrsschilder und Ampeln vor.“.

Im Rahmen des Projektes ACCorD sollten innovative, neuartige Anwendungsfälle für das vernetzte Fahren erprobt und getestet werden. Um diese zu ermöglichen, ist es nicht ausreichend auf existierende Kommunikationsinfrastruktur zurückzugreifen. Technologien, die sich noch in einem Entwicklungsstand befinden, das heißt noch nicht standardisiert sind, sind somit erforderlich. Die Investitionen in diese Technologien ziehen ein wirtschaftliches Risiko für Vodafone nach sich. Auf der einen Seite bestehen erhöhte Risiken im Hinblick auf die sich noch in der Entwicklung befindende Technologie. Auf der anderen Seite sind zum jetzigen Zeitpunkt auch die Wertschöpfung und das resultierende Geschäftsmodell für Vodafone noch nicht eindeutig abzusehen. Aufgrund dieses erhöhten wirtschaftlichen Risikos hätte sich Vodafone ohne staatliche Förderung nicht am Projekt ACCorD im beschriebenen Umfang beteiligen können.

2.4. Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Institut für Kraftfahrzeuge (ika) & Institut für Straßenwesen (isac) – RWTH Aachen University

Tabelle 23: Verwertung RWTH Aachen University (Institut für Kraftfahrzeuge (ika) & Institut für Straßenwesen (isac))

Projektergebnis/ Inhalt	Nutzen/ Verwertung
Errichtung der Testfelder Stadt am Campus Melaten, Land an der B56 und Autobahn an der A44	Die im Projekt errichtete Testumgebung soll auch nach Projektende für vollständig, das heißt nicht nur einzelne Testabschnitte, weiter für Forschungszwecke genutzt werden und der interessierten Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden. Hier soll neben der Nutzung in öffentlich geförderten Forschungsprojekten auch die Möglichkeit einer Nutzung im Rahmen von Industrieforschung geprüft werden. Auf diese Weise könnte der Wirtschaftsstandort Deutschland von der errichteten Testumgebung und dem entwickelten Know-how direkt profitieren, zielführend könnte dabei auch eine forcierte Nutzung durch KMUs sein. Wie im Projektantrag formuliert, könnte auf dies Weise auch die zum Weiterbetrieb erforderlichen Mittel erwirtschaftet werden. Außerdem wird so ein breiter Zugang für interessierte externe Nutzende geschaffen. Dabei ist sicherzustellen, dass die Nutzung für wissenschaftlichen Industrieforschung nachrangig gegenüber der wissenschaftlichen hoheitlichen Nutzung erfolgen soll.
Ausstattung des Testfeldes Autobahn an der A44 mit sieben Wärmebildkameras	Wegen der ausreichenden Stromversorgung mittels Solarpanele können die eingerichteten Wärmebildkameras nach Projektabschluss weiterhin im Betrieb sein. Dies erlaubt dem isac die erfassten Trajektorienendaten innerhalb anderen Forschungsprojekten zu verwenden.
Wissenschaftliche Erkenntnisse	Für ika und isac spielt die weitere wissenschaftliche Verwertung eine wesentliche Rolle. Erkenntnisse aus dem Projekt werden dabei unmittelbar in Lehrveranstaltungen wie „Fahrzeugtechnik IV: Automatisiertes Fahren“ einfließen. Die Projektergebnisse werden darüber hinaus Bestandteil von geplanten Dissertationsvorhaben an den beteiligten RWTH Instituten sein, deren Durchführung die Erstellung einer größeren Anzahl studentischer Abschlussarbeiten impliziert und zudem eine hervorragende Basis für eine Vielzahl wissenschaftlicher Veröffentlichungen darstellt. Hierzu zählt die Veröffentlichung der entwickelten Verkehrsmodelle und Trajektorienendatensätze, sowie der wissenschaftlichen Ansätze in Fachzeitschriften (Advances in Traffic Engineering, Journal of Transport Engineering) und auf nationalen und internationalen Kongressen (Straßen- und

	Verkehrskongress, Road Safety and Simulation Conference, HEUREKA, IEEE Intelligent Vehicle Symposium, IEEE Intelligent Transport Systems Conference, Aachen Colloquium Sustainable Mobility). Über den Einsatz studentischer und wissenschaftlicher Hilfskräfte wird dem wissenschaftlichen Nachwuchs die Möglichkeit eröffnet, bereits während des Studiums an Forschungsprojekten mitzuwirken. So wird der wissenschaftliche Nachwuchs ebenfalls gefördert.
--	---

MOOVE GmbH:

Tabelle 24: Verwertung MOOVE GmbH

Projektergebnis/ Inhalt	Nutzen/ Verwertung
Aus der Menge der untersuchten Algorithmen zur Eigenlokalisierung und Trajektorienplanung werden diejenigen gefunden, die das beste Validierungsergebnis liefern.	Die genutzten Algorithmen wurden evaluiert und auf Robustheit in bestimmten Einsatzgebieten getestet. Die Genauigkeit insbesondere der Lokalisierung muss für den Einsatz in automatisierten Fahrzeugen noch verbessert werden, kann jedoch als Basis und Erfahrungswert für zukünftige Entwicklungen genutzt werden.
Ausgearbeitete Inhalte der Validierungsmethodik aus Perspektive eines Fahrzeugherstellers.	Eine verbesserte Version der Validierungsmethodik (verknüpfte Messstationen, höhere Genauigkeit im Zentimeterbereich) hätte große Vorteile für die weitere Entwicklung automatisierter Fahrfunktionen. Das Erstellen einer Ground Truth stellt gerade im urbanen Bereich eine große Herausforderung dar. Hierfür sollte das aktuelle System weiter ausgebaut, verbessert und ein zukünftiger weiterer Betrieb sichergestellt werden.
Studie zu rechtlichen und technischen Rahmenbedingungen des Einsatzes der Remote Operatoren.	Es zeigt sich, dass durch Einsatz von Remote Operatoren auf lange Sicht der Einsatz von Sicherheitsfahren entfallen kann, wodurch die wirtschaftliche Nutzbarkeit von automatisierten Fahrzeugen im Flottenbetrieb deutlich verbessert werden kann, ohne die Sicherheit der Fahrzeuginsassen oder andere Verkehrsteilnehmende zu beeinträchtigen.
Pilotbetrieb eines automatisierten People-Movers für einen bestimmten Personenkreis.	Der technische Fortschritt (insbesondere im Hinblick auf Sicherheit) hat bis zum jetzigen Zeitpunkt keinen offenen Pilotbetrieb unter Einbeziehung der Öffentlichkeit erlaubt. Jedoch ist dieser Schritt sinnvoll und notwendig, insbesondere um Rückmeldungen mit Blick auf KPI und Akzeptanz des Fahrverhaltens zu erlangen.

Ford-Werke GmbH:

Tabelle 25: Verwertung Ford-Werke GmbH

Projektergebnis/ Inhalt	Nutzen/ Verwertung
Erprobungsfahrzeuge	Weiterentwicklung sowie Erprobung der Fahrfunktionen auch über das Projektende hinaus.

Automatisch längsgeführter Ampelphasenassistent	Sobald eine kritische Masse an vernetzten LSA mit standardisiertem Nachrichteninhalte und mit zuverlässiger Schaltzeitprognose vorhanden ist, kann eine Funktion wie ein automatisch längsgeführter Ampelphasenassistent als Funktion kommerziell angeboten werden.
Grünzeitanforderung für Einsatzfahrzeuge	Ford Fahrzeuge werden beispielsweise als Grundlage für Krankenwagen oder Polizeieinsatzwagen verwendet. Wenn eine kritische Masse an vernetzten LSA mit Grünzeitanforderungs-Funktion verfügbar beziehungsweise absehbar verfügbar ist, kann die fahrzeugseitige Funktion serienmäßig integriert werden.
Benchmarking der Kommunikationstechnologien und -Wege	Die Ergebnisse ermöglichen eine Bewertung, welche Kommunikationspfade sich für einen Serieneinsatz eignen.
Studienergebnisse zur unangemessenen Übersteuerung der automatisierten Fahrfunktion durch den Fahrenden	Berücksichtigung der Ergebnisse bei der Konzeption von automatisierten Fahrfunktionen zur Erhöhung der Sicherheit der Passagiere und anderer Verkehrsteilnehmenden.
Evaluierung eines Imaging Radar	Die Erkenntnisse werden zur Konzeption des Sensorsetups und zur Entwicklung verbesserter Algorithmen für Fahrzeuge mit automatisierten Fahrfunktionen verwendet.
Low-Cost D-GPS	Die Ergebnisse haben aufgezeigt, dass es möglich ist D-GPS zu vergleichsweise geringen Betriebskosten in ein Fahrzeug zu integrieren. Dies ermöglicht die Ausstattung einer Vielzahl an Erprobungsfahrzeugen mit D-GPS zu stark reduzierten Kosten, wie sie beispielsweise im Rahmen von Serienentwicklungsprojekten genutzt werden.
Evaluation des Fahrerzustands-Beobachtungssystem	Das Wissen über die Fähigkeiten und Limits zur Erkennung der Interventionsfähigkeit des Fahrenden werden für die Auslegung von automatisierten Fahrfunktionen sowie Informations- und Eskalationskaskaden verwendet

Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen:

Tabelle 26: Verwertung Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen

Projektergebnis/ Inhalt	Nutzen/ Verwertung
Anwendungsfall Schaltzeitprognose	Die Prognosedaten für die nächsten Signalphasen festzeitgesteuerter LSA stellen eine gute Unterstützung für automatisiertes Fahren dar. Nicht nur RSU, sondern auch die eingesetzte Funktechnik kann hier genutzt werden. Die Prognose von verkehrsabhängigen LSA lassen sich nicht direkt für automatische Funktionen nutzen, helfen aber für die „Flüssigkeit“ des Verkehrs. Im nächsten Schritt wird Straßen.NRW die Schaltzeitprognose mit der Ausweitung des Traffic Pilot im ländlichen Bereich vorantreiben.

Anwendungsfall Grünzeitanforderung	Es ist abzusehen, ob der Einsatz von V2X die Priorisierung des ÖPNV und die Sicherung von Einsatzfahrzeugen, die bislang mit Funktechnik gut funktioniert, voranbringen kann.
Anwendungsfall Fahrzeugbasierte Verkehrslage	Eine möglichst genaue Erfassung von Verkehrsdaten stellt die Grundlage jeder qualifizierten Verkehrsinformation und dynamischen Verkehrsbeeinflussungsmaßnahme dar. Mit der (anonymisierten) Erfassung von aktuellen Daten der Verkehrsteilnehmenden zur Generierung einer umfassenden Verkehrslage verbessert sich der Nutzen für die Sicherheit und Leitungsverkehrs
Zentrale Funktionalitäten zur V2X-Kommunikation an LSA	Wichtige Ergebnisse und Erfahrungen zum Aufbau einer LSA-Zentrale für die 5.500 LSA von Straßen.NRW unter Berücksichtigung von C-ITS
Anwendungsfall Virtuelle Netzbeeinflussung	Dynamische Verkehrsbeeinflussung ohne Maßnahmen im Straßenraum (Außenanlagen, Schilder, Personal vor Ort, ...)
Anwendungsfall Baustellenumleitung	Zielgerichtete Beeinflussung der Verkehrsteilnehmenden für eine sichere und schnelle Verkehrsführung um die Baustellen

PTV Planung Transport Verkehr GmbH:

Tabelle 27: Verwertung PTV Planung Transport Verkehr GmbH

Projektergebnis/ Inhalt	Nutzen/ Verwertung
Verhaltensmodelle für laterale Fahrzeugbewegungen und Fahrstreifenwechselverhalten	Weiterentwicklung der Modelle und anschließend mittelfristig dauerhafte Implementierung in PTV Vissim. Exaktere und realistischere Simulation von Längs- und Querverkehr für Anwender.

Stadt Aachen:

Tabelle 28: Verwertung Stadt Aachen

Projektergebnis/ Inhalt	Nutzen/ Verwertung
Aufbau einer LSA-Testumgebung	Öffnung der LSA-Testumgebung an der Vaalser Straße für Innovationstreibende aus der Region.

Vodafone GmbH:

Tabelle 29: Verwertung Vodafone GmbH

Projektergebnis/ Inhalt	Nutzen/ Verwertung
Kontinuierliche Bereitstellung der erfassten Daten zur weiteren Verarbeitung durch die Dateninfrastruktur und den vernetzten Fahrzeugen.	Mögliche Erarbeitung eines Dienstes, der kontinuierlich erfasste Daten im Mobilfunknetz versendet und anderen Teilnehmenden zur Verfügung stellt.

Übermittlung der von der Verkehrsinfrastruktur Informationen (beispielsweise Zustand und Prognose von LSA, virtuelle Verkehrsbeeinflussungsanlagen) über den MDM an die eingesetzten Versuchsfahrzeuge.	Entwicklung eines Dienstes, der es ermöglicht VBAs und LSAs zu virtualisieren in Abhängigkeit der Bereitstellung der Daten im MDM.
Weiterentwicklung und Erprobung von automatisierten und vernetzten Fahrfunktionen in städtischer und ländlicher Umgebung sowie auf der Autobahn unter Verwendung der Mobilfunk Infrastruktur.	Ständige Erweiterung der Mobilfunkinfrastruktur, sowohl im 4G- (LTE) als auch im 5G-Bereich unter Berücksichtigung von beispielsweise Multicast und Broadcast in Abhängigkeit von Standardisierungsgremien.
Austausch mit anderen Forschungsprojekten und Fachpublikum.	Die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse werden in die internationale Standardisierung eingebracht, beispielsweise bei 3GPP oder 5GAA.

2.5. Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Institut für Kraftfahrzeuge (ika) – RWTH Aachen University

Bundesweit existiert eine Vielzahl bereits aufgebauter und im Aufbau befindlicher digitaler Testfelder. Während der Durchführung des Forschungsprojektes ACCorD wurden in diesen Testfeldaktivitäten Fortschritte in den Bereichen I2V/V2I-Kommunikation, kollektive infrastrukturseitige Wahrnehmung von Verkehr sowie Erprobung automatisierter und vernetzter Fahrzeuge im Realverkehr erzielt. ACCorD zeichnet sich im Vergleich zu anderen digitalen Testfeldern durch seine einzigartig hohe Sensordichte und die daraus resultierende Verkehrsdatenqualität heraus. Zudem deckt es mit seinen digitalen Testfeldern nicht nur eine, sondern alle der drei Domänen Stadt, Land und Autobahn ab. Ein Informationsaustausch auf öffentlicher Projektebene erfolgte insbesondere mit den Vorhaben KoMoDnext in Düsseldorf und Providentia++ in der Nähe von Garching bei München.

Eine anschauliche Übersicht sämtlicher Testfeldaktivitäten in Deutschland liefert der Testfeldmonitor der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt):

https://www.testfeldmonitor.de/Testfeldmonitoring/DE/Home/home_node.html

Eine Übersicht über alle geförderten AVF-Projekte der Förderrichtlinie „Ein zukunftsfähiges, nachhaltiges Mobilitätssystem durch automatisiertes Fahren und Vernetzung“ des BMDV, ehemals BMVI, liefert die Übersicht des Bundesministeriums selbst:

https://www.bmvi.de/SiteGlobals/Forms/Listen/DE/AVF-Projekte/AVF-projekte_Formular.html

Institut für Straßenwesen (isac) – RWTH Aachen University

Nichtzutreffend.

MOOVE GmbH:

Die Entwicklung autonomer Fahrfunktionen (insbesondere Level 4 Entwicklungen) schreitet bei diversen OEM in der Automobilbranche und durch andere Akteure unweigerlich voran. Es wird darauf verzichtet all diese Entwicklungen hier aufzuführen. Zum jetzigen Zeitpunkt ist jedoch noch kein Anwendungsbetrieb bekannt, welcher autonome Fahrfunktionen auf Level 4, ohne Sicherheitsfahrer, etabliert hat.

Einen Fortschritt in der Entwicklung von Level 3 Systemen ist jedoch zu beobachten. Hier kommen bereits erste Systeme in eingeschränkten ODDs auf Autobahnen bis maximal 60 km/h zum Einsatz: <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/technologie/mercedes-autonomes-fahren-selbstversuch-level3-101.html>

Ford-Werke GmbH:

Die Entwicklung von automatisierten und vernetzten Fahrfunktionen macht Fortschritte. In Deutschland ist nun das erste Serienprodukt für automatisiertes Fahren auf der Autobahn verfügbar (Mercedes-Benz „Drive Pilot“). Diese Lösung ist für den Einsatz bis maximal 60 km/h konzipiert und zugelassen und damit eine primäre Entlastung in Stausituationen, nicht aber bei regulären Autobahngeschwindigkeiten.

Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen:

Nichtzutreffend.

PTV Planung Transport Verkehr GmbH:

Hinsichtlich verbesserter allgemeiner Verhaltensmodelle zur Beschreibung des Fahrstreifenwechselverhaltens und des Verhaltens der Verkehrsteilnehmenden bezüglich der lateralen Fahrzeugbewegung sind während der Projektlaufzeit keine neuen Erkenntnisse bekannt geworden.

Stadt Aachen:

Nichtzutreffend.

Vodafone GmbH:

Nichtzutreffend.

2.6. Erfolgte oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses

Allgemeine Kommunikationsaktivitäten

Im Zuge der Öffentlichkeitsarbeit hat das ika (in der Rolle als Projektkoordinator) die Webseite für das Förderprojekt aufgesetzt, die über die Laufzeit der Förderung hinaus erreichbar bleibt: www.accord-testfeld.de.

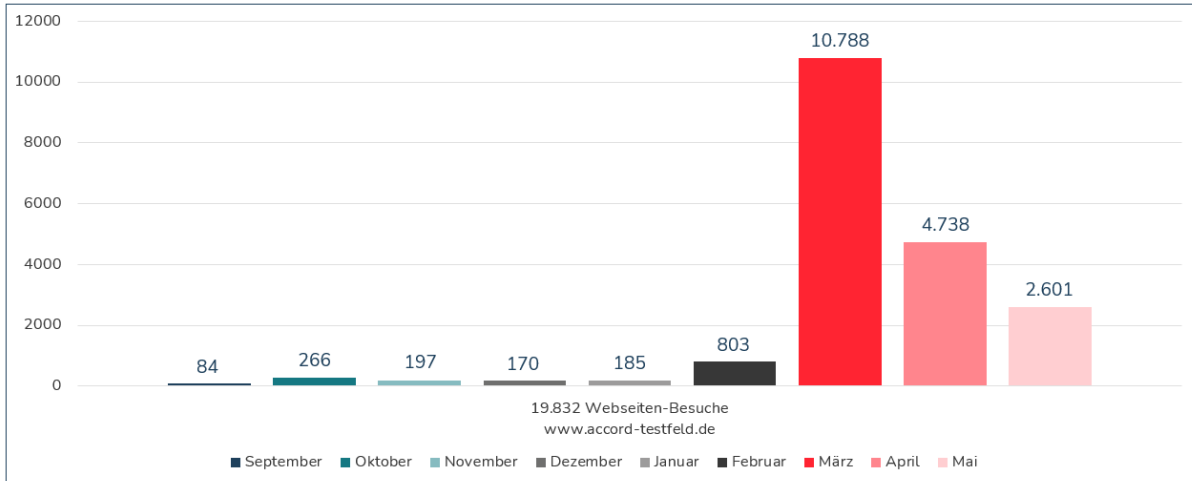


Abbildung 41: Webseiten-Besuche (Stand 31.05.2022)

Neben der Projektwebseite wurden die Social-Media-Kanäle des ika (in der Rolle als Projektkoordinator) genutzt, um über Veranstaltungen und Ergebnisse im Projekt zu berichten und verschiedene Zielgruppen anzusprechen. Darüber hinaus erfolgten Vorträge und eigene Veröffentlichungen, wie beispielsweise Paper und Pressemitteilungen. Zudem ist die Berichterstattung über das Projekt durch die Presse und andere Akteure zu nennen. Alle Veröffentlichungen sind über die Webseite des Projektes abrufbar (www.accord-testfeld.de/veroeffentlichungen).

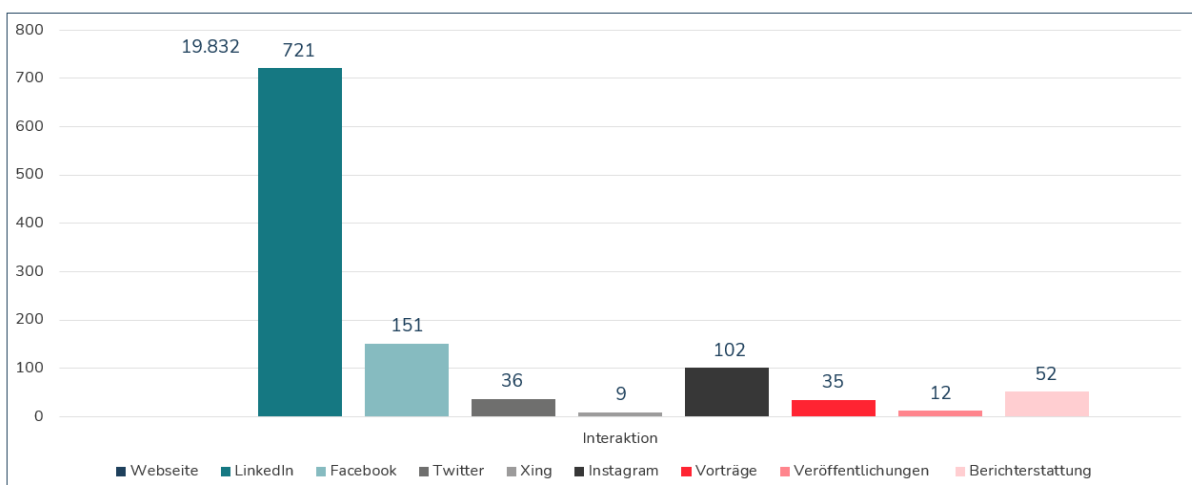


Abbildung 42: Interaktion verschiedener Kommunikationskanäle (Webseiten-Besuche nicht graphisch illustriert für übersichtlichere Darstellung, Interaktion mit einzelnen Social-Media-Posts gezählt, nicht einzelne Posts)

Um die Forschungsergebnisse präsentieren zu können, fand am 29.03.2022 die wissenschaftliche Abschlussveranstaltung des Projektes statt. Bedingt durch die COVID-19-Pandemie erfolgte die Veranstaltung als ONLINE Event für alle externen Teilnehmenden. Damit die Ergebnisse des Forschungsprojektes darüber hinaus einem breiten Publikum zur Verfügung stehen, erfolgt die Veröffentlichung der Inhalte der Abschlussveranstaltung über die Webseite des Forschungsprojektes (www.accord-testfeld.de/abschlussveranstaltung).

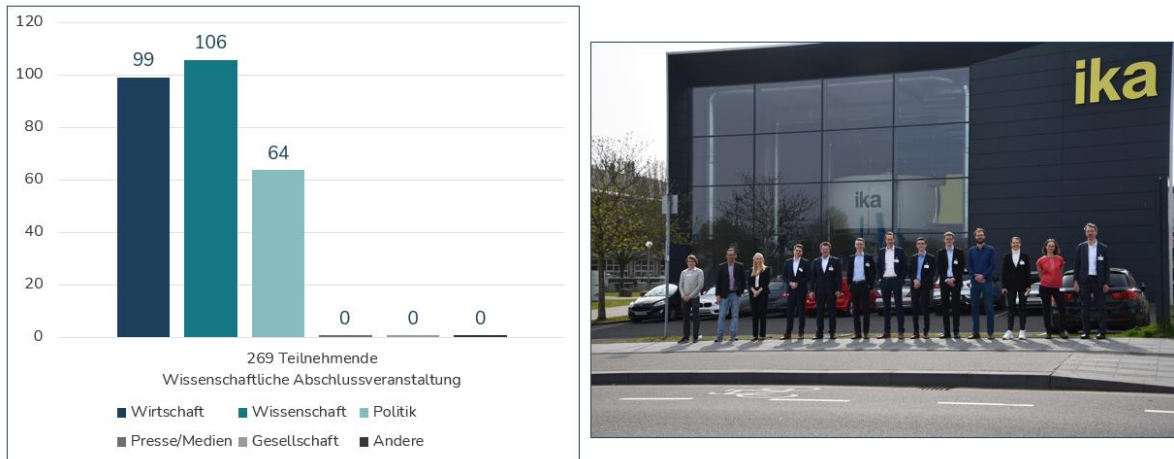


Abbildung 43: Teilnehmende der Wissenschaftlichen Abschlussveranstaltung

Neben der wissenschaftlichen Abschlussveranstaltung fanden noch eine Reihe von Veranstaltungen für den gesellschaftlichen Dialog statt, um Bürgerinnen und Bürgern die Forschung im Projekt näherzubringen und die Gesellschaft durch verschiedene Mitmachaktionen in die Gestaltung der Mobilität der Zukunft in der Region Aachen einzubinden.

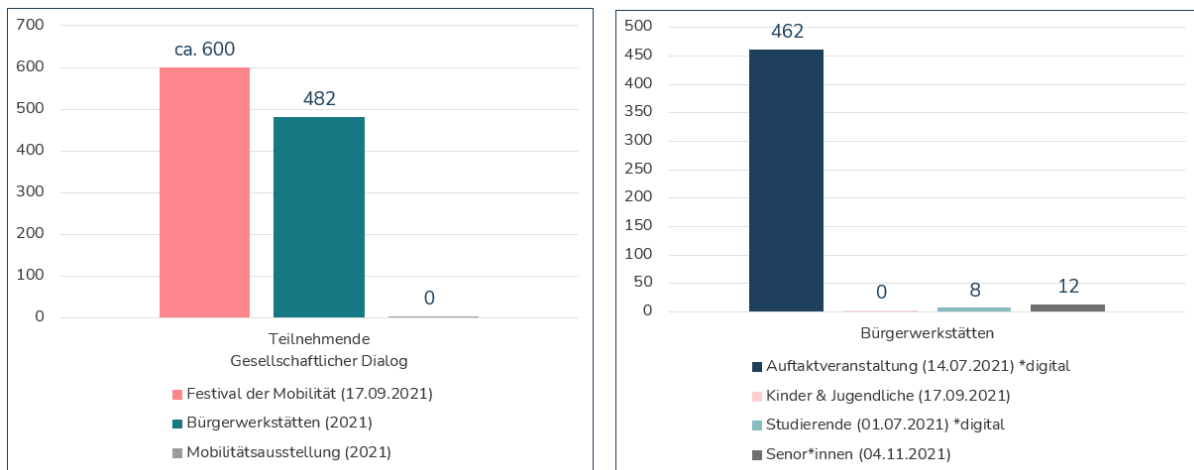


Abbildung 44: Teilnehmende bei Veranstaltungen zum gesellschaftlichen Dialog (Mobilitätsausstellung: Keine Zahlen erhoben, Auftaktveranstaltung: Aufrufe des Streams, Kinder & Jugendliche: Keine Zahlen erhoben)

Institut für Kraftfahrzeuge (ika) – RWTH Aachen University

Tabelle 30: Veröffentlichungen Institut für Kraftfahrzeuge (ika) – RWTH Aachen University

Paper (Konferenzen, Journals, etc.)

Titel	Datum	Ort (Zeitungsname, ISBN, ggf. Link etc.)	Inhalt (kurz)
Paper in Conference Proceedings “Traffic Detection Using Modular Infrastructure Sensors as a Data Basis for Highly Automated and Connected Driving”	05. — 07.10.2020	29. Aachen Colloquium Sustainable Mobility 2020, Aachen	Infrastructure sensors enable the collection of reference data for automated and connected driving operations. The collected traffic data can not only be sent online to existing receivers, such as connected and automated vehicles (CAVs), but can also be stored in a central database for research and development purposes. This paper presents approaches to the functionalities of modular infrastructure sensor systems, which are used in the research projects HDV-Mess and ACCorD. Both research projects are funded by the European Regional Development Fund (ERDF) and the Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure (BMVI) respectively. Special attention is paid to the data processing pipeline from raw sensor data to fused object lists and their deployment.
Presentation & Paper in Conference Proceedings „Comparison of Camera-Equipped Drones and Infrastructure Sensors for Creating Trajectory Datasets of Road Users”	28. — 30.04.2021	7th International Conference on Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems – VEHITS 2021, Prag (Tschechien)	Due to the complexity of automated vehicles, their development and validation require large amounts of naturalistic trajectory data of road users. In addition to the classical approach of using measurement vehicles to generate these data, approaches based on infrastructure sensors and drones have become increasingly popular. While advantages are postulated for each method, a practical comparison of the methods based on measurements of real traffic has so far been lacking. We present a theoretical and experimental analysis of two image-based measurement methods. For this purpose, we compare measurements of a drone-based system with a prototypical camera-based infrastructure sensor system. In addition to the detection statistics of the road users, the detection quality of both systems is also investigated using a reference vehicle equipped with an inertial navigation system. Through these experiments, we can

			confirm each approach's advantages and disadvantages emerging from the theoretical analysis.
Paper "Corridor for new mobility Aachen — Düsseldorf: Methods and concepts of the research project ACCorD" (https://arxiv.org/abs/2107.14048)	13.07.2021	arXiv Preprint Server (Cornell University), Ithaca, New York (United States)	With the Corridor for New Mobility Aachen - Düsseldorf, an integrated development environment is created, incorporating existing test capabilities, to systematically test and validate automated vehicles in interaction with connected Intelligent Transport Systems Stations (ITS-Ss). This is achieved through a time- and cost-efficient toolchain and methodology, in which simulation, closed test sites as well as test fields in public transport are linked in the best possible way. By implementing a digital twin, the recorded traffic events can be visualized in real-time and driving functions can be tested in the simulation based on real data. In order to represent diverse traffic scenarios, the corridor contains a highway section, a rural area, and urban areas. First, this paper outlines the project goals before describing the individual project contents in more detail. These include the concepts of traffic detection, driving function development, digital twin development, and public involvement.
Vortrag in Programm "How to Build a Highly Accurate Digital Twin – Intelligent Infrastructure in the Corridor for New Mobility — ACCorD"	04. — 06.10.2021	30. Aachen Colloquium Sustainable Mobility 2021, Aachen	siehe Paper Beschreibung
Paper in Conference Proceedings "How to Build a Highly Accurate Digital Twin – Intelligent Infrastructure in the Corridor for New Mobility — ACCorD"	04. — 06.10.2021	30. Aachen Colloquium Sustainable Mobility 2021, Aachen	This paper gives an introduction to the findings of the public-funded research project Corridor for new Mobility Aachen – Düsseldorf (ACCorD). The aim of the project is to build a highly accurate digital twin on three different digital test fields in real road traffic between Aachen and Düsseldorf. The digital test fields and the digital twin are intended for testing and rolling out automated and connected driving functions under real conditions. They consist of an urban, a rural, and a highway section and are equipped with stationary intelligent infrastructure for digital traffic recording. The entire value chain from the construction of the infrastructure sensor test fields via data processing to the final product of the digital twin is presented in this paper

Fachartikel „Forschungsaktivitäten für die automatisierte Mobilität“	01.01.2022	ATZ – Automobil- technische- Zeitschrift 01/2022, Wiesbaden	Die Forschungsprojekte UNICARagil und ACCorD adressieren wichtige Kernaspekte auf dem Weg zur Umsetzung vollautomatisierter Fahrzeuge. Darin erforschen über 100 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, wie Fahrzeuge und deren Architekturen in Zukunft aussehen und wie diese mithilfe hochgenauer Infrastruktursensorik abgesichert und unterstützt werden können. Stellvertretend für die über 20 Projektpartner aus Forschung und Industrie gibt die RWTH Aachen University Einblicke in die Projekte. ...
---	------------	--	--

Pressemitteilungen

Titel	Datum	Ort (Zeitungsname, ISBN, ggf. Link etc.)	Inhalt (kurz)
Pressemitteilung „Projekt ACCorD: Korridor für neue Mobilität. Neue Anlage zur anonymen Verkehrsdatenerfassung am Campus Melaten: die Arbeiten im Projekt ACCorD: Korridor für neue Mobilität Aachen – Düsseldorf schreiten voran“	04.08.2021	Institut für Kraftfahrzeuge (ika) – RWTH Aachen University, Aachen	In der letzten Woche erfolgte der Hardwareaufbau intelligenter Infrastruktursensorik auf dem Campus Melaten, der Teil der Aachener Testumgebung für automatisiertes und vernetztes Fahren ist. Im Rahmen des vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) geförderten Forschungsprojekts Korridor für neue Mobilität Aachen –Düsseldorf (ACCorD) wurden insgesamt 46 Messeinrichtungen an ausgewählten Laternen zur Errichtung eines digitalen Testfelds im Realverkehr montiert.
Pressemitteilung „Stadt, Land, Autobahn – drei Testfelder erfolgreich aufgebaut. Projekt ACCorD: Korridor für neue Mobilität. Weitere Anlagen zur anonymen Verkehrsdatenerfassung an der B56 und A44: alle Arbeiten im Projekt ACCorD: Korridor für neue Mobilität Aachen – Düsseldorf erfolgreich umgesetzt.“	21.03.2022	Institut für Kraftfahrzeuge (ika) – RWTH Aachen University, Aachen,	Nachdem bereits im Sommer 2021 die intelligente Infrastruktursensorik auf dem Campus Melaten in Aachen installiert worden ist, konnten in den letzten Monaten die finalen Arbeiten an der B 56 und der A 44 erfolgreich umgesetzt werden. Damit wurden zwei weitere Testumgebungen für automatisiertes und vernetztes Fahren fertiggestellt. Innerhalb des vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) geförderten Projektes „Korridor für neue Mobilität Aachen – Düsseldorf (ACCorD)“ wurden jeweils elf Messeinrichtungen auf einer Strecke von einem Kilometer entlang der Bundesstraße B 56 bei Aldenhoven und der Bundesautobahn A 44 am Autobahndreieck Jackerath montiert.
Pressemitteilung „Korridor für neue Mobilität Aachen – Düsseldorf. Konsortium präsentiert Ergebnisse zu Testfeldern,	29.03.2022	Institut für Kraftfahrzeuge (ika) – RWTH Aachen University, Aachen,	Bilanz nach zwei Jahren und drei Monaten: Sechs neue Testfelder, drei aufgebaute Forschungsfahrzeuge und verschiedene Forschungsaspekte des Digitalen Zwillings bieten Potenzial über die Projektlaufzeit hinaus für weitere wertvolle Forschungserkenntnisse für sicheres automatisiertes und vernetztes Fahren.

Forschungsfahrzeugen und digitalem Zwilling.			
--	--	--	--

Vorträge

Titel	Datum	Ort (Zeitungsname, ISBN, ggf. Link etc.)	Inhalt (kurz)
Vorstellung ACCorD	28.11.2019	Wuppertal zu Gast in Aachen, Aachen	Vorstellung des Forschungsprojektes
Vorstellung ACCorD	09.01.2020	EMA TP4 Treffen, Aachen	Vorstellung des Forschungsprojektes
Vorstellung ACCorD	16.09.2020	Traffic Simulation for Automotives, Karlsruhe	Vorstellung des Forschungsprojektes
Impulsvortrag: „Impuls: Potentiale und Projekte der vernetzten und automatisierten Mobilität“	22.09.2020	Care and Mobility Innovation – Kick-Off Innovationsdialog, Aachen	Vorstellung des Forschungsprojektes
Ausstellung des ACCorD Posters	2021	Teilnahme Mobilitätsausstellung, Aachen	Vorstellung des Forschungsprojektes
Vorstellung ACCorD	14.07.2021	BÜRGERWERKSTATT „Zukunftsbild Mobilität: Wie bewegt sich Aachen in Zukunft? (Auftaktveranstaltung), Aachen“	Vorstellung des Forschungsprojektes
Campus-Talk #2 „5G in der Praxis: autonom fahren und transportieren, Maschinen kabellos vernetzen, schneller kommunizieren – in den Reallaboren der RWTH Aachen ist die neue Technologie schon Alltag“	10.08.2021	Campus-Talk der RWTH Aachen Campus GmbH, Aachen	Vorstellung des Forschungsprojektes
Ausstellung einer Messeinrichtung mit Kamerasensoren und Laserscannern	17.09.2021	Teilnahme Festival der Mobilität, Aachen	Vorstellung der Zwischenergebnisse vom ika innerhalb von ACCorD
Speaker im Rahmen der innocam.NRW Paneldiskussion zum Thema „Infrastructure for automated and connected mobility – sharing is caring“	11. — 15.10.2021	ITS World Congress 2021 Hamburg, Hamburg	Vorstellung des Forschungsprojektes

Poster im Rahmen des ika-Stand der Fachausstellung	20. - 21.10.2021	VDI-Kongress Eliv – Electronics in Vehicles, Bonn	Vorstellung des Forschungsprojektes
Vorstellung ACCorD	04.11.2021	BÜRGERWERKSTATT „Gehstock, Rollator Flugtaxi? Im Alter intelligent mobil!“, Aachen	Vorstellung des Forschungsprojektes
Vortrag „Korridor für neue Mobilität Aachen – Düsseldorf (ACCorD): Testfeldaufbau zur Entwicklung und Erprobung automatisierter Mobilität“	16.11.2021	RWTH Profilbereich – Mobility & Transport Engineering MTE- Ringvorlesungsreihe WiSe 2021/2022, Aachen	Vorstellung des Forschungsprojektes
Vortrag in Programm “How to Build a Highly Accurate Digital Twin – Intelligent Infrastructure in the Corridor for New Mobility — ACCorD”	18. — 19.11.2021	11. Aachen Colloquium China 2021, Shanghai, (China)	siehe Vortrag 30. Aachen Colloquium Sustainable Mobility 2021, Aachen
Vortrag „ACCorD: Stadt, Land, Autobahn – Ausstattung einzelner Testfelder mit Infrastruktursensorik für die Interaktion mit Versuchsfahrzeugen für sicheres automatisiertes und vernetztes Fahren.“	19.11.2021	Netzwerk intelligente Mobilität NiMo Online- Forum „Status Quo & Quo vadis: autonome Mobilität“ , Troisdorf	Vorstellung des Forschungsprojektes
„Korridor für neue Mobilität Aachen – Düsseldorf (ACCorD): Testfeldaufbau zur Entwicklung und Erprobung automatisierter Mobilität“	29.03.2022	ACCorD Abschluss- veranstaltung, Aachen	Vorstellung der Ergebnisse vom ika innerhalb von ACCorD
„V2X und Digitaler Zwilling im Projekt ACCorD – Backend eines vernetzten Testfelds“	29.03.2022	ACCorD Abschluss- veranstaltung, Aachen	Vorstellung der Ergebnisse vom ika innerhalb von ACCorD

Beiträge in Presse

Titel	Datum	Ort (Zeitungsname, ISBN, ggf. Link etc.)	Inhalt (kurz)
„Verkehr auf dem Campus stets im Blick“	05.08.2021	Aachener Nachrichten, Aachen	Berichterstattung über das Forschungsprojekt
„Verkehr auf dem Campus stets im Blick“	05.08.2021	Aachener Zeitung, Aachen	Berichterstattung über das Forschungsprojekt
„Neues Testfeld für automatisiertes Fahren in Aachen entsteht“	09.08.2021	Springer Professional, Wiesbaden	Berichterstattung über das Forschungsprojekt
„Dem Verkehr auf der Spur. Autonomes Fahren: Wer sich mit automatisierten Fahrzeugen auf die Straße wagt, braucht Echtzeitinformationen und damit sensorgestützte Infrastruktur. Forscher der Projekte Providentia++, ACCorD und Testfeld Niedersachsen zeigen, wie es gehen kann.“	20.08.2021	VDI Nachrichten, Düsseldorf	Berichterstattung über das Forschungsprojekt
„Autonomes Fahren made in Aachen“	25.08.2021	Rheinische Post, Düsseldorf	Berichterstattung über das Forschungsprojekt
„Neue Anlage zur anonymen Verkehrsdatenerfassung am Campus Melaten. Projekt ACCorD: Korridor für neue Mobilität Aachen – Düsseldorf“	01.10.2021	Campus Hunter Aachen WiSe 2021/2022, Heidelberg	Berichterstattung über das Forschungsprojekt
Videobeitrag in Lokalzeit „Autonomes Fahren auf der A44“	21.03.2022	WDR Lokalzeit aus Aachen, Aachen	Berichterstattung über das Forschungsprojekt
„Campus, B56 und A44: RWTH betreibt drei Testfelder für automatisiertes Fahren“	21.03.2022	Aachener Nachrichten, Aachen	Berichterstattung über das Forschungsprojekt
„Campus, B56 und A44: RWTH betreibt drei Testfelder für automatisiertes Fahren“	21.03.2022	Aachener Zeitung, Aachen	Berichterstattung über das Forschungsprojekt
„Feldversuch der Uni Aachen Wie verhalten sich Fahrer an einem NRW-Autobahnkreuz?“	21.03.2022	Kölner Stadt-Anzeiger, Köln	Berichterstattung über das Forschungsprojekt
„Autobahn 44 wird zum Testfeld.“	22.03.2022	Rheinischer Spiegel, Viersen	Berichterstattung über das Forschungsprojekt
„Forscher erheben Verkehrsdaten auf der A44.“	22.03.2022	Super Tipp, Velbert	Berichterstattung über das Forschungsprojekt

„RWTH schafft neue Teststrecken für automatisiertes Fahren.“	22.03.2022	100,5 DAS HITRADIO., Aachen	Berichterstattung über das Forschungsprojekt
„Stadt, Land, Autobahn – drei Testfelder erfolgreich aufgebaut.“	22.03.2022	EUREGIO aktuell, Aachen	Berichterstattung über das Forschungsprojekt
„Datensammeln fürs automatisierte Fahren. Forscher der RWTH Aachen wollen das automatisierte Fahren vorantreiben. Dazu brauchen sie Daten aus unterschiedlichen Verkehrssituationen auf Landstraßen und Autobahnen.“	22.03.2022	WDR, Köln	Berichterstattung über das Forschungsprojekt
Audiobeitrag „Testfeld für autonomes Fahren in Mönchengladbach.“	22.03.2022	Radio 90,1 Mönchengladbach	Berichterstattung über das Forschungsprojekt
„Stadt, Land, Autobahn – drei Testfelder erfolgreich aufgebaut.“	24.03.2022	Automanager, Friedberg	Berichterstattung über das Forschungsprojekt
„RWTH Aachen baut drei neue Testfelder für autonomes Fahren.“	28.03.2022	Rheinische Post, Düsseldorf	Berichterstattung über das Forschungsprojekt
„A44 wird zum Testfeld.“	30.03.2022	Würselen. Offizielles Stadtportal., Würselen	Berichterstattung über das Forschungsprojekt
„A44 wird zum Testfeld.“	30.03.2022	HERZOG Kultur- & Stadtmagazin, Jülich	Berichterstattung über das Forschungsprojekt
„A44 ist jetzt Testfeld für autonomes Fahren.“	30.03.2022	Neuß-Grevenbroicher Zeitung, Düsseldorf	Berichterstattung über das Forschungsprojekt
„Tagebau-Autobahn im Erkelenzer Land: A 44 jetzt Testfeld für autonomes Fahren.“	31.03.2022	Rheinische Post, Düsseldorf	Berichterstattung über das Forschungsprojekt
„Konsortium präsentiert Ergebnisse zu Testfeldern, Forschungsfahrzeugen und digitalem Zwilling.“	31.03.2022	intellicar – autonomous, shared and connected mobility, Berlin	Berichterstattung über das Forschungsprojekt
„Korridor für neue Mobilität: Autobahn bei Jüchen ist Testfeld.“	01.04.2022	Erft Kurier. Rathaus-Zeitung Stadt Grevenbroich., Neuss	Berichterstattung über das Forschungsprojekt

Sonstige Berichterstattung

Titel	Datum	Ort (Zeitungsname, ISBN, ggf. Link etc.)	Inhalt (kurz)
„Korridor für neue Mobilität Aachen – Düsseldorf – ACCorD“	29.02.2020	BMVI Korridor für neue Mobilität Aachen – Düsseldorf – ACCorD, Berlin	Berichterstattung über das Forschungsprojekt
Beitrag in Blog Rudolf Henke „Der Korridor für neue Mobilität Aachen“	08.09.2020	Aachen Tour Rudolf Henke (Für Aachen im Deutschen Bundestag), Aachen	Berichterstattung über das Forschungsprojekt
Beitrag in Broschüre „Aachen – Düsseldorf, Korridor für neue Mobilität“	31.10.2020	Broschüre Vision 2038 Region Aachen Zweckverband, Region Aachen	Berichterstattung über das Forschungsprojekt
Eintrag in Living Labs in LLI-Netzwerk Steckbrief-Datenbank „ACCorD“	31.10.2020	Der Living Labs Incubator (LLI), Aachen	Berichterstattung über das Forschungsprojekt
Beitrag in Newsletter „Das Projekt ACCorD“	05.11.2020	BMVI/KOAF „Fachgespräch zur Nutzung digitaler Testfelder“, Berlin	Berichterstattung über das Forschungsprojekt
Beitrag in Blog Providentia++ „Stadt, Land, Autobahn: ACCorD startet mit drei neuen Testfeldern in 2021“	26.11.2020	Providentia++ (Forschungsprojekt), München	Berichterstattung über das Forschungsprojekt
Beitrag in Broschüre „Test-Korridor für automatisiertes und vernetztes Fahren“	31.12.2020	MWIDE Zoom-Broschüre, Düsseldorf	Berichterstattung über das Forschungsprojekt
„Nordrhein-Westfalen macht Tempo beim automatisierten Fahren“	25.02.2021	MWIDE, Düsseldorf	Berichterstattung über das Forschungsprojekt
O-Ton zum Projekt	27.04.2021	#REVIER2030 – Mit Struktur in den Wandel, Düsseldorf	Berichterstattung über das Forschungsprojekt
Beitrag in „Interview über automatisiertes und autonomes Fahren mit 5G“	21.07.2021	RWTH Aachen Campus GmbH, Aachen	Berichterstattung über das Forschungsprojekt
Poster in Postersession #innovationsstory „Korridor für neue Mobilität Aachen – Düsseldorf“	28.09.2021	Care and Mobility Innovation – Innovationskonferenz, Aachen	Berichterstattung über das Forschungsprojekt
Eintrag in Kompetenzatlas „ACCorD“	04. — 06.10.2021	innocam.NRW Kompetenzatlas, Aachen	Berichterstattung über das Forschungsprojekt
„Vorstellung im Rahmen des Cube of Mobility des VM NRW beim Gemeinschaftsstand der Bundesländer	11. — 15.10.2021	ITS World Congress 2021 Hamburg, Hamburg	Berichterstattung über das Forschungsprojekt

„Major city in Germany implements digital twin technology as part of Europe’s largest lidar infrastructure project“	13.10.2021	Ouster, San Francisco, California, (United States)	Berichterstattung über das Forschungsprojekt
„COHDA WIRELESS SUPPORTING REAL WORLD TEST FIELD FOR CONNECTED AND AUTOMATED VEHICLES IN GERMANY“	25.10.2021	Cohda Wireless, Wayville, (Australia)	Berichterstattung über das Forschungsprojekt
Projektsteckbrief „Vorstellung ACCorD“	02. — 03.12.2021	Tagung „Forschung und Technologie für autonomes Fahren“ 2021 (BMBF, BMWi, BMVI), Berlin	Berichterstattung über das Forschungsprojekt
Beitrag in Marktbeobachtungsbericht innocam.UPDATE Testfelder und Testgelände	09.02.2022	innocam.NRW, Aachen	Berichterstattung über das Forschungsprojekt
„Autobahn 44 wird zum Testfeld.“	24.03.2022	Die Autobahn GmbH, Berlin	Berichterstattung über das Forschungsprojekt
Eintrag in Übersicht Reallabore in NRW „ACCorD“	08.04.2022	Initiative Digi-Sandbox.NRW, Düsseldorf	Berichterstattung über das Forschungsprojekt

Institut für Straßenwesen (isac) – RWTH Aachen University

Tabelle 31: Veröffentlichungen Institut für Straßenwesen (isac) – RWTH Aachen University

Paper (Konferenzen, Journals, etc.)

Titel	Datum	Ort (Zeitungsname, ISBN, ggf. Link etc.)	Inhalt (kurz)
Paper “Corridor for new mobility Aachen — Düsseldorf: Methods and concepts of the research project ACCorD” (https://arxiv.org/abs/2107.14048)	13.07.2021	arXiv Preprint Server (Cornell University), Ithaca, New York (United States)	With the Corridor for New Mobility Aachen - Düsseldorf, an integrated development environment is created, incorporating existing test capabilities, to systematically test and validate automated vehicles in interaction with connected Intelligent Transport Systems Stations (ITS-Ss). This is achieved through a time- and cost-efficient toolchain and methodology, in which simulation, closed test sites as well as test fields in public transport are linked in the best possible way. By implementing a digital twin, the recorded traffic events can be visualized in real-time and driving functions can be tested in the simulation based on real data. In order to represent diverse traffic scenarios, the corridor contains a highway section, a rural area, and urban areas. First, this paper outlines

			the project goals before describing the individual project contents in more detail. These include the concepts of traffic detection, driving function development, digital twin development, and public involvement.
--	--	--	--

Vorträge

Titel	Datum	Ort (Zeitungsnamen, ISBN, ggf. Link etc.)	Inhalt (kurz)
„Digitalisierung für mikroskopische und makroskopische Verkehrsanalyse“	29.03.2022	ACCord Abschlussveranstaltung, Aachen	Vorstellung der Ergebnisse vom isac innerhalb von ACCord

MOOVE GmbH:

Tabelle 32: Veröffentlichungen MOOVE GmbH

Paper (Konferenzen, Journals, etc.)

Titel	Datum	Ort (Zeitungsnamen, ISBN, ggf. Link etc.)	Inhalt (kurz)
Paper “Corridor for new mobility Aachen — Düsseldorf: Methods and concepts of the research project ACCord” (https://arxiv.org/abs/2107.14048)	13.07.2021	arXiv Preprint Server (Cornell University), Ithaca, New York (United States)	With the Corridor for New Mobility Aachen - Düsseldorf, an integrated development environment is created, incorporating existing test capabilities, to systematically test and validate automated vehicles in interaction with connected Intelligent Transport Systems Stations (ITS-Ss). This is achieved through a time- and cost-efficient toolchain and methodology, in which simulation, closed test sites as well as test fields in public transport are linked in the best possible way. By implementing a digital twin, the recorded traffic events can be visualized in real-time and driving functions can be tested in the simulation based on real data. In order to represent diverse traffic scenarios, the corridor contains a highway section, a rural area, and urban areas. First, this paper outlines the project goals before describing the individual project contents in more detail. These include the concepts of traffic detection, driving function development, digital twin development, and public involvement.

Vorträge

Titel	Datum	Ort (Zeitungsname, ISBN, ggf. Link etc.)	Inhalt (kurz)
Ausstellung des People Mover	17.09.2021	Teilnahme Festival der Mobilität, Aachen	Vorstellung der Zwischenergebnisse von MOOVE innerhalb von ACCorD
„Landmark- Based Localization for Automated Vehicles“	29.03.2022	ACCord Abschluss- veranstaltung, Aachen	Vorstellung der Ergebnisse von Ford innerhalb von ACCorD

Ford-Werke GmbH:

Tabelle 33: Veröffentlichungen Ford-Werke GmbH

Paper (Konferenzen, Journals, etc.)

Titel	Datum	Ort (Zeitungsname, ISBN, ggf. Link etc.)	Inhalt (kurz)
Paper “Corridor for new mobility Aachen — Düsseldorf: Methods and concepts of the research project ACCorD” (https://arxiv.org/abs/2107.14048)	13.07.2021	arXiv Preprint Server (Cornell University), Ithaca, New York (United States)	With the Corridor for New Mobility Aachen - Düsseldorf, an integrated development environment is created, incorporating existing test capabilities, to systematically test and validate automated vehicles in interaction with connected Intelligent Transport Systems Stations (ITS-Ss). This is achieved through a time- and cost-efficient toolchain and methodology, in which simulation, closed test sites as well as test fields in public transport are linked in the best possible way. By implementing a digital twin, the recorded traffic events can be visualized in real- time and driving functions can be tested in the simulation based on real data. In order to represent diverse traffic scenarios, the corridor contains a highway section, a rural area, and urban areas. First, this paper outlines the project goals before describing the individual project contents in more detail. These include the concepts of traffic detection, driving function development, digital twin development, and public involvement.

Pressemitteilungen

Titel	Datum	Ort	Inhalt (kurz)
--------------	--------------	------------	----------------------

		(Zeitungsnamen, ISBN, ggf. Link etc.)	
Pressemitteilung „Ford testet intelligente Ampeln, die für Rettungs- und Einsatzfahrzeuge auf Grün umschalten.“	29.03.2022	Ford-Werke GmbH, Aachen	Automatisches Grünlicht für Krankenwagen, Feuerwehr- und Polizeifahrzeuge: Ford erprobt vernetzte Ampeln im Raum Aachen/Düsseldorf. Das System könnte den Verkehrsfluss insgesamt verbessern, indem es Informationen über rote und grüne Ampeln auch an andere Fahrzeuge sendet. Der Versuch ist Teil eines Großprojekts, das die Potenziale der Zusammenführung automatisierter und vernetzter Fahrzeuge mit vernetzter Infrastruktur untersuchen soll.

Vorträge

Titel	Datum	Ort (Zeitungsnamen, ISBN, ggf. Link etc.)	Inhalt (kurz)
Vortrag „Vernetztes und Automatisiertes Fahren bei Ford“	21.04.2021	OecherDialog-Zukunftsraum Smart City (Teil 2: Nachhaltigkeit, intelligente Mobilität und Smart City)	Vorstellung von vergangenen und aktuellen Aktivitäten zum Thema vernetzten und automatisieren Fahren bei Ford in Europa.
Ausstellung des V2X Versuchsfahrzeugs	17.09.2021	Teilnahme Festival der Mobilität, Aachen	Vorstellung der Zwischenergebnisse von Ford innerhalb von ACCorD
„Prototypical implementation of CAV features at connected traffic lights“	29.03.2022	ACCord Abschlussveranstaltung, Aachen	Vorstellung der Ergebnisse von Ford innerhalb von ACCorD

Beiträge in Presse

Titel	Datum	Ort (Zeitungsnamen, ISBN, ggf. Link etc.)	Inhalt (kurz)
„Ford erprobt intelligente Ampeln. Grüne Welle für Rettungs- und Einsatzfahrzeuge.“	29.03.2022	Smarter World. Solutions for a smarter World., Haar	Berichterstattung über das Forschungsprojekt
„Ford testet intelligente Ampeln.“	29.03.2022	HANSER automotive, München	Berichterstattung über das Forschungsprojekt
„Ford erprobt intelligente Ampeln. Grüne Welle für Rettungs- und Einsatzfahrzeuge.“	29.03.2022	Elektroniknet, Haar	Berichterstattung über das Forschungsprojekt

„Ford und ZF erforschen Potenziale der Vernetzung.“	30.03.2022	automotiveIT. Strategy. Technology. Connected Mobility., Pattensen	Berichterstattung über das Forschungsprojekt
„Grüne Welle im Rettungseinsatz. Vernetzte Ampeln und Fahrzeuge sollen Rettungskräften auf dem Weg zum Einsatz helfen und den Verkehrsfluss verbessern. Getestet wurde seit 2020 in Aachen.“	31.03.2022	Auto Motor Sport, Stuttgart	Berichterstattung über das Forschungsprojekt
„Intelligente Ampeln im Test. Ford macht den Weg frei für Rettungsfahrzeuge.“	31.03.2022	Ingenieur. Technik – Karriere – News , Düsseldorf	Berichterstattung über das Forschungsprojekt
„Ford testet intelligente Ampeln.“	04.04.2022	Flotten Management, Bonn	Berichterstattung über das Forschungsprojekt
„Vernetzte Ampeln geben Grünlicht für Einsatzfahrzeuge.“	05.04.2022	Springer Professional, Wiesbaden	Berichterstattung über das Forschungsprojekt
„Ford testet neue Technik. Freie Fahrt für Retter.“	06.04.2022	Firmenauto. Mobilität & Management., Stuttgart	Berichterstattung über das Forschungsprojekt

Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen:

Tabelle 34: Veröffentlichungen Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen

Vorträge

Titel	Datum	Ort (Zeitungsname, ISBN, ggf. Link etc.)	Inhalt (kurz)
Straßen.NRW in ACCorD	17.09.2021	Teilnahme Festival der Mobilität, Aachen	Vorstellung der Zwischenergebnisse von Straßen.NRW innerhalb von ACCorD
„Kooperative LSA und virtuelle Netzbeeinflussung“	29.03.2022	ACCorD Abschlussveranstaltung, Aachen	Vorstellung der Ergebnisse von Straßen.NRW innerhalb von ACCorD

Beiträge in Presse

Titel	Datum	Ort (Zeitungsnamen, ISBN, ggf. Link etc.)	Inhalt (kurz)
„Vernetzung von Autos und Ampeln bringt mehr Sicherheit.“	30.03.2022	Antenne AC, Aachen	Berichterstattung über das Forschungsprojekt

PTV Planung Transport Verkehr GmbH:

Neben den bisherigen Veröffentlichungen werden die Ergebnisse in einem Vortrag beim PTV Mobility Anwenderseminar vorgestellt, das im Juni 2022 in Frankfurt stattfinden wird (<https://company.ptvgroup.com/de/moving-mobility/meet-us-at/ptv-mobility-anwenderseminar-2022>). Zudem ist eine fachliche Veröffentlichung für die Transportation Research Board (TRB) 102nd Annual Meeting vorbereitet (<https://www.trb.org/AnnualMeeting/AnnualMeeting.aspx>).

Tabelle 35: Veröffentlichungen PTV Planung Transport Verkehr GmbH

Paper (Konferenzen, Journals, etc.)

Titel	Datum	Ort (Zeitungsnamen, ISBN, ggf. Link etc.)	Inhalt (kurz)
Paper “Corridor for new mobility Aachen — Düsseldorf: Methods and concepts of the research project ACCorD” (https://arxiv.org/abs/2107.14048)	13.07.2021	arXiv Preprint Server (Cornell University), Ithaca, New York (United States)	With the Corridor for New Mobility Aachen - Düsseldorf, an integrated development environment is created, incorporating existing test capabilities, to systematically test and validate automated vehicles in interaction with connected Intelligent Transport Systems Stations (ITS-Ss). This is achieved through a time- and cost-efficient toolchain and methodology, in which simulation, closed test sites as well as test fields in public transport are linked in the best possible way. By implementing a digital twin, the recorded traffic events can be visualized in real-time and driving functions can be tested in the simulation based on real data. In order to represent diverse traffic scenarios, the corridor contains a highway section, a rural area, and urban areas. First, this paper outlines the project goals before describing the individual project contents in more detail. These include the concepts of traffic detection, driving function development, digital twin development, and public involvement.

Vorträge

Titel	Datum	Ort	Inhalt (kurz)
--------------	--------------	------------	----------------------

		(Zeitungsnamen, ISBN, ggf. Link etc.)	
„Erforschung des Lateralen Fahrverhalten: Fahrstreifenaufteilung auf Autobahn“	29.03.2022	ACCorD Abschlussveranstaltung, Aachen	Vorstellung der Ergebnisse von PTV innerhalb von ACCorD

Sonstiges

Titel	Datum	Ort (Zeitungsnamen, ISBN, ggf. Link etc.)	Inhalt (kurz)
Beitrag in Blog PTV „Forschung: Wie interagieren autonome Fahrzeuge mit vernetzter Infrastruktur?“	13.01.2021	PTV Blog, Karlsruhe	Vorstellung des Forschungsprojektes

Stadt Aachen:

Tabelle 36: Veröffentlichungen Stadt Aachen

Paper (Konferenzen, Journals, etc.)

Titel	Datum	Ort (Zeitungsnamen, ISBN, ggf. Link etc.)	Inhalt (kurz)
Paper “Corridor for new mobility Aachen — Düsseldorf: Methods and concepts of the research project ACCorD” (https://arxiv.org/abs/2107.14048)	13.07.2021	arXiv Preprint Server (Cornell University), Ithaca, New York (United States)	With the Corridor for New Mobility Aachen - Düsseldorf, an integrated development environment is created, incorporating existing test capabilities, to systematically test and validate automated vehicles in interaction with connected Intelligent Transport Systems Stations (ITS-Ss). This is achieved through a time- and cost-efficient toolchain and methodology, in which simulation, closed test sites as well as test fields in public transport are linked in the best possible way. By implementing a digital twin, the recorded traffic events can be visualized in real-time and driving functions can be tested in the simulation based on real data. In order to represent diverse traffic scenarios, the corridor contains a highway section, a rural area, and urban areas. First, this paper outlines the project goals before describing the individual project contents in more detail. These

			include the concepts of traffic detection, driving function development, digital twin development, and public involvement.
--	--	--	--

Vorträge

Titel	Datum	Ort (Zeitungsname, ISBN, ggf. Link etc.)	Inhalt (kurz)
Vortrag „ACCorD: Intelligente Verkehrssteuerung durch V2X Kommunikation“	27.02.2020	Vorstellung ACCorD im Mobilitätsausschuss der Stadt Aachen, Aachen	Vorstellung des Forschungsprojektes
Vorstellung ACCorD	01.07.2021	BÜRGERWERKSTATT „Innovativ, vernetzt & intelligent? Studierende entwerfen Aachens Mobilität der Zukunft!“, Aachen	Vorstellung des Forschungsprojektes
Vorstellung ACCorD	17.09.2021	BÜRGERWERKSTATT „Fahrrad, Hooverboard, Roboterauto? Kids auf Fantasiereise in die Zukunft!“	Vorstellung des Forschungsprojektes
„Aachens Weg zur Stadt der Zukunft: Ergebnisse der co-kreativen Bürgerpartizipation im Projekt ACCorD“	29.03.2022	ACCorD Abschlussveranstaltung, Aachen	Vorstellung der Ergebnisse von Stadt Aachen innerhalb von ACCorD

Vodafone GmbH:

Tabelle 37: Veröffentlichungen Vodafone GmbH

Vorträge

Titel	Datum	Ort (Zeitungsname, ISBN, ggf. Link etc.)	Inhalt (kurz)
Ausstellung des Vodafone Show Cases	2021	Teilnahme Mobilitätsausstellung, Aachen	Vorstellung der Zwischenergebnisse von Vodafone innerhalb von ACCorD
„Connected Vehicle-to-everything by Vodafone“	29.03.2022	ACCorD Abschlussveranstaltung, Aachen	Vorstellung der Ergebnisse von Vodafone innerhalb von ACCorD

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN geplant DOI	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel Schlussbericht des Verbundes „Korridor für neue Mobilität Aachen – Düsseldorf“ (ACCorD); 01.01.2020 – 31.03.2022	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Klöker, Laurent; Hülsen, Kathrin; Kemper, Dirk; Kalló, Eszter; Leblebici, Robin; Sommer, Martin; Rose, Martin; Fléchon, Charlotte; Naser, Lyla; Böhme, Mirijam; Bär, Tanja	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.03.2022
	6. Veröffentlichungsdatum
	7. Form der Publikation Report, elektronische Ressource (PDF)
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) RWTH Aachen University, ausführende Stellen: Institut für Kraftfahrzeuge (ika) sowie Institut für Straßenwesen (isac), Templergraben 55, 52062 Aachen MOOVE GmbH, Campus-Boulevard 30, 52074 Aachen Ford-Werke GmbH, Henry-Ford-Straße 1, 50735 Köln Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen, Wildenbruchplatz 1, 45888 Gelsenkirchen PTV Planung Transport Verkehr GmbH, Haid-und-Neu-Straße 15, 76131 Karlsruhe Stadt Aachen, Markt, 52058 Aachen Vodafone GmbH, Ferdinand-Braun-Platz 1, 40549 Düsseldorf	9. Ber. Nr. Durchführende Institution ---
	10. Förderkennzeichen 01MM19001A-G
	11. Seitenzahl 117 Seiten
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV), ehemals: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), 10115 Berlin	13. Literaturangaben 6
	14. Tabellen 37
	15. Abbildungen 44
16. Zusätzliche Angaben Sprache: Deutsch Verbundkoordinator: RWTH Aachen University, ausführende Stelle: Institut für Kraftfahrzeuge (ika)	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	
18. Kurzfassung Der Schlussbericht gibt einen Überblick über den Projektfortschritt für die 27 Monate des ACCorD Projektes, das heißt von Januar 2020 (M1) bis März 2022 (M27). Mit dem Korridor für neue Mobilität Aachen - Düsseldorf sollte unter Einbindung bestehender Testfelder im Raum Aachen - Düsseldorf eine integrierte Entwicklungsumgebung geschaffen werden, um automatisierte Fahrzeuge in Interaktion mit vernetzter Infrastruktur systematisch zu testen und abzusichern. Um vielfältige Verkehrsszenarien abbilden zu können, enthält der Korridor u.a. einen Autobahnabschnitt, einen urbanen und einen ländlichen Bereich. Um die bereits bestehenden Testfelder in der Region zu ergänzen, ist der Aufbau von sechs Testfeldern mit vernetzter Infrastruktur erfolgreich umgesetzt worden. Drei der Testfelder beinhalten Messeinrichtungen am Straßenrand, welche sowohl mit Kameras und LiDAR Sensoren zur Verkehrserfassung ausgestattet sind als auch mit Road Side Units (RSUs), die der Umsetzung einer Verkehrsvernetzung mit Hilfe von ‚Vehicle-to-everything‘ (V2X) Kommunikation dienen. Die insgesamt 68 Messstationen verteilen sich auf einen ländlichen Bundesstraßenabschnitt mit Überholvorgängen (B56, Aldenhoven), einen Autobahnabschnitt mit zwei Auffahrten (A44, Autobahndreieck Jackerath) und auf einen städtischen Campus-Bereich, in welchem auf den öffentlichen Straßen verschiedene Verkehrsteilnehmende samt ‚Vulnerable Road Users‘ interagieren (Campus Melaten, Aachen). Auf den anderen drei Testfeldern wurden Lichtsignalanlagen mit RSUs ausgestattet, um eine Verkehrsvernetzung über V2X-Kommunikation umzusetzen. Damit wird die Anbindung an einen zentralen Server ermöglicht, so dass Ampelzustände auch über Mobilfunk an Fahrzeuge weitergeleitet werden können. Sie bieten somit die Möglichkeit, die Kommunikation zwischen Lichtsignalanlagen und Forschungsfahrzeugen auf Haupt- (Bundesstraße B1 Vaalser Straße in Aachen) sowie Ausfallstraßen (Landesstraßen L 232 in Herzogenrath und L 240 in Alsdorf) zu erforschen. Neben den Testfeldern wurden im Rahmen des Projektes drei unterschiedliche Forschungsfahrzeuge aufgebaut, mit denen zahlreiche Funktionen des automatisierten und vernetzten Fahrens erprobt werden können.	
19. Schlagwörter Digitales Testfeld, Automatisierte und vernetzte Mobilität, Digitaler Zwilling	
20. Verlag	21. Preis unentgeltlich als elektronische Ressource (PDF) verfügbar

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN planned DOI	2. type of document (e.g. report, publication) Final report
3. title Final report of the consortium project "Corridor for New Mobility Aachen - Düsseldorf" (ACCorD) ; 01.01.2020 - 31.03.2022	
4. author(s) (family name, first name(s)) Klöcker, Laurent; Hülsen, Kathrin; Kemper, Dirk; Kalló, Eszter; Lelebici, Robin; Sommer, Martin; Rose, Martin; Fléchon, Charlotte; Naser, Lyla; Böhme, Mirijam; Bär, Tanja	5. end of project 31.03.2022
	6. publication date
	7. form of publication report, electronic resource (PDF)
8. performing organization(s) (name, address) RWTH Aachen University, executing entities: Institut für Kraftfahrzeuge (ika) and Institut für Straßenwesen (isac), Templergraben 55, 52062 Aachen MOOVE GmbH, Campus-Boulevard 30, 52074 Aachen Ford-Werke GmbH, Henry-Ford-Straße 1, 50735 Köln Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen, Wildenbruchplatz 1, 45888 Gelsenkirchen PTV Planung Transport Verkehr GmbH, Haid-und-Neu-Straße 15, 76131 Karlsruhe Stadt Aachen, Markt, 52058 Aachen Vodafone GmbH, Ferdinand-Braun-Platz 1, 40549 Düsseldorf	9. originator's report no. ---
	10. reference no. 01MM19001A-G
	11. no. of pages 117 pages
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV), ehemals: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), 10115 Berlin	13. no. of references 6
	14. no. of tables 37
	15. no. of figures 44
16. supplementary notes Language: German Coordinator: RWTH Aachen University, executing entity: Institut für Kraftfahrzeuge (ika)	
17. presented at (title, place, date)	
18. abstract The final report provides an overview of the project progress for the 27 months of the ACCorD project, i.e. from January 2020 (M1) to March 2022 (M27). With the Corridor for New Mobility Aachen - Düsseldorf, an integrated development environment was to be created by integrating existing test fields in the Aachen - Düsseldorf area in order to systematically test and validate automated vehicles in interaction with networked infrastructure. In order to be able to depict diverse traffic scenarios, the corridor contains, among other things, a highway section, an urban area and a rural area. To complement the existing test fields in the region, the construction of six test fields with networked infrastructure has been successfully implemented. Three of the test fields include roadside measurement facilities, which are equipped with cameras and LiDAR sensors for traffic detection as well as Road Side Units (RSUs), which are used to implement traffic networking using 'vehicle-to-everything' (V2X) communication. The total of 68 measuring stations are distributed over a rural federal road section with overtaking procedures (B56, Aldenhoven), a highway section with two slip roads (A44, Jackerath highway junction) and an urban campus area where various road users including 'Vulnerable Road Users' interact on the public roads (Campus Melaten, Aachen). On the other three test sites, traffic signals were equipped with RSUs to implement traffic networking via V2X communication. This enables connection to a central server so that traffic signal states can also be forwarded to vehicles via mobile communications. They thus offer the possibility of researching communication between traffic signal systems and research vehicles on main roads (federal road B1 Vaalser Straße in Aachen) as well as arterial roads (state roads L 232 in Herzogenrath and L 240 in Alsdorf). In addition to the test fields, three different research vehicles were set up as part of the project, which can be used to test numerous functions of automated and connected driving.	
19. keywords Digital test field, Automated and connected mobility, Digital twin	
20. publisher	21. price available free of charge as an electronic resource (PDF)