

Schlussbericht des Verbundes

ErVast – Einsatz dynamischer Verkehrselemente für die Prüfung automatisierter Fahrfunktionen

FKZ 01MM19003

AVF – automatisiertes und vernetztes Fahren (BMDV)

Zuwendungsempfänger:	Förderkennzeichen:
FSD Fahrzeugsystemdaten GmbH – Zentrale Stelle nach StVG	01MM19003A
AMFD Auto Mobil Forschung Dresden GmbH	01MM19003B
DEKRA Automobil GmbH - Automobil Test Center	01MM19003C
Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme IVI	01MM19003D
Technische Universität Dresden:	01MM19003G
Professur Fahrzeugmechatronik	
Professur für Informationstechnik für Verkehrssysteme	
HORIBA Europe GmbH	01MM19003E
Verkehrsunfallforschung an der TU Dresden GmbH	01MM19003H
ZIGPOS GmbH	01MM19003I
Kontakt Konsortialführer:	
FSD Fahrzeugsystemdaten GmbH - Zentrale Stelle nach StVG	
Wintergartenstraße 4, 01307 Dresden	Tel.: +49 351 652888752
Lars Koch	Email: Lars.Koch@fsd-web.de
Laufzeit des Vorhabens:	
von: 01.01.2020 bis: 31.12.2021	
Datum Bericht:	
12.08.2022	

Inhalt

1	Kurzdarstellung.....	3
1.1	Aufgabenstellung.....	3
1.2	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde.....	6
1.3	Planung und Ablauf des Vorhabens	7
1.3.1	Konsortium	7
1.3.2	Arbeitsplan	10
1.4	Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde.....	12
1.4.1	Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden.....	13
1.4.2	Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste	18
1.5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	20
2	Eingehende Darstellung	21
2.1	Grundlagen	22
2.1.1	Szenariengenerierung.....	22
2.1.2	Sensoruntersuchung.....	28
2.1.3	Simulation.....	35
2.1.4	Validierung des Gesamtansatzes.....	42
2.2	Prüfstelle & Prüfstützpunkt.....	47
2.2.1	Lokalisierung.....	47
2.2.2	Versuchsfahrzeuge	50
2.2.3	Targetträger.....	51
2.2.4	Wechselverkehrszeichen.....	52
2.2.5	Lichtsignalanlage	53
2.2.6	SDR – Software Defined Radio	54
2.2.7	Bedien- und Anzeigegerät, Vorstellung des ErVast Demonstrators.....	63
2.2.8	Prüfframework	72
2.3	Zusammenfassung Inhaltliche Darstellung	88
2.4	Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele - Vertraulich	90
2.5	Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises - Vertraulich.....	90
2.6	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit - Vertraulich.....	90
2.7	Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans	91
2.8	Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen.....	96
2.9	Erfolgte oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses.....	98

1 Kurzdarstellung

Das Bedürfnis der Menschen nach individueller Mobilität ist nach wie vor sehr hoch, der Individualverkehr nimmt noch immer Jahr für Jahr zu. Trotz neuartiger Mobilitätskonzepte und zunehmenden Möglichkeiten intermodaler Mobilität bleibt der PKW das Verkehrsmittel, welches den wesentlichen Anteil der jährlichen Personenkilometer in Deutschland erbringt. Trotz steigender Beförderungsleistung konnte die Verkehrssicherheit in den vergangenen Jahren weiter gesteigert werden. Die Zahl der im Verkehr getöteten Personen ist seit vielen Jahren rückläufig. Die Vision Zero, keine Verkehrstoten im Zusammenhang mit dem Straßenverkehr, ist für viele Entwicklungstreiber zur Leitlinie geworden.

Ein essentieller Baustein zur Steigerung der Verkehrssicherheit ist die Einführung von Fahrerassistenzsystemen (ADAS) zur Unfallvermeidung oder Milderung der Unfallschwere, wie beispielsweise automatische Notbremssysteme, Spurwechsel- oder Spurhalteassistenten. Um das volle Potential dieser Systeme ausschöpfen zu können, ist es notwendig die korrekte Funktionalität über die gesamte Fahrzeuglebensdauer durch eine Überprüfung im Rahmen der Hauptuntersuchung (HU, engl. Periodical Technical Inspection - PTI) sicherzustellen. Darüber hinaus können auch hochautomatisierte Fahrfunktionen (HAF) zusätzlich zur Fahrkomfortsteigerung einen Beitrag zur Verkehrssicherheit leisten. Der überwiegende Teil heutiger Verkehrsunfälle ist auf Fehler des menschlichen Fahrers zurückzuführen. Dieses Potential ist allerdings nur vollumfänglich nutzbar, wenn die Funktionen in ihrer Gestaltung nach den geltenden Grundsätzen ausgeführt sind, diese auch während der Homologation eingehend geprüft werden können und eine Prüfung der korrekten Funktionalität über die gesamte Nutzungsdauer erfolgt.

Das Ziel des Projektes ErVast – „Einsatz dynamischer Verkehrselemente für die Prüfung automatisierter Fahrfunktionen“ – ist es, Prüfverfahren für die Funktions- und Wirkungsprüfung von ADAS und HAF sowie der hierbei eingesetzten Umfeldsensorik für Fahrzeuge der Klassen M1, M2 und N1 zu konzipieren, zu entwickeln und umzusetzen. Die Umsetzung erfolgt in Form eines Demonstrators zur Präsentation der erarbeiteten Prüfverfahren zur zukünftigen Integration in die Hauptuntersuchung.

1.1 Aufgabenstellung

Szenarienbasiertes Testen ist ein wesentliches Werkzeug zur Entwicklung und Absicherung assistierender und automatisierter Fahrfunktionen. Diese Tests können virtuell mit Hilfe von Simulationen sowie in realen Fahrversuchen umgesetzt werden. Hierbei werden auf einem abgeschlossenen Testgelände reale Verkehrsszenarien nachgebildet und so variiert, dass eine möglichst repräsentative Abbildung der im realen Betrieb auftretenden und vom Fahrzeug zu berücksichtigenden Aspekte des Verkehrsgeschehens gewährleistet ist. Für diese Versuche kommen bereits heute dynamische Verkehrselemente in Form von fahrbaren Dummies zum Einsatz, die eine beschädigungsfreie Untersuchung des Versuchsfahrzeuges ermöglichen. Grundlage des im Projekt ErVast verfolgten Ansatzes ist ebenfalls das szenarienbasierte Testen. Allerdings wird die Prüfung im Rahmen der Hauptuntersuchung so entwickelt und umgesetzt, dass diese an aktuellen Prüfstellen und Prüfstützpunkten erfolgen kann. Die Entwicklung der benötigten Prüfscenarien und Manöver erfolgt herstellerübergreifend simulativ. Eine Gesamtfahrzeugsimulation ermöglicht die gezielte Parametrisierung der Szenarien. Die ermittelten Parameter können im Rahmen der späteren Prüfung randomisiert fahrzeugspezifisch variiert werden. Um die Steuerung der dynamischen Elemente

während der Prüffahrt realisieren und die Ergebnisse in geeigneter Weise auswerten zu können, musste ein neuartiges Prüfframework konzipiert und implementiert werden. Die Erprobung des Ansatzes erfolgte in Form eines Demonstrators an ausgewählten Versuchsfahrzeugen.

Im Projekt ErVast waren folgende Teilaufgaben zu bearbeiten:

- Erarbeitung eines Prüfkonzeptes für die Prüfung von Assistenz- und Automatisierungsfunktionen sowie der verbauten Umfeldsensorik mit Fokus auf die HU
 - Entwicklung eines Prüfablaufes für die effiziente Prüfung der im Fahrzeug verbauten Umfeldsensorik
 - Entwicklung eines konsistenten und automatisierbaren Prüfprozesses für assistierende und automatisierte Fahrfunktionen
- Untersuchung relevanter Umfeldsensorik und Fahrzeugkommunikation
 - Erforschung von Einflüssen auf die Perzeptionsleistungsfähigkeit von Umfeldsensoren
 - Untersuchung der Systemdegradation von Umfeldsensoren, inklusive HU-relevanter Mängel
 - Laborgestützte Simulation und Validierung von Prüfscenarien mit Car2X-Bezug
 - Betrachtung der Schnittstellen und des Protokollstacks von GNSS, WLANp und zellularen Mobilfunkgenerationen (z. B. GSM, UMTS, LTE-V2X, 5G D2D)
- Erarbeitung eines Manöverkataloges zur Ableitung benötigter Prüfscenarien
 - Ableitung von Prüfmanövern
 - Berücksichtigung Unfallanalysen und Realfahrdaten
 - Berücksichtigung PTI spezifischer Anforderungen
- Erstellung einer Gesamtfahrzeugsimulation zur Ermittlung benötigter Prüfmanöver
 - Erarbeitung Simulationsframework für einen fahrzeugindividuellen Prüfprozess
 - phänomenologische Sensormodellierung zur Ableitung von Funktionseinbußen in der Simulation
- Ertüchtigung von Versuchsfahrzeugen
 - Hard- und softwareseitige Anpassung von Versuchsfahrzeugen zur Abbildung automatisierter Fahrfunktionen
- Erprobung von Trägersystemen für dynamische Verkehrselemente
 - Erprobung eines hochdynamischen Targetträgers für die effiziente Prüfung der Sensorik sowie der assistierenden und automatisierten Fahrfunktionen
 - Entwicklung eines HU-angepassten Targets
- Untersuchung und Bewertung eines UWB basierten Ansatzes zur Lokalisierung der Entitäten des Prüfablaufs
 - Implementierung der UWB Lokalisierung
 - Erweiterung des Systems zur Genauigkeitserhöhung
- Beschaffung und Implementierung von Lichtsignalanlage und Wechselverkehrszeichen
 - Funktionale Entwicklung der Komponenten

- Beschaffung und Implementierung
- Auswahl und Nutzung geeigneter Szenarien-Beschreibungsformate
- Entwicklung eines Prüfframeworks zur Steuerung des Szenarienablaufs und zur Bewertung der Prüfungsfahrt
 - Anbindung aller Teilelemente an das Prüfframework
 - Integration der im Projekt dargestellten Lokalisierungslösung
- Validierung des Gesamtansatzes auf abgeschlossenem Testgelände und in der Einsatzumgebung

Das Projekt ErVast fokussiert damit die Schaffung eines Prüfwerkzeuges, das es dem amtlich anerkannten Sachverständigen oder Prüferingenieur ermöglicht teil- und hochautomatisierte Fahrzeuge objektiv, effizient und zeitoptimiert im Rahmen der HU zu bewerten und leistet damit einen entscheidenden Beitrag zur Erhöhung der Verkehrssicherheit.

Der hier gewählte Ansatz zur Untersuchung und Bewertung der Fahrfunktionen geht dabei weit über die heute während der HU zum Einsatz kommenden Methoden und Prüftechnologien hinaus und beinhaltet die folgenden, innovativen Teilaspekte:

- Sensoreinzelprüfung mit dynamischem Target
- Simulative Auslegung von Prüfmanövern und abzubildenden Verkehrsszenarien
- Szenarienbasierte Funktions- und Wirkungsprüfung assistierender und automatisierter Fahrfunktionen sowie zugehöriger Umfeldsensorik mittels eines dynamischen Targets
- Einsatz dynamischer Verkehrselemente als Teil der Prüffahrt bei der HU
- Prüfframework zur Steuerung und Bewertung des Prüfablaufs

1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Heute werden in Deutschland etwa 30 Mio. Hauptuntersuchungen und Sicherheitsprüfungen pro Jahr durchgeführt. Diese Prüfungen finden an Prüfstellen und Prüfstützpunkten statt, die über eine entsprechende technische Ausstattung verfügen müssen. Hierzu zählen beispielsweise ein Bremsenprüfstand sowie ein Gerät zur Kontrolle der Lichteinstellung. Darüber hinaus kommt bei der Hauptuntersuchung auch der von der FSD entwickelte HU-Adapter zur Anwendung. Dieser ermöglicht einerseits den Zugang zu den elektronischen Fahrzeugsystemen und besitzt andererseits auch eigene Sensorik zur Erfassung fahrdynamischer Messwerte. Hierdurch wird z.B. die Prüfung der Achsdämpfung während einer kurzen Prüffahrt ermöglicht. Durch den Zugang zu den elektronischen Fahrzeugsystemen über die On Board Diagnose (OBD) des Fahrzeuges können diese hinsichtlich ihrer Ausführung und ihres Zustandes sowie teilweise auch bezüglich ihrer Funktion und Wirkung geprüft werden.

Im Rahmen von Fahrzeugtests zur besseren Information der Verbraucher (z. B. Euro NCAP) kommen heute bereits Targetträger zur zerstörungsfreien, standardisierten Prüfung von Fahrzeugsystemen zum Einsatz. Nur durch den Einsatz dieser Targetträger ist es möglich, Fahrzeuge im Grenzbereich der Fahrfunktionen beschädigungsfrei zu prüfen. Als Targets auf den Trägersystemen kommen Fahrzeugattrappen, aber auch Dummies schwacher Verkehrsteilnehmer (Fußgänger, Radfahrer, Motorradfahrer) zum Einsatz, die in der ISO 19206 genormt sind.

Vor Projektbeginn waren Targets und die Kombination eines Targets mit einem Targetträger für den Einsatz der Funktions- und Wirkungsprüfung von teil- und hochautomatisierten Fahrfunktionen sowie der hierfür verwendeten Umfeldsensorik im Rahmen der PTI noch nicht entwickelt und somit nicht am Markt verfügbar. Ein hierfür benötigtes Prüfframework zur Anbindung aller Entitäten, sowie zur Steuerung und Auswertung des Prüfablaufs musste ebenfalls im Rahmen des Projektes entwickelt werden.

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

1.3.1 Konsortium

Das Konsortium des Projektes ErVast setzte sich aus wissenschaftlich und wirtschaftlich arbeitenden Partnern zusammen. Im Bereich der wirtschaftlich arbeitenden Unternehmen konnten sowohl KMUs als auch Großunternehmen mit langjähriger Erfahrung in automotive Testing gewonnen werden. Die teilnehmenden wissenschaftlichen Partner setzten sich aus Forschungsinstituten und Hochschulpartnern zusammen. Die Fahrzeugsystemdaten GmbH nimmt hier eine Sonderrolle ein, da sie als staatlich beliehene Stelle hoheitlich beauftragt ist den in Deutschland tätigen technischen Diensten Vorgaben für die HU bereitzustellen. Mit diesem Konsortium stand im Projekt eine breite Expertise zur Verfügung, die essentiell für das Erreichen der engagierten Zielstellung war.

Konsortialführer:	 <p>FSD Zentrale Stelle</p>	Zeitraum: 01/2020 – 12/2021 Abschlussveranstaltung: 12/2021
Partner:		
Fördermittelgeber & Projektträger:	<p>Gefördert durch:</p>  <p>aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages</p> 	

Abbildung 1: Konsortium Projekt ErVast

Im Folgenden werden die beteiligten Partner kurz vorgestellt:

FSD Fahrzeugsystemdaten GmbH

Die FSD Fahrzeugsystemdaten GmbH (FSD) ist als Zentrale Stelle nach StVG für die Entwicklung der Hauptuntersuchung (HU), der Sicherheitsprüfung (SP) und der dafür benötigten innovativen Prüftechnologien für sicherheitsrelevante Fahrzeugsysteme zuständig. Ein wesentliches Prüfwerkzeug stellt der von der FSD entwickelte HU-Adapter dar. Mit diesem hat der amtlich anerkannte Sachverständige oder Prüfer die Möglichkeit die elektronischen Komponenten des Fahrzeuges zu überprüfen. Die integrierte Sensorik ermöglicht darüber hinaus die Erfassung und Auswertung fahrdynamischer Kennwerte. Zusätzlich zur Expertise bezüglich der Prüfung im Rahmen der Hauptuntersuchung verfügt die FSD auch über langjährige Erfahrung im Management komplexer Projekte und übernahm im Projekt ErVast die Leitung des Verbundprojektes sowie die fachliche Begleitung in allen Arbeitsschritten.

ITVS - Prof. Informationstechnik für Verkehrssysteme (TU Dresden)

Die Professur für Informationstechnik für Verkehrssysteme der Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“ der TU Dresden beschäftigt sich in Lehre und Forschung mit Verkehrs-informationssystemen. Sie bilden die technische Basis für Verkehrstelematik-Dienste und dienen der informationellen Vernetzungen der Strukturkomponenten Fahrweg, Fahrzeug und Fahrbetrieb. Das

Fachgebiet „Informationstechnik für Verkehrssysteme“ besitzt dabei einen ausgesprochen fachübergreifenden Charakter, der sich insbesondere in folgenden Aspekten niederschlägt:

- Optimierung verkehrstelematischer Systeme und Prozesse durch den Einsatz von vernetzten Kommunikations- und Ortungstechnologien
- Forschungen und Analysen zur technischen Basis für die informationelle Vernetzung der Strukturkomponenten Fahrweg, Fahrzeug und Fahrbetrieb
- Untersuchungen zu Wechselwirkungen zwischen technischen Systemen mit dem Ziel der Erhöhung der Systemfunktionalität verkehrstelematischer Anwendungen

Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme IVI

Fraunhofer IVI erforscht und entwickelt Technologien und Lösungen im Bereich Transport und Verkehr, u. a. vernetzte intelligente Verkehrssysteme, automatisierter Verkehr, Fahrzeug- und Sensortechnik sowie Kommunikations- und Ortungstechnologien. Fraunhofer IVI hat das Digitale Testfeld in Dresden maßgeblich mit aufgebaut und entwickelte und betreibt darüber hinaus dessen V2X- und Testinfrastruktur sowie umfangreiche C-ITS Services und das Testfeld-Backend für automatisiert-vernetztes Fahren. Fraunhofer IVI führt regelmäßig Fahrversuche zum Test automatisierten und vernetzten Fahrens in definierten Testszenarien mit eigenen vernetzten und automatisierten Versuchsträgern durch. Das Institut brachte Input aus relevanten Standardisierungsgremien mit in das Projekt ein, z. B. aus der ASAM-, 5GAA- bzw. ETSI-Standardisierung.

HORIBA Europe GmbH

Mit 75 Jahren Erfahrung und rund 50 Unternehmen in 20 Ländern weltweit bietet HORIBA seinen Kunden in verschiedenen Branchen höchst präzise Mess- und Analysetechnik. Dazu ist die Unternehmensgruppe auf fünf verschiedene Themenbereiche fokussiert: Automotive, Semiconductor, Process & Environmental, Medical und Scientific. Ein spezialisiertes Team von über 8.000 Mitarbeitern weltweit, davon über 800 bei der HORIBA Europe GmbH, arbeitet täglich an der Entwicklung hochkomplexer Lösungen für die sich wandelnden Herausforderungen ihrer Kunden.

DEKRA Automobil GmbH, Automobil Test Center

Die DEKRA Automobil GmbH ist eine der weltweit führenden Prüforganisationen. Das Portfolio der Dienstleistungen reicht von Fahrzeugprüfungen und Gutachten über Schadenregulierung, Industrie- und Bauprüfung, Sicherheitsberatung sowie die Prüfung und Zertifizierung von Produkten und Systemen bis zu Schulungsangeboten und Zeitarbeit. Aktuell leistet das Unternehmen weltweit pro Jahr ca. 26 Millionen Fahrzeuguntersuchungen. Weiterhin betreibt DEKRA mit dem Lausitzring eines der größten Testgelände für automatisiertes und vernetztes Fahren in Europa. Das reproduzierbare, szenarienbasierte Testen stellt einen Schwerpunkt der Dienstleistungen des Testgeländes dar. DEKRA arbeitet aus Sicht einer Prüforganisation an der Konzeptionierung und Umsetzung der ErVast Technologie mit. Schwerpunktmäßig ist DEKRA mit der Abtestung der Technologie auf Praxistauglichkeit und Validität der Ergebnisse betraut.

ZIGPOS GmbH

Die ZIGPOS GmbH ist ein innovatives Unternehmen mit Sitz in der sächsischen Landeshauptstadt Dresden. Die Entwicklung, der Vertrieb und der Service rund um Echtzeit-Lokalisierungs-Systeme (RTLS) auf Ultrabreitband-Basis, sind das Geschäftsfeld der ZIGPOS GmbH. Dafür wird die Entwicklung von Hard-, Firm- und Software im Unternehmen realisiert. Die angebotenen spezifischen Ortungs-Lösungen mit hoher Genauigkeit, die sich durch einfache Handhabung sowie durch vielfältige Anwendungsmöglichkeiten auszeichnen, sind sowohl für den Innen- wie den Außenbereich einsetzbar. Einsatzgebiete sind dabei u. a. die Gebäudeleittechnik (Überwachung und Regelung von Lüftung oder Heizung), Transport und Logistik (eine sehr genaue Positionsbestimmung im dreidimensionalen Raum z. B. für das Verfolgen von Gegenständen) oder auch Handel und Gewerbe (Kundenstromanalyse). Die Produkte sind jeweils individuell auf die Kunden zugeschnitten, sodass eine optimale Lösung für bestehende Probleme gefunden werden kann.

Automobil Forschung Dresden GmbH

Die AMFD – Auto Mobil Forschung Dresden GmbH ist ein Unternehmen der TU Dresden Aktiengesellschaft (TUDAG) und wurde 2011 zur praxisgerechten Umsetzung von industriell anwendbaren Forschungsinhalten und Entwicklungsmethoden gegründet. Sie arbeitet auch heute in enger Kooperation des TU Netzwerkes und besonders mit dem Lehrstuhl für Kraftfahrzeugtechnik. Somit reicht das Portfolio von reinen Dienstleistungsentwicklungen bis hin zu methodischen Fragestellungen, dem Wirkkettenverständnis sowie der entsprechenden Modellentwicklung.

Um Fragestellungen des Fahrzeugentwicklungsprozesses virtuell und real abbilden bzw. methodisch erfassen zu können, verfügt die AMFD über eine lückenlose Parametrierstraße. Diese besteht aus Prüfständen, Simulations- und Messwerkzeugen zur Parametrierung und Validierung von kompletten Fahrzeugmodellen sowie deren relevanten Subsystemen und Komponenten.

Verkehrsunfallforschung an der TU Dresden GmbH

Die Verkehrsunfallforschung an der Technischen Universität Dresden GmbH (VUFO) ist eine außeruniversitäre Forschungseinrichtung und beschäftigt sich seit 2005 mit der Dokumentation und wissenschaftlichen Analyse von Verkehrsunfällen mit Personenschäden im Rahmen des GIDAS-Projektes. Die daraus gewonnenen Daten besitzen eine hohe Detailtiefe und Güte, mit denen das Unfallgeschehen ausführlich dokumentiert, rekonstruiert und simuliert werden kann. Zudem sind die Unfalldaten nach Gewichtung repräsentativ für das deutsche Unfallgeschehen. Mit Hilfe dieser Datenquelle können Verkehrs- und Unfallszenarien generiert sowie für die Kritikalitätsverläufe der Situationen ermittelt werden. Des Weiteren hat die VUFO Zugriff auf weitere Datenquellen zur Szenariengenerierung. In der Fachwelt hat sich die VUFO als Forschungsinstitut und Entwicklungsdienstleister etabliert und begleitet regelmäßig Untersuchungen zu den Themen Sicherheitsbewertung und Potenzialabschätzung von Sicherheitstechnologien im Verkehrswesen. Im Rahmen des Projektes dient die VUFO als Lieferant von Grundlagendaten in Form von Szenarien, basierend auf dem Unfallgeschehen. Mit Hilfe dieser Szenarien können die Prüfumgebungen und Prüfmanöver zielgerichtet entwickelt und so die Systeme und Funktionalitäten der Fahrzeuge in den relevantesten Situationen geprüft werden.

TU Dresden – Professur Fahrzeugmechatronik (FZM)

Die Professur Fahrzeugmechatronik des Instituts für Automobiltechnik Dresden ist an der Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“ der Technischen Universität Dresden angegliedert und befasst sich mit den interdisziplinären Fragestellungen der Elektrik/Elektronik, Mechanik und Informationstechnik im Fahrzeug. Hierzu zählen u.a. die Themen des automatisierten und elektrischen Fahrens, insbesondere der Regelungsverfahren, der virtuellen wie auch realen Fahrzeugerprobung inkl. Test, Prüfung und Diagnose sowie der Charakterisierung von Umfeldsensorik, Kommunikation und Energiemanagement.

1.3.2 Arbeitsplan

Die im Projekt zu bearbeitenden Inhalte wurden in sieben Arbeitspakete aufgeteilt. Übergeordnet war das Arbeitspaket *Projektmanagement* (AP0) über die gesamte Projektlaufzeit angelegt. Dieses Arbeitspaket diente der Projektleitung und -koordination sowie der Überwachung der Einhaltung des Arbeitsplans. Weiterhin wurden hier wissenschaftliche Veröffentlichungen sowie die Öffentlichkeitsarbeit des Projektes koordiniert. Eine planmäßige Abarbeitung der Projektinhalte und die zielgerichtete Veröffentlichung der Projektergebnisse wurden so ermöglicht.

Ebenfalls über die gesamte Projektlaufzeit war die Erstellung des *Prüfkonzeptes* (AP1) angelegt. Erkenntnisse die im Verlauf des Projektes gewonnen wurden, konnten so kontinuierlich in die Erstellung des Prüfkonzeptes integriert werden. Im Ergebnis entstanden Konzepte für die Überprüfung von assistierenden und automatisierten Fahrfunktionen sowie der zugehörigen Umfeldsensorik.

Die Erstellung von *Prüfszenarien* erfolgte in AP 2. Auf Grundlage einer Gesamtfahrzeugsimulation, in Kombination mit Daten der Unfallanalyse und Realfahrdaten konnten Prüfszenarien und -manöver als Grundlage für die spätere reale Umsetzung erarbeitet werden. Weiterhin wurden wesentliche Grundlagen für die Spezifikation und Entwicklung der verwendeten Technik geschaffen.

Die *Anforderungsspezifikation* und die *Entwicklung* der benötigten Komponenten erfolgten in den Arbeitspaketen 3 und 4. Aufgrund der engen Verzahnung der beiden Arbeitspakete wurde eine iterative Arbeitsweise gewählt, die eine zielgerichtete Entwicklung der Komponenten ermöglichte.

Das *Prüfframework* stellt ein zentrales Element des ErVast-Ansatzes dar. Die Entwicklung erfolgte im AP 5. Kernelemente des Prüfframeworks sind die Anbindung aller entwickelten Elemente sowie die Steuerung und Auswertung des Prüfablaufes. Die Entwicklung der Software erfolgte dezentral bei den jeweiligen Projektpartnern. Um die spezifischen Anforderungen der Softwarebausteine der Partner berücksichtigen zu können, erfolgte die Entwicklung mithilfe von Softwarecontainern. Die Integrationstests der Software erfolgten beim Konsortialleiter FSD.

Das Arbeitspaket 6 dient der *modellhaften Umsetzung in der Einsatzumgebung*. Das ErVast Gesamtsystem wurde in Form eines Demonstrators implementiert und präsentiert. Der Gesamtansatz wurde auf dem Prüfgelände evaluiert.

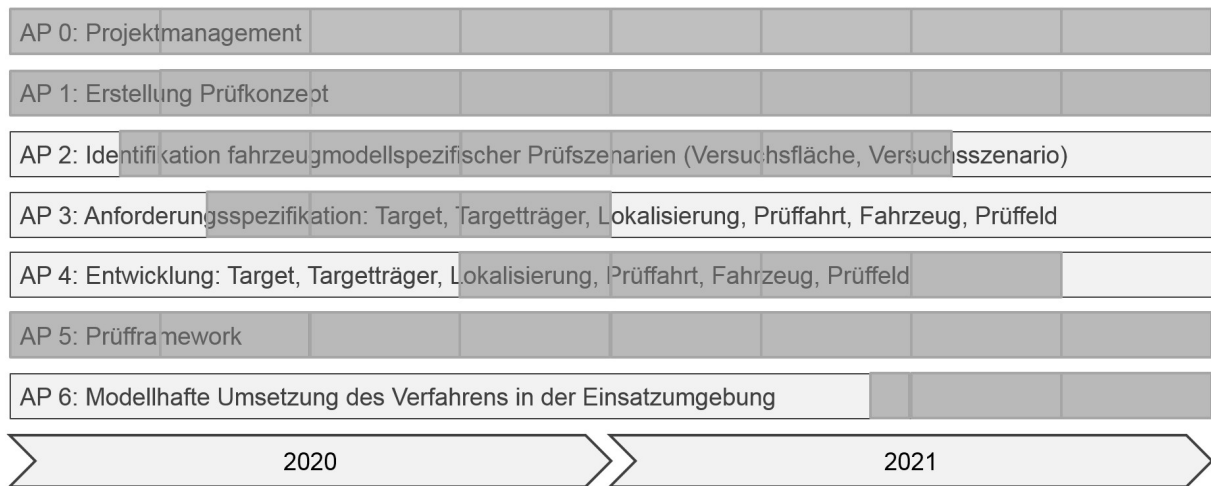


Abbildung 2: Arbeitsplan Projekt ErVast

1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Die Aufgabe der Fahrzeugsystemdaten GmbH ist die Entwicklung, Generierung, Herstellung, Dokumentation und Validierung von Vorgaben für die Hauptuntersuchung und Sicherheitsprüfung im hoheitlichen Auftrag für die gesamte Bundesrepublik Deutschland. Hierfür sind innovative Prüftechnologien zur Feststellung von Störung, Verschleiß, Alterung, Manipulation oder Leistungsverlust von Komponenten und Systemen zu entwickeln.

Die Prüfung der Komponenten und Systeme erfolgt in 4 Prüftiefen.



Abbildung 3: Prüftiefen im Rahmen der HU nach Anlage VIIIa StVZO

Für elektronische Systeme zur Fahrerassistenz bzw. zur Automatisierung der Fahrfunktion sowie der zugehörigen Komponenten wird im Rahmen der heutigen Hauptuntersuchung bereits die Ausführung und der Zustand überprüft. Die im Projekt ErVast zu entwickelnde Prüfung unter Einsatz von dynamischen Verkehrselementen zielt auf die Funktions- und Wirkungsprüfung dieser Komponenten. Diese Erhöhung der Prüftiefe ermöglicht es dem amtlich anerkannten Sachverständigen oder Prüferingenieur die Verkehrssicherheit des Fahrzeuges qualifizierter zu bewerten als es heute bereits möglich ist und schafft somit einen wesentlichen Beitrag das Potential der Erhöhung der Verkehrssicherheit durch die Einführung solcher Systeme auszuschöpfen.

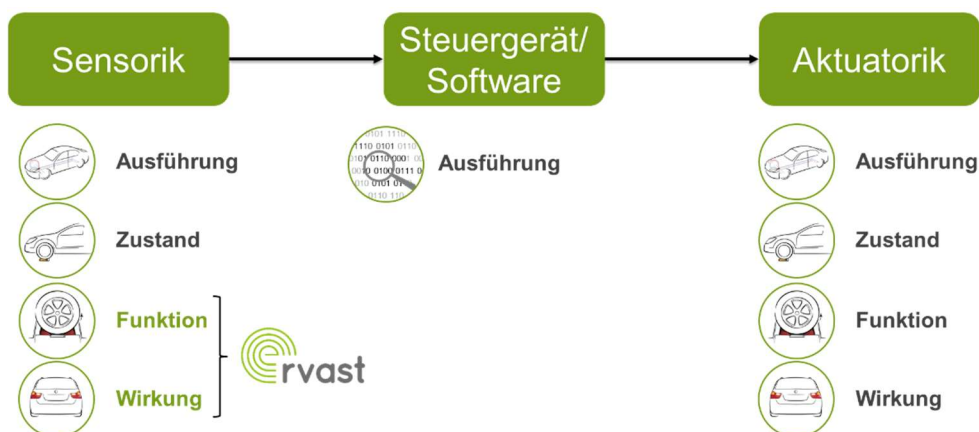


Abbildung 4: Erhöhung der Prüftiefe durch Einsatz des ErVast Gesamtsystems

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

Fahrzeugsensoren und Umgebungserfassung

Eine performante, robuste und hochverfügbare Fahrzeugumgebungserfassung ist integraler Bestandteil einer Funktionsarchitektur für hochautomatisiertes Fahren. Detaillierte Informationen über die Umgebung und andere Verkehrsteilnehmer sind essentiell für die sichere automatisierte Planung komplexer Fahrmanöver.

Für die Auswahl eines entsprechenden Systems zur Umgebungspersonen hat sich die Kombination mehrerer Sensoren mit unterschiedlichen Messprinzipien als zielführend erwiesen. Klassische Systeme sind Kamera, LiDAR und Radar. Jedes dieser Systeme besitzt individuelle Stärken, die es in der Fusion der Datenströme zur Erreichung einer hohen Informationsdichte bestmöglich zu kombinieren gilt. Zur Gewährleistung der funktionalen Sicherheit muss das Sensor-System ständig überwacht und bewertet werden. Dabei hängt dessen zeitvariante Leistungsfähigkeit von mehreren Faktoren ab, z. B.

- Informationsgüte der verschiedenen Sensoren,
- Unsicherheiten in der räumlichen Wahrnehmung (verdeckte Objekte o.Ä.),
- Erkennungsreichweite und Wahrnehmungshorizont der Umfeldsensoren,
- Zustand ggf. beschädigter oder verschmutzter Sensoren.

Dabei stellt sowohl die statische als auch die dynamische Einschätzung der Perzeptionsleistungsfähigkeit eines automatisierten Fahrsystems noch immer eine Herausforderung dar. Um die hohe Komplexität dieser Systeme im Rahmen der Hauptuntersuchung prüfen zu können, soll im Projekt eine Kombination aus Fahrfunktionsprüfung und Sensoreinzelpfung entwickelt werden. Eine Grundlage für diese Entwicklungen sind Sensoruntersuchungen des Lehrstuhls für Fahrzeugmechatronik der TU Dresden.

Testen

Durch die steigende Verbreitung von Fahrfunktionen in heutigen Fahrzeugen gewinnt die Überprüfung aktueller und zukünftiger ADAS oder HAF Systeme im Rahmen der Hauptuntersuchung immer mehr an Bedeutung. Im Projekt bringt die DEKRA als Prüforganisation, technischer Dienst sowie dem DEKRA Technologie Zentrum mit dem DEKRA Lausitzring Erfahrungen im Bereich Testen ein.

Das DEKRA Technologie Zentrum, im speziellen die Abteilung Test automatisiertes und autonomes Fahren, beschäftigt sich seit mehreren Jahren mit der Entwicklung und Umsetzung von Testmethoden im Bereich ADAS und HAF Systeme. Dabei sind Targetträger und Targets, Referenzmesstechnik und dazugehörige Infrastruktur wesentliche Elemente der Untersuchungen.

Für die Zukunft des szenarienbasierten Testens werden weiterhin die Verwendung von hochgenauen HD-Karten und die Transformierung von Szenarien in das OpenX Format sowie die durchgängige Anbindung von Infrastrukturelementen über eine definierte Schnittstelle eine elementare Bedeutung bekommen.

Die AMFD ist ein weiterer Partner mit umfangreicher Expertise im Bereich Testing. Die AMFD ist Mitglied der Driveability Testing Alliance, welche automatisierte Testlösungen, die die aktive Sicherheit von Fahrerassistenzsystemen (FAS) sowie hochautomatisiertes Fahren (HAF) adressiert, entwickelt und vertreibt. Hierbei bringt die AMFD fundierte Kompetenz und Service für Fahrzeugtests von der Simulation über die Fahrdynamik bis hin zu Realfahrversuchen für die Bewertung von

Fahrerassistenzsystemen in die DTA ein. Weiterhin hat sich die AMFD seit 2018 auf die Evaluierung von Euro NCAP Versuchen in den Bereichen Safety Assist, Vulnerable Road User und Assisted Driving spezialisiert. Mittels der Durchführung von Euro NCAP Versuchen mit dem Equipment der DTA-Group konnte Wissen im Bereich der standardisierten Versuchsdurchführung aufgebaut und eine Sensibilisierung für eine objektive Bewertung erreicht werden. Ein zusätzlicher Kompetenzzuwachs konnte durch die Evaluierung von UNECE Szenarien ab 2020 verzeichnet werden.

Szenariengenerierung

Für die Szenariengenerierung ist es notwendig, dass auf wissenschaftlicher, datengetriebener Basis Szenarien erstellt werden. Für die Abbildung von Szenarien werden In-Depth Unfalldatenbanken (z.B. GIDAS) sowie Simulationsdatenbanken (z.B. GIDAS-PCM) ausgewertet. Die VUFO erhebt im Rahmen von GIDAS die Unfalldaten an der Unfallstelle und hat zudem auch jahrelange Erfahrung in der Analyse der Daten. Die geplanten Auswertungen und notwendigen Ableitungen von Szenarien- und Manöverkatalogen erfolgen auf Basis wissenschaftlicher, zeitgemäßer Methoden und sachverständiger Herangehensweisen. Die VUFO kann dafür auf Bearbeiter zurückgreifen, die aus zahlreichen nationalen und internationalen Industrie- und Forschungsprojekten eine umfassende Expertise im Bereich der Verkehrsunfallforschung, Datenanalyse und Simulation besitzen.

Szenarienbasiertes Testen

Unter szenarienbasiertem Testen im Kontext von ErVast ist die Untersuchung von Fahrfunktionen mit Hilfe von realen Szenarien und Manövern während der Prüffahrt im Rahmen der HU zu verstehen. Szenarienbasiertes Testen ist bereits heute in der automobilen Entwicklung, zur Absicherung und zur Homologation sowohl virtuell als auch in realen Fahrversuchen etabliert. Gleiches gilt für Benchmarking Tests wie Euro NCAP.

Bereits heute ist eine kurze Prüffahrt im Rahmen der HU vorgeschrieben. Im Rahmen dieser Prüffahrt erfolgen Wirkungsprüfungen der Bremsanlage mit Hilfe einer Verzögerungsmessung und der Stoßdämpfer durch eine Schwellenüberfahrt. Beide Prüfungen werden unter Einsatz des HU-Adapters ausgeführt. Ein szenarienbasierter Ansatz zur Prüfung von Assistenzsystemen und automatisierten Fahrfunktionen im Rahmen der HU ist vor Projektbeginn nicht etabliert.

Szenarienaustauschformate

Für die Beschreibung von Szenarieneingangsdaten sind einheitliche, standardisierte Austauschformate vorteilhaft. Besonders im Hinblick auf eine nachhaltige Entwicklung wird im Projekt auf die Formate der OpenX Standards gesetzt. Durch die aktive Mitwirkung bei der Entwicklung bzw. Weiterentwicklung des ASAM OpenSCENARIO-Standards, kann Fraunhofer IVI zudem auf die damit verbundenen Kenntnisse zur Beschreibung von Testszenerien und Trigger-Aktion-Beziehungen für dynamische Testabläufe zurückgreifen.

Simulation, Gesamtfahrzeugsimulation

Die virtuelle Abbildung von Szenarien ist ein etabliertes Werkzeug in der heutigen Fahrzeugentwicklung. Dabei kommen Simulationen beispielsweise zur Auslegung fahrdynamischer Eigenschaften oder zur Entwicklung von Fahrfunktionen zum Einsatz. Hierfür stehen heute eine Reihe von kommerziellen und Open Source Simulationsumgebungen zur Verfügung, um zielgerichtet entsprechend des jeweiligen Schwerpunktes Gesamtfahrzeugsimulationen aufbauen zu können. Die Nutzung von Simulationen ermöglicht im Projekt zeitliche Einsparungen, Reproduzierbarkeit und eine frühzeitige Einschätzung der Umsetzbarkeit von Szenarien und Manövern. Zur Vorauslegung der

Prüfungsfahrt ist im Projekt eine mittlere Detailgüte der Abbildung der Fahrfunktionen und der fahrdynamischen Kenngrößen ausreichend. Die Expertise zur simulativen Abbildung wird vom Lehrstuhl Fahrzeugmechatronik der TU Dresden, der VUFO und HORIBA eingebracht.

Lokalisierung

Für die Steuerung und Bewertung von Fahrversuchen kommen heute überwiegend auf DGPS basierende Lokalisierungssysteme zum Einsatz. In Abgrenzung zu GPS aus dem Consumer Bereich erreicht DGPS eine höhere Genauigkeit im niedrigen Zentimeter Bereich. Die hierfür benötigte Technik ist aufgrund hoher Kosten, dauerhafter Datenverbindung und langer Rüstzeiten nur bedingt für die Integration in die HU geeignet, sodass im Projekt die Eignung einer alternativen Lokalisierungstechnologie untersucht und bewertet werden soll.

Die ZIGPOS GmbH ist Hersteller und Anbieter eines Echtzeit-Lokalisierungssystems (kurz: RTLS - Real Time Location System), welches im Projekt für die Lokalisierung des Fahrzeuges und des Targetträgers mit Target genutzt werden soll. Für die Entwicklung des Lokalisierungssystems wird auf die standardisierte Ultrabreitband-Technologie (UWB) zurückgegriffen, welche während des Projektes auf die spezifischen Bedürfnisse angepasst wird. Weiterhin wurden Neuerungen hinsichtlich der UWB Technologie im Allgemeinen (Standardisierung) und im Speziellen (verbaute Komponente im Fahrzeug) bewertet, beobachtet und eingesetzt.

Zum Zeitpunkt der Antragsstellung war ein UWB Standard bei der IEEE in Arbeit. Die TG4z bearbeitet den IEEE 802.15.4z Standard, welcher von einer Vielzahl von Unternehmen getragen wird und unter anderem als Grundlage für die UWB Technologie im Automotive Bereich angesehen werden kann.

Machbarkeitsstudien in Außenbereichen und mit Fahrzeugen wurden in Industrieprojekten erfolgreich durchgeführt, die entsprechende Expertise wird für das ErVast Projekt genutzt. Ergebnisse und Erfahrungen aus Forschungsprojekten in diesem Bereich werden ebenfalls eingebracht.

Versuchsfahrzeuge, Fahrzeugautomatisierung

Untersuchungsschwerpunkt sind im Projekt Fahrzeuge mit Assistenzfunktionen und hochautomatisierten Fahrfunktionen ab SAE Level 3. Zu Beginn des Projektes waren nur Fahrzeuge bis zu einem Automatisierungslevel 2 nach SAE am Markt verfügbar. Geplante Systeme für das Level 3 – der Fahrer darf sich hier von der Fahraufgabe zeitweise abwenden – haben als Operational Design Domain die Autobahn oder autobahnähnliche Straßen. Um dennoch bereits heute Systeme, die auch Stadt- und Überlandverkehr adressieren, prüfen zu können, kommt zusätzlich zu einem Serienfahrzeug mit umfangreichem ADAS-Paket auch ein FSD-eigenes Fahrzeug mit selbst entwickelten HAF Funktionalitäten zum Einsatz. Zusätzlich können in diesem Fahrzeug auch Daten der Umfeldsensorik über eine Schnittstelle ausgelesen werden. Dieses Fahrzeug soll im Rahmen des Projektes an die Notwendigkeiten angepasst und weiterentwickelt werden.

Targetträger

Trägersysteme für Testtargets sind zu Projektbeginn am Markt verfügbar. Diese kommen in der automobilen Entwicklung sowie dem Benchmarking von Fahrfunktionen zum Einsatz. Bezüglich ihrer Spezifikation sind diese Systeme nur bedingt für die Hauptuntersuchung geeignet. Überwiegend sind die Leistungsparameter deutlich höher als benötigt, sodass eine Konzeption eines HU-tauglichen Trägersystems notwendig wird.

Testtargets

Testtargets in Form von Fahrzeug- oder Personendummys sind bereits für Fahrversuche standardisiert. Diese entsprechen in ihrer Sensorresponse den realen Objekten in der Weise, dass mit ihrer Hilfe Sensorsystemen von Fahrzeugen reale Verkehrsteilnehmer simuliert werden können. Diese Dummys sind nur bedingt HU-tauglich. Besonders aktuelle Fahrzeugdummys sind für diesen Einsatz zu kostenintensiv und in ihren Abmessungen zu groß. Die Verwendung von Personendummys allein würde für die Anregung der zu untersuchenden Sensoren nicht ausreichen.

Automatisierung des Prüfablaufs

Targetträgersysteme verfügen zu Projektstart über proprietäre Ansteuerungssysteme der jeweiligen Hersteller, die nicht miteinander kombinierbar sind. Die Implementierung benötigter Manöver muss manuell erfolgen. Ein einheitliches, standardisiertes Szenarieneingangsformat ist nicht vorhanden. Die Fahrversuche erfolgen üblicherweise unter Verwendung eines Fahrroboters für die Steuerung des Versuchsfahrzeuges, sodass die Orchestrierung der Versuche aktuell nicht HU-tauglich ist. Eine automatisierte Bewertung der Fahrversuche ist nicht möglich.

Prüfframework/Prüfbackend

Lösungen für Leitstände zur automatisierten Prüfablaufsteuerung inklusive Versuchsauswertung waren zu Projektbeginn nicht verfügbar. Die Bestrebungen der Normungsgruppe zur ISO 22133 zielen auf eine Vereinheitlichung der Ansteuerung von Targetträgern ab. Im Rahmen des Projektes wird die Nutzung der in der Norm beschriebenen Mechanismen zur Ansteuerung angestrebt, auch wenn diese sich noch in Bearbeitung befindet.

Lichtsignalanlage

Für die Entwicklung der vernetzten LSA konnte Fraunhofer IVI auf umfassendes Know-how aus dem Themenkomplex V2X-Kommunikation aufbauen. Hier bestanden Vorarbeiten, u.a. aus den Projekten SYNCAR und HarmonizeDD, in denen urbane Verkehrsanwendungen zum vernetzten automatisierten Fahren durch infrastrukturseitig vernetzte Services über V2I-Kommunikation unterstützt wurden (z.B. GLOSA-Anwendungen). In diesem Kontext hat Fraunhofer IVI, gemeinsam mit weiteren Partnern der Initiative, das Testfeld zum vernetzten und automatisierten Fahren in Dresden aufgebaut und betreibt aktiv die hierin implementierte V2I-Testinfrastruktur. In ErVast wurde für die vernetzte LSA ein V2X-Stack verwendet, den Fraunhofer IVI u.a. im Rahmen des FuE-Verbundvorhabens IVS-KOM entwickelt bzw. weiterentwickelt hat.

Konnektivität, Software Defined Radio

Im Bereich der Konnektivität liegt der technische Stand der Fahrzeugkommunikation u.a. im Adhoc-Kommunikationssystem IEEE 802.11p. Dieser Standard wurde basierend auf 802.11 speziell auf die Kommunikationsanforderungen von V2V und V2I angepasst. Konkret beinhaltet dies die Adaption auf höhere Geschwindigkeiten und eine geringe Latenz bei einer entsprechenden hohen Datenrate. Die Funkübertragung umfasst für den IVS-Kontext wichtige Sicherheits-/Anonymitäts- und Managementfunktionen in Form von IVS-Nachrichtenformaten, die auch unter „C-ITS Facilities“ zusammengefasst werden [Fes14].

Basierend auf diesem Standard wurde vom Lehrstuhl Informationstechnik für Verkehrssysteme der TU Dresden eine grundlegende, laborgestützte Simulation und Validierung von Test- und Prüfscenarien mit V2X-Bezug realisiert. Dazu wurden bereits vorhandene Software Defined Radio Funksysteme

hinsichtlich der Realisierung der Schnittstellen und des Protokollstacks von GNSS, WLANp für spezielle ETSI-G5 Nachrichten ertüchtigt [RIC13]. Eine besondere Rolle in diesem Kontext stellt das automatische Notrufsystem eCall dar, welches in der Europäischen Union ab dem 31. März 2018 verpflichtend in alle Neufahrzeuge eingebaut werden muss. Für den Test eines solchen Systems muss neben einer aufgebauten Sprachverbindung auch ein Datensatz (PSAP – Public Safety Answering Point) zum Unfallzeitpunkt, Fahrzeugstandort und Fahrtrichtung übermittelt werden [Bas08]. Zu diesem Zweck wurden bestehende, softwaredefinierte Open Source Basis Stationsfunktionalitäten (OpenBTS) modifiziert und erweitert, um eine PTI (Periodical Technical Inspection) zu ermöglichen. Eine wichtige Komponente in diesem Zusammenhang ist die Fahrzeugortung. Für die beiden genannten Funktionalitäten der Fahrzeugkommunikation und des eCalls sind die Kommunikationsfunktionalitäten untrennbar mit Ortungsfunktionalitäten verbunden. Das bedeutet, dass ohne Fahrzeugortung keine Funktionen wie Car2X und eCall umsetzbar sind. Um die Ortungssignale laborgestützt zu erzeugen, wurde ebenfalls auf Software Defined Radio basierte Funkssysteme zurückgegriffen, welche GNSS-Signale wie GPS und GLONASS generieren können.

Bedien- und Anzeigegerät im Rahmen der HU

Bereits heute kommen im Rahmen der HU Bedien- und Anzeigegeräte zur Unterstützung der Prüfung durch den amtlich anerkannten Sachverständigen oder Prüfingenieur zum Einsatz. Die hierfür entwickelte Software ermöglicht es, zielgerichtet zu informieren und automatisierte Auswertungen in die Prüfung zu integrieren. Diese Geräte kommunizieren mit dem von der FSD GmbH entwickelten HU-Adapter und ermöglichen so einen effizienten Zugriff auf Messdaten sowie die Vergabe von Mängeln. Die hierfür benötigten Anwendungen und Datenbanken zur Informationsbereitstellung werden ebenfalls von der FSD GmbH entwickelt und bereitgestellt.

Prüfstellen und Prüfstützpunkte

In Deutschland werden etwa 30 Millionen Hauptuntersuchungen an ca. 35.000 Prüfstellen und Prüfstützpunkten im Jahr durchgeführt. Dabei ist die Ausstattung dieser Prüforte in der Anlage VIII d der StVZO festgelegt und verpflichtend. Darüber hinaus können die örtlichen Gegebenheiten stark variieren. Für den Einsatz des szenarienbasierten Testens mit dynamischen Verkehrselementen ist eine Teststrecke notwendig, die in Ihrer Beschaffenheit das Verfahren eines Targetträgers ermöglicht. Für diese Teststrecke werden für das Projekt 30m als maximale Distanz festgelegt.

1.4.2 Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste

FSD Fahrzeugsystemdaten GmbH

- [1] ISO/AWI TS 22133, Road vehicles – Test object monitoring and control for active safety and automated/autonomous vehicle testing – Functional requirements, specifications and communication protocol
- [2] UN Regulation No 152 – Uniform provisions concerning the approval of motor vehicles with regard to the Advanced Emergency Braking System (AEBS) for M1 and N1 vehicles [2020/1597]
- [3] UN Regulation No 157 – Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regards to Automated Lane Keeping Systems [2021/389]
- [4] European New Car Assessment Programme – Assessment Protocol – Safety Assist, Version 8.0.4 – 9.0.4
- [5] European New Car Assessment Programme - Test Protocol – AEB Car-to-Car systems, Version 2.0.1 – 3.0.3
- [6] European New Car Assessment Programme - Test Protocol – Speed Assist Systems, Version 2.0
- [7] European New Car Assessment Programme - Test Protocol – Lane Support Systems, Version 3.0.2
- [8] Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) – Anlage VIIIa (§ 29 Absatz 1 und 3, Anlage VIII Nummer 1.2) – Durchführung der Hauptuntersuchung
- [9] Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) – Anlage VIII d (Anlage VIII Nummer 4) – Untersuchungsstellen zur Durchführung von Hauptuntersuchungen, Sicherheitsprüfungen, Untersuchungen der Abgase und wiederkehrenden Gasanlagenprüfungen

ITVS - Prof. Informationstechnik für Verkehrssysteme (TU Dresden)

- [BAS08] Fahrzeuggestützte Notrufsysteme (eCall) für die Verkehrssicherheit in Deutschland (Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen - Fahrzeugtechnik (F)), 2008
- [FES14] Cooperative Intelligent Transport Systems Standards in Europe, IEEE Communications Magazine, Festag, 2014
- [RIC13] Richter, R., Wolf, B., Michler, O.: *Evaluation of GNSS RF-Signal-Simulators and -Receivers based on Recorded Multi GNSS Signals in Scenarios of Traffic Telematics*. Proceedings of the 26th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS), Nashville, Tennessee, USA, 2013

Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme IVI

- [S1] EN 302 571 V2.1.1 (2017-02): „Intelligent Transport Systems (ITS); Radiocommunications equipment operating in the 5 855 MHz to 5 925 MHz frequency band; Harmonised Standard covering the essential requirements of article 3.2 of Directive 2014/53/EU“
- [S2] ETSI EN 302 637-2 V1.4.1 (2019-04): Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 2: Specification of Cooperative Awareness Basic Service“
- [S3] ETSI TS 102 894-2 V1.3.1 (2018-08): „Intelligent Transport Systems (ITS); Users and applications requirements; Part 2: Applications and facilities layer common data dictionary“
- [S4] ISO TS 19091 „Intelligent transport systems – Cooperative ITS – Using V2I and I2V communications for applications related to signalized intersections“. Technical Specification. Second Edition 2019-06
- [S5] ASAM OpenSCENARIO, <https://www.asam.net/standards/detail/openscenario/>
- [S6] ASAM OpenDRIVE, <https://www.asam.net/standards/detail/opendrive/>

HORIBA Europe GmbH

- Keine verwendet, nicht zutreffend.

DEKRA Automobil GmbH, Automobil Test Center

- ISO 22133
- UN ECE 152
- UN ECE 151
- UN ECE R79 Anhang 8

ZIGPOS GmbH

- Keine verwendet, nicht zutreffend.

Automobil Forschung Dresden GmbH

- [1] Euro NCAP (2019a): ASSESSMENT PROTOCOL – Safety Assist, *European New Car Assessment Programme*, (Version 9.1)
- [2] Euro NCAP (2019c): TEST PROTOCOL – AEB Car-to-Car systems, *European New Car Assessment Programme*, (Version 3.0.3).
- [3] Euro NCAP (2019f): TEST & ASSESSMENT PROTOCOL – Assisted Driving, *European New Car Assessment Programme*, (Version 1.0).
- [4] ISO/WD 22133-1:2019 (2019): (Working Document) Road vehicles — Test object monitoring and control for active safety and automated/autonomous vehicle testing —

Functional requirements, specifications and communication protocol, International Organization for Standardization, Geneva, Schweiz.

- [5] ISO15622:2018 (2018): Intelligent transport systems — Adaptive cruise control systems — Performance requirements and test procedures, International Organization for Standardization, Geneva, Schweiz.
- [6] ISO20035:2019 (2019): Intelligent transport systems — Cooperative adaptive cruise control systems (CACC) — Performance requirements and test procedures, International Organization for Standardization, Geneva, Schweiz.
- [7] United Nations Economic Commission for Europe (2020): UN Regulation No. 152 - Uniform provisions concerning the approval of motor vehicles with regard to the Advanced Emergency Braking System (AEBS) for M1 and N1 vehicles, Zugriff: 20.12.21, Available:
<https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2020/R152e.pdf>

Verkehrsunfallforschung an der TU Dresden GmbH

- Keine verwendet, nicht zutreffend.

TU Dresden – Professur Fahrzeugmechatronik (FZM)

Normen:

- ISO 11270:2014, ISO 15622:2018, ISO 16750:2018, ISO 22839:2013
- IEC 60068-2-27:2008, IEC 60068-2-64:2008

Fachliteratur:

- [1] Tan, K., Cheng, X.: Surface reflectance retrieval from the intensity data of a terrestrial laser scanner. In: Journal of the Optical Society of America, 2016.
- [2] Hasirlioglu, S., Riener, A.: Introduction to Rain and Fog Attenuation on Automotive Surround Sensors. In: 2017 IEEE 20th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2017.
- [3] Aust, P.: Entwicklung eines lidartypischen Objektlisten-Sensormodells, Masterthesis, Technische Universität Darmstadt, 2019

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

- nicht zutreffend

2 Eingehende Darstellung

Die Bearbeitung der Inhalte des Projektes ErVast erfolgte in den in Kapitel 1.3 dargestellten Arbeitspaketen. Zur Erhöhung der Übersichtlichkeit und Lesbarkeit werden die bearbeiteten Inhalte im Folgenden anhand der in Abbildung 5 dargestellten Topologie vorgestellt und detailliert beschrieben. Im Grundlagenteil werden verwendeten Methoden und die erzielten Ergebnisse erläutert, welche notwendig waren um Prüfkonzepte und Prüfscenarien abzuleiten und Grundlage für die weitere Entwicklung des Demonstrators des ErVast Gesamtsystems darstellen. Im Bereich Prüfstelle & Prüfstützpunkt werden alle Elemente im Detail beschrieben, die notwendig für die Umsetzung des Prüfablaufs sind. Das zentrale Element bildet hier das Prüfframework, welches die automatisierte Steuerung und Auswertung der durchgeführten Manöver ermöglicht.

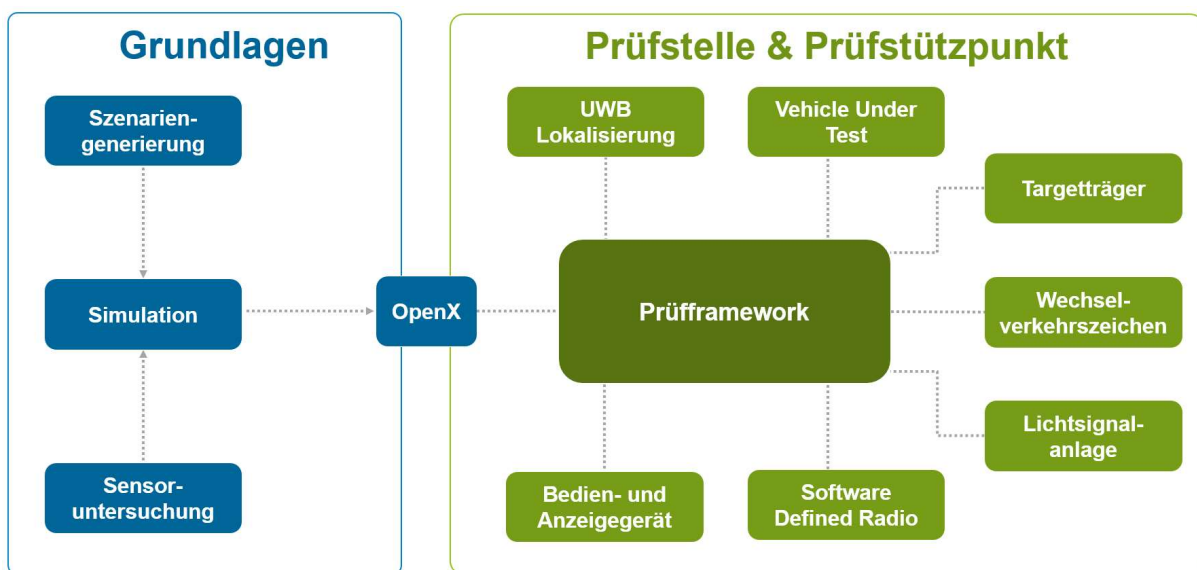


Abbildung 5: Vereinfachte Projekttopologie

2.1 Grundlagen

2.1.1 Szenariengenerierung

Um automatisierte und vernetzte Fahrfunktionen adäquat prüfen zu können, ist eine fahrzeugmodellsspezifische Gestaltung des Prüf szenarios notwendig. Diese Prüf szenarien müssen für die Untersuchung generiert werden. Im Projekt wurden zusätzlich zu bereits existierenden Homologationsvorschriften (z.B. ECE Regelungen) oder Testprotokollen (z.B. NCAP) auch Realfahrdaten und Unfalldaten für die Szenariengenerierung angewendet und verarbeitet.

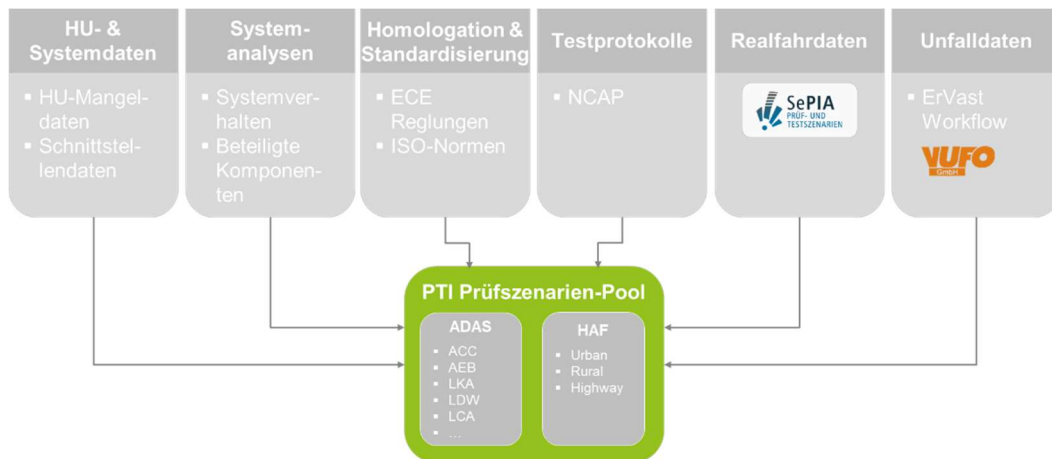


Abbildung 6: Übersicht Datenquellen

Ziel der Szenariengenerierung war es relevante und repräsentative Szenarien für den PTI Prüf szenarien-Pool zu entwickeln. Dabei war es wichtig, dass für ein Prüf szenario einerseits ein Parameterset entsteht, welches die Prüfenden in einem realen Prüf szenario anwenden können. Beispielsweise in welchem Geschwindigkeitsbereich muss die Prüfung erfolgen, oder soll eine Lenk- und/oder Bremsreaktion eingeleitet werden. Andererseits ist es notwendig die Szenarios virtuell zu simulieren, um beispielsweise den Platzbedarf für ausgewählte Szenarios zu ermitteln, um das Prüf szenario virtuell abzusichern (Machbarkeit) oder auch um den Targetträger anzusteuern. Im Folgenden werden Methodiken zur Überführung von Prüf szenarien aus unterschiedlichen Datenquellen dargestellt.

Realfahrdaten

Für die Entwicklung von Szenarien zur Prüfung automatisierter Fahrfunktionen ist das Normalfahrverhalten heutiger Fahrer im realen Straßenverkehr eine relevante Bezugsgröße. Im Projekt SePIA wurden in diesem Kontext standardisierte Prozesse zur Generierung von Prüf- und Testszenarien auf Basis realer Fahrdaten erzeugt. Die hierbei erzielten Ergebnisse lieferten wertvollen Input für die Erstellung der Szenarien im Projekt ErVast. Beispiele für einfache Szenarien für automatisierte Fahrfunktionen sind Kreuzungsszenarien ohne Lichtsignalanlagen oder Verkehrszeichen, bzw. die Anfahrt an Lichtsignalanlagen.

Testprotokolle, Homologationsvorschriften und Normen

Es existieren bereits einige Testprozeduren für assistierende Fahrzeugsysteme. Sowohl im Rahmen des Typgenehmigungsprozesses als auch in Verbraucherschutzprogrammen (z.B.: Euro NCAP) werden Szenarien beschrieben und Testbedingungen als Protokolle zur Durchführung formuliert. Im Rahmen des Projektes wurden auch diese Daten als Grundlage verwendet. Dabei erfolgte eine Analyse der Testprotokolle mit dem Ziel, die relevanten Parameter für die Prüfscenarien und Prüfbedingungen zu erhalten und in das Projektformat zu überführen. Eine Schwierigkeit für den ErVast Ansatz ist aktuell die Varianz der Funktionalität der Systeme verschiedener Fahrzeughersteller. Durch die zunehmende Regulierung der Systemfunktionalitäten und der damit vereinheitlichten Funktionalität lassen sich Prüfscenarien zukünftig auch fahrzeugmodellübergreifend ableiten.

HU & Systemdaten, Systemanalysen

Um den Prüforganisationen Vorgaben für die Durchführung der Hauptuntersuchung zur Verfügung stellen zu können, ist die detaillierte Kenntnis über die im Fahrzeug verbauten elektronischen Systeme, Daten der Fahrzeugdiagnose und Informationen über die verbauten Komponenten unerlässlich. Die Bereitstellung dieser Daten durch die Fahrzeughersteller ist europaweit über Regelung gesichert. Die Expertise im Umgang mit diesen Daten konnte im Projekt genutzt werden. Als Grundlage für die Erarbeitung von Prüfkonzepten erfolgte eine Metaanalyse von Bauteillageplänen und nutzbaren Diagnosedaten über die elektronische Fahrzeugschnittstelle.

Unfalldaten

Einen weiteren Schwerpunkt stellte die Szenariengenerierung auf Basis realer Unfalldaten dar. Als Datengrundlage wurde GIDAS (German In-Depth Accident Study) gewählt, da diese Datenbank mit ca. 38.300 Unfällen (Stand 30.06.2020) und rund 3.000 Einzelparametern pro Verkehrsunfall eine sehr hohe Detailtiefe besitzt. Die Datenbank enthält beispielsweise Informationen zu der Unfallumgebung (Ortslage, Straßenart und -markierungen, Wetterdaten), sowie Rekonstruktionsdaten der Unfallbeteiligten (z.B. Geschwindigkeiten und Beschleunigungen) welche für eine Szenariengenerierung von entscheidender Bedeutung sind. Zudem ist es möglich mit dieser Datenbank repräsentative Aussagen über das deutsche Unfallgeschehen zu treffen. Darüber hinaus bietet sich mit einer Kopplung zur Simulationsdatenbank GIDAS-PCM (Pre-Crash-Matrix) die Möglichkeit, detaillierte zeit- und orts aufgelöste Informationen zu den Trajektorien (Bewegungsbahnen der Schwerpunkte) der Unfallbeteiligten zu analysieren.

Zu Beginn wurden die Unfälle in GIDAS relativ auf das deutsche Unfallgeschehen 2019 gewichtet. Im Anschluss an die Gewichtung erfolgte eine Analyse auf Basis des Unfalltypes, sowie eine Einteilung in Szenario-Gruppen. Die Szenario-Gruppen setzten sich dabei wie folgt zusammen. Fokussiert wurde im Projekt das urbane Unfallgeschehen, also die Ortslage „innerorts“. Zudem sollen die Szenarien für eine PTI Prüfung eines PKW zum Einsatz kommen, weshalb mindestens ein PKW im Unfall beteiligt sein muss. Ferner sollen Assistenzsysteme, welche auf einen weiteren Beteiligten reagieren, untersucht werden, wofür mindestens ein weiterer Beteiligter im Unfall enthalten sein muss. Diese Filterkriterien beschränken den GIDAS-Datensatz im Rahmen des Projektes und führen zu einem ersten Ansatz eines unfallbasierten Prüfscenarienkatalog, welcher in Abbildung 7 veranschaulicht ist.

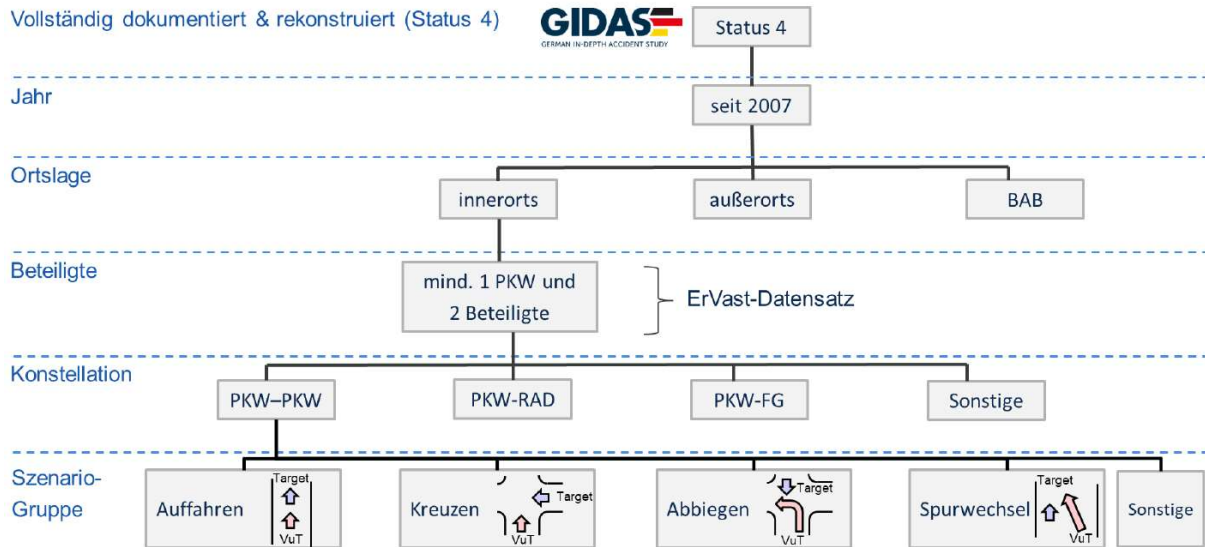


Abbildung 7: Unfallbasierter Prüfscenarienkatalog

Innerhalb der Projektdauer war es Ziel, prototypisch die Ableitung von Unfalldaten in Prüfscenarien zu realisieren. Daher wurde der Fokus auf PKW-PKW-Szenarien gelegt.

Für tiefgreifende Analysen und um auf Basis realer Unfalldaten Prüfscenarien (speziell Manöver und dazugehörige Dynamikdaten) ableiten zu können, ist es notwendig eine weitere Datenbank, die GIDAS-PCM, hinzuzuziehen. Diese Datenbank beinhaltet rekonstruierte, zeitabhängige Bewegungstrajektorien der Unfallbeteiligten basierend auf den Unfällen der GIDAS-Datenbank. Betrachtet werden dabei die Unfallabläufe der Beteiligten der ersten Kollision. Anhand der zeit- und ortsaufgelösten Trajektorien und den dazugehörigen hinterlegten Daten der Unfallbeteiligten eignet sich diese Datenbank für eine detaillierte Dynamikanalyse der Szenario-Gruppen. Zum Projektzeitpunkt enthielt die GIDAS-PCM ca. 10.300 Unfallszenarien. Für PKW-PKW-Kollisionen konnten insgesamt 1.951 Fälle für den ErVast-Datensatz adressiert werden.

Für die jeweiligen Szenario-Gruppen galt es weitere Cluster zur genaueren Beschreibung der Unfallszenarien zu erstellen, um diese hinsichtlich charakteristischer Merkmale zu analysieren. Für diesen Schritt war es notwendig einen Manöverkatalog mit definierten Grenzwerten zu entwickeln. In der folgenden Abbildung 8 ist der Manöverkatalog dargestellt.

MID	quer	längs	Bewegung	MID	quer	längs	Bewegung	MID	quer	längs	Bewegung
1	Gerade	Vorwärts	konstant	8	Links	Vorwärts	konstant	14	Rechts	Vorwärts	konstant
2	Gerade	Vorwärts	beschleunigt	9	Links	Vorwärts	beschleunigt	15	Rechts	Vorwärts	beschleunigt
3	Gerade	Vorwärts	verzögert	10	Links	Vorwärts	verzögert	16	Rechts	Vorwärts	verzögert
4	Gerade	Rückwärts	konstant	11	Links	Rückwärts	konstant	17	Rechts	Rückwärts	konstant
5	Gerade	Rückwärts	beschleunigt	12	Links	Rückwärts	beschleunigt	18	Rechts	Rückwärts	beschleunigt
6	Gerade	Rückwärts	verzögert	13	Links	Rückwärts	verzögert	19	Rechts	Rückwärts	verzögert
7	-	-	Stillstand								

Abbildung 8: Manöverkatalog

Der Manöverkatalog beschreibt die Bewegung und die Richtung (längs/quer) eines Beteiligten und ordnet sie einem Manöver-Identifikator (MID) zu. Damit ist es möglich jedem Beteiligten, zu jedem Zeitschritt, in der GIDAS-PCM eine MID zuzuordnen. Ziel ist es eine Szenario-Gruppe in Manövervarianten zu untergliedern, um die Manöver separat für das VUT und Target zu analysieren und zu beschreiben. Über die Analyse der Einzelmanöver und auch deren Kombination konnten diese Ergebnisse erfolgen. Einen Überblick über die zusätzlichen Manövervarianten zeigt Abbildung 9 .

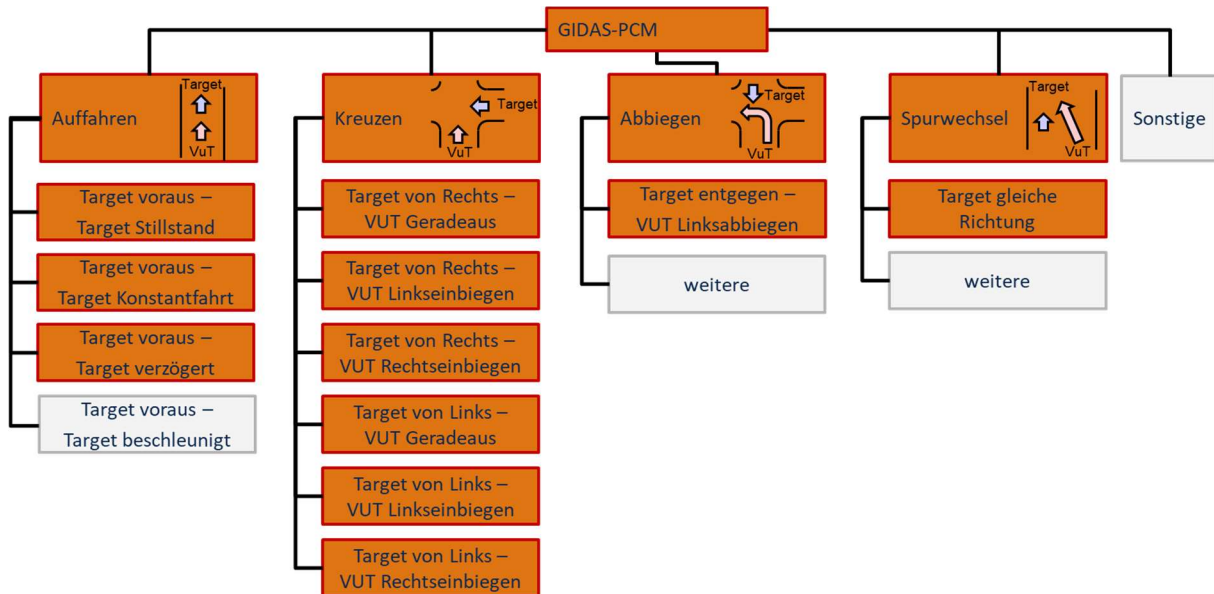


Abbildung 9: Manövervarianten in den Szenario-Gruppen

In der obigen Abbildung sind die analysierten Szenarien orange dargestellt, grau hinterlegte Szenarien wurden nicht berücksichtigt. Für sämtliche Cluster und deren Fälle ist eine eindeutige Zuordnung des VuT und dem Target enthalten. Dadurch können die separaten Dynamik- und Umgebungsanalysen erfolgen. Die GIDAS-PCM wurde hinsichtlich folgender Parameter analysiert:

- Trajektorien: Extraktion Trajektorien Prüfzenario
- Geschwindigkeiten
 - Ausgangsgeschwindigkeit: Start der Simulation
 - Initialgeschwindigkeit: Geschwindigkeit vor kritischem Szenario
 - Kollisionsgeschwindigkeit
- Fahrzeugbeschleunigungen
- Fahrzeugausrichtung
- Schwerpunktlagen der Fahrzeuge
- Zurückgelegte Distanzen der GIDAS-PCM

Mit den vorgestellten Werten der Dynamikanalyse ist es möglich verschiedene Fragestellungen zu beantworten. Beispielsweise:

- Welche Geschwindigkeitsbereiche sollten betrachtet werden?
- Welche Bewegungstrajektorien sollten geprüft werden?
- Welcher Platzbedarf wird für verschiedene Szenarien benötigt?
- Welche dynamischen Anforderungen lassen sich für das Target ableiten?

Diese Analysen liefern jedoch keine Auskunft über die Rahmenbedingungen der Prüfumgebung für ein Szenario. Mit Hilfe der angestellten Umgebungsanalyse können hierzu weitere Anhaltspunkte beigesteuert werden.

Für die Umgebungsanalyse wurde grundsätzlich der gleiche Datensatz wie für die Dynamikanalysen ausgewertet, jedoch wurde hier auf relevante Parameter der GIDAS-Datenbank zurückgegriffen.

Mit der Umgebungsanalyse können einerseits Informationen zum gesamten Szenario, z.B. Lichtverhältnisse, Infrastruktur extrahiert werden. Zudem können Aussagen, welche nur für das VuT oder nur für das Target gelten, z.B. Anzahl der Fahrstreifen oder Straßenbreite getroffen werden. Folgende Größen wurden untersucht.

- Lichtverhältnisse
- Infrastruktur
- Anzahl der Fahrstreifen
- Fahrstreifenanordnung
- Straßen- und Fahrstreifenbreite
- Markierung Fahrstreifen
- Straßenzustand und -oberfläche
- Art der Verkehrsregelung
- Zulässige Höchstgeschwindigkeit / Art der Geschwindigkeitsbegrenzung
- Sichtbehinderung / Art der Sichtbehinderung

Alle analysierten Parameter wurden in Form von Diagrammen und Datentabellen gespeichert und dienen als Parametersets für die Erstellung realer und virtueller Prüfszenarien. In der folgenden Abbildung sind Auswertungsbeispiele dargestellt.

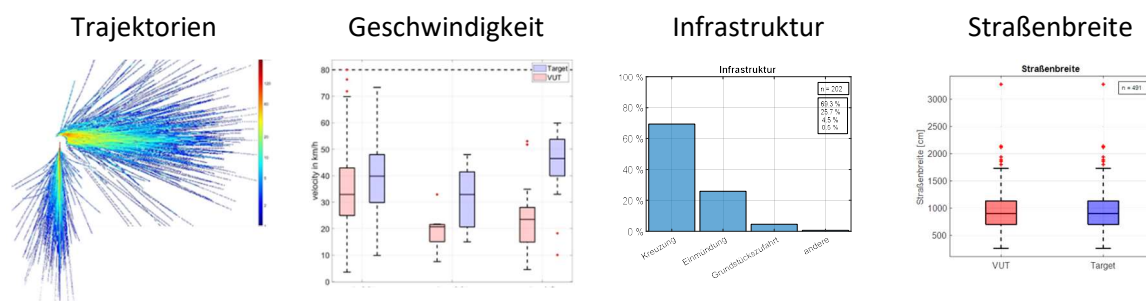


Abbildung 10: Auswertungsbeispiele

Auf Basis der Parametersets wurde eine Methode entwickelt, welche eine Überführung von konkreten, realen Unfällen hin zu generischen Prüfszenarien ermöglicht. Dabei hat sich gezeigt, dass eine automatisierte Überführung aufgrund der Komplexität, Vielzahl an Möglichkeiten der Umsetzung und nicht vollständig definierten Zielgrößen bis zum Projektende nicht möglich war. Das bedeutet, für eine sinnvolle Anwendung und Weiterverarbeitung der Parametersets ist Expertise notwendig.

Für die Überführung in CarMaker sowie OpenDRIVE / OpenSCENARIO wurden drei Szenarien ausgewählt:

- Auffahren – Target voraus, Target verzögert
- Spurwechsel – Target gleiche Richtung
- Abbiegen – Target entgegen, VuT Linksabbiegen

Für alle drei genannten Szenarien konnten, basierend auf den Median-Werten der Datenanalysen, CarMaker, sowie OpenDRIVE und OpenSCENARIO Daten erstellt und erfolgreich getestet werden. Des Weiteren wurde eine Variation der Dynamikwerte für das Szenario „Auffahren – Target voraus, Target verzögert“ in CarMaker vorgenommen. Dabei wurden drei Variationen an dem Szenario vorgenommen, wobei ein Parameter je Variation verändert wurde:

- Verzögerung des Targets
- Initialgeschwindigkeiten des VuT
- Variation der Trajektorien

Entscheidend ist nach der Variation die Prüfung des neu generierten Szenarios. Ziel dieser Prüfung ist die Kollisionsvermeidung durch einen spezifischen Systemeingriff. Die Simulation konnte erfolgreich für die drei Variationen in CarMaker durchgeführt werden.

Abschließend wurde geprüft, ob die Werte der Dynamikanalyse mit dem Target-Träger realisierbar sind. Dabei wurden die technischen Daten des Target-Trägers mit dem Boxplot-Werten der Dynamik-Analyse des gesamten ErVast-Datensatzes und anschließend mit dem gesamten GIDAS-PCM 2020-1 Datensatz verglichen. Hierzu wurde das Maximum folgender Parameter betrachtet:

- Geschwindigkeit
- Verzögerung
- Längsbeschleunigung
- Querbeschleunigung

Untenstehende Abbildung zeigt die Ergebnisse der Analyse des ErVast-Datensatzes. In der Spalte „Realisierbarkeit“ steht die Variable „0“ für nicht realisierbar und „1“ für realisierbar durch das Target.

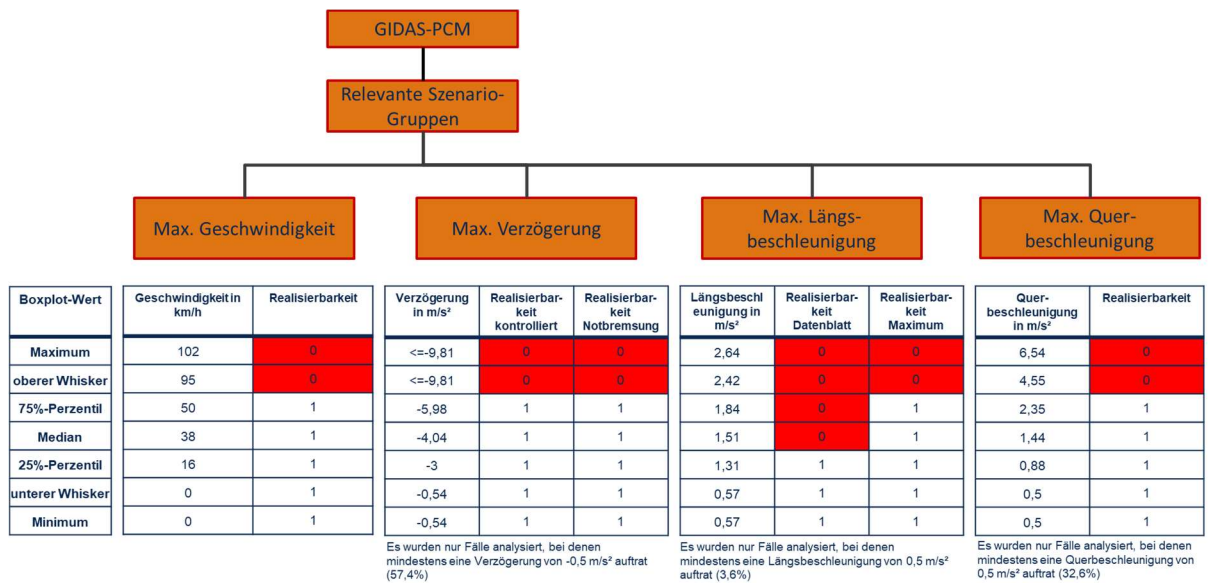


Abbildung 11: Übersicht Dynamik Realisierbarkeit des Targets

Die Ergebnisse zeigen, dass mit dem Targetträger nicht alle möglichen Dynamik-Größen, aber ein großer Teil der Daten, abgebildet werden kann.

Zusammenfassung Szenariengenerierung

Es konnte gezeigt werden, dass für die Ableitung von Prüfscenarien für die HU eine breite Datengrundlage genutzt werden konnte. Die verschiedenen Datenquellen adressieren teilweise überschneidende Schwerpunkte der Prüfung, sodass eine Ableitung benötigter Szenarien nicht eindeutig möglich ist.

Im Bereich der Unfallanalyse konnte gezeigt werden, dass die angewendete Methodik tauglich für die Erarbeitung von Szenarien zur Prüfung kritischer Fahrzustände ist. Diese können beispielsweise für die Prüfung von AEB- Systemen zum Einsatz kommen.

Im Projekt sollen vornehmlich Szenarien erarbeitet werden, die eine Prüfung an der überwiegenden Anzahl der heutigen Prüfstellen und Prüfstützpunkte ermöglicht. Aus diesem Grund wurde eine Teilmenge aus den sich ergebenden möglichen Szenarien abgeleitet und für die weitere Betrachtung und Umsetzung in Form eines realen Demonstrators fokussiert.

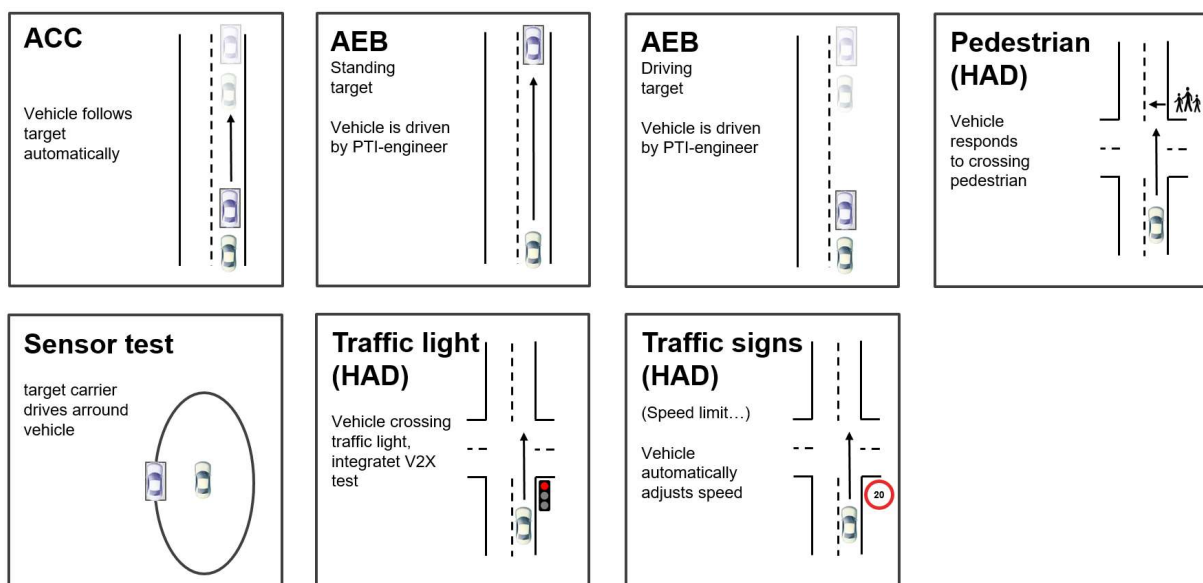


Abbildung 12: Abgeleitete Grobszenarien für weitere Betrachtungen

2.1.2 Sensoruntersuchung

Um die Vielzahl an unterschiedlichen Fahrmanövern im Verkehr und die verschiedenen potenziell im Fahrzeug verbauten Sensorsysteme (Kombination aus Kamera, LiDAR und Radar) bei der Erarbeitung geeigneter Prüfscenarien für die PTI zu berücksichtigen, bietet sich die Verwendung einer Gesamtfahrzeugsimulation an. Anhand dessen besteht die Möglichkeit, Bewegungstrajektorien für den Prüfbetrieb vor der tatsächlichen Umsetzung zu konzipieren und zu testen. Mithilfe von messdatenbasierter Parametrierung ist die Modellierung der Umfoldsensoren mit im Vergleich zu realen Fahrversuchen deutlich geringerem Aufwand zu bewältigen und bietet darüber hinaus dennoch die Möglichkeit, eine realitätsnahe Stimuli für HAF-Funktionen in Echtzeit abzubilden. Zur Bedienung dieses Modells sowie zur Untersuchung des Funktions- und Degradationsverhaltens unter diversen Umwelteinflüssen wurden am Lehrstuhl Fahrzeugmechatronik Versuche mit relevanten Umfoldsensoren durchgeführt. Die Ergebnisse und die weitere Verwendung dieser Messungen wird im Folgenden detailliert beschrieben.

Datenbasiertes, phänomenologisches LiDAR-Sensormodell

Zur Abbildung relevanter Umfeldsensoren eignet sich die Entwicklung eines datenbasierten, phänomenologischen LiDAR-Sensormodells, welches das tatsächliche Detektionsvermögen realer LiDAR-Sensoren abbildet und gleichzeitig die Rechenperformanz listenbasierter Ansätze beibehält. Eine Erhöhung der Modellierungsgenauigkeit und Annäherung an das reale Sensorverhalten versprechen folgende Aspekte:

- Verzicht auf empirische Radarrückstreuquerschnitte, deren Inkompatibilität das Detektionsvermögen des LiDAR-Sensormodells stark verfälscht
- Abbildung des real vermessenen LiDAR-Sensor-Detektionsvermögens im phänomenologischen Modell

Phänomenologische Modelle basieren auf idealen Sensormodellen und überlagern die Ground Truth entsprechend der Rausch- und Dämpfungseffekte mit einem Fehlersignal. Sie stellen einen Kompromiss aus Genauigkeit und Aufwand dar. Als Ground Truth-Ausgangsbasis dient das ideale Sensormodul der Simulationssoftware IPG CarMaker. Das phänomenologische Modell wiederum ist in Matlab Simulink implementiert und mithilfe einer vorhandenen Schnittstelle in CarMaker eingebunden. Das Modell verwendet einen datenbasierten Ansatz, wobei das tatsächliche Sensorverhalten direkt aus realen Fahrdaten extrahiert wird. Für diesen methodischen Ansatz ist es notwendig die Sensoren umfassend zu vermessen. Diese Messergebnisse stellen die Real-Datenbasis dar.

Methodik

Der Ablaufplan des entworfenen LiDAR-Sensormodells ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

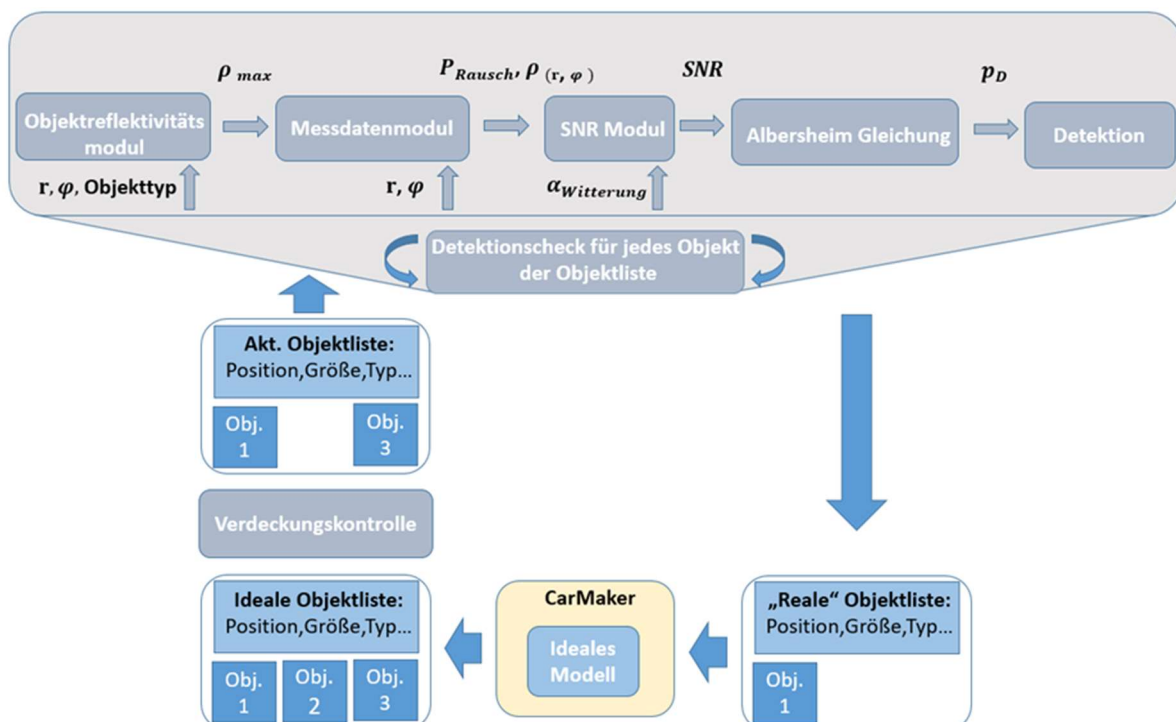


Abbildung 13: Ablaufplan LiDAR Sensormodell

Als Eingangswerte erhält das Sensormodell in jedem Zeitschritt die vom idealen CarMaker-Sensor detektierten Objekte im Listenformat. Die ideale Objektliste wird zunächst verkleinert, indem verdeckte Zielobjekte entfernt werden (Verdeckungskontrolle). Es entsteht eine aktualisierte Objektliste. Anschließend folgt die Ermittlung der maximalen Materialreflektivität ρ_{max} des

Zielobjekts (Objektreflektivitätsmodul). Verkehrsteilnehmer weisen in der Regel eine Vielzahl an Oberflächenmaterialien auf, ausschlaggebend ist jedoch die bestrahlte Oberfläche mit dem höchsten Rückstreupotenzial. Nach der Reduktion des komplexen Zielobjekts erfolgt im Kernbaustein des Sensormodells, dem Messdatenmodul, die Berücksichtigung des tatsächlichen Detektionsvermögens. Unter anderen dient dieses Modul als Schnittstelle für die Implementierung von Alterungserscheinungen. Mithilfe des Signal-Rausch-Verhältnisses (SNR), dem Verhältnis aus zurückgestrahlter, vom Detektor empfangener Leistung P_r und Rauschleistung P_n , werden die Dämpfungswerte verschiedener Niederschlagsarten für LiDAR-Sensoren berücksichtigt und somit Witterungseinflüsse $\alpha_{Witterung}$ wie Sonne, Regen oder Nebel abgebildet. Im Anschluss wird mittels Albersheim Gleichung die Detektionswahrscheinlichkeit ermittelt, wobei ein hoher SNR-Wert eine bessere Detektion des Zielobjektes zur Folge hat. Ist die Detektionswahrscheinlichkeit p_D des Zielobjekts bekannt, lässt sich mit Hilfe der Bernoulli-Verteilung ermitteln, ob das Zielobjekt detektiert wurde oder nicht. Der Iterationsvorgang schließt mit einem Update der Objektliste ab. Wurden alle Einträge der Objektliste aktualisiert, erfolgt die Rückgabe der aktualisierten Objektliste an das ideale Sensormodul in CarMaker.

Messplanung

Als Grundlage für die Messplanung gilt folgender Zusammenhang:

$$I \sim P_R \sim \frac{C \rho \cos(\theta)}{R^2}$$

I - Intensität	ρ - Materialreflektivität
P_R - Empfangsleistung	θ - Einfallswinkel
C - Konstante	R - Distanz

In der Realanwendung detektiert der Sensorempfänger die vom Zielobjekt zurückgestreuten Photonen und wandelt die empfangene Lichtleistung in einen diskreten Spannungsverlauf um. Die detektierte Intensität entspricht dem Maximalwert oder Integral über dem aufgezeichneten Spannungsimpuls und kann durch die Berücksichtigung der Empfängerfläche in die Empfangsleistung überführt werden. Die skalierten, vom LiDAR-Sensor ausgegebenen Intensitätswerte I korrelieren demzufolge mit der Empfangsleistung P_r . Letztere beinhaltet einen konstanten und drei variablen Termen. Die Konstante C basiert auf der Annahme, dass sich Sensorparameter und Umgebungsbedingungen im Laufe einer Messkampagne nicht verändern. Bei den variablen Termen handelt es sich um:

- den Kosinus des Einfallswinkels des Laserstrahls $\cos(\theta)$
- die Distanz zwischen Sensor und Zielobjekt R
- die Materialreflektivität ρ .

Bei der Untersuchung der Winkelabhängigkeit (Einfallswinkel Laserstrahl) wird die Winkelstellung des Targets variiert. Die Variation findet bei einer konstanten Entfernung von $R = 10\text{ m}$ im Innenbereich statt. Der kleinste Winkel ist 0° , der größte 70° . Die Schrittweite beträgt 2° . Die Untersuchung der Entfernungsabhängigkeit wiederum wird bei einer konstanten Winkelstellung des Targets von $\theta = 0^\circ$ im Außenbereich durchgeführt. Der Mindestabstand zwischen Sensor und Zielobjekt beträgt 2 m . Dieser Wert wird schrittweise erhöht, bis der gewählte Maximalabstand von 60 m erreicht ist. Die Untersuchung des Einflusses verschiedener Materialien auf den Sensor wird mit zahlreichen Zielobjekten abgebildet. Diese lassen sich untergliedern in die Kategorien: Lackvariationen, Diffuse Reflexionstargets mit unterschiedlichen Reflektivitäten, Überblendtarget bestehend aus verschiedenen Oberflächen und Verkehrsobjekte.

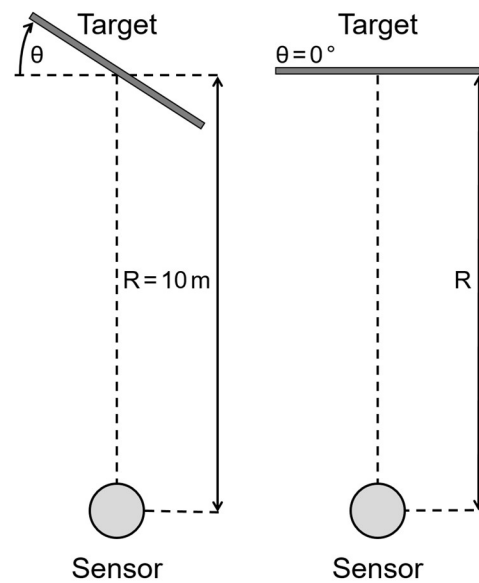


Abbildung 14: Untersuchung der Winkel- und Entfernungsabhängigkeit

Untersuchung der Sensoren

Vor dem Start der Messkampagne ist die Auswahl eines geeigneten Prüflings erforderlich. Es sind grundlegende Untersuchungen mit einem Ouster OS2-64-U, einem Hesai Pandar40P, einem Velodyne VLP-16 und einem Valeo Scala durchgeführt worden. Der Sensor von Valeo hat sich für das weitere Vorgehen nicht geeignet, da dieser keine Intensität ausgibt. Dieses Signal ist jedoch zur Bewertung eines Sensors essenziell. Im weiteren Auswahlverfahren ist ein Überblendtarget herangezogen worden, welches im oberen Teil der folgenden Darstellung zu sehen ist. Im unteren Teil der Abbildung 15 ist die dazugehörige Punktwolke des OS2-64-U zu erkennen.

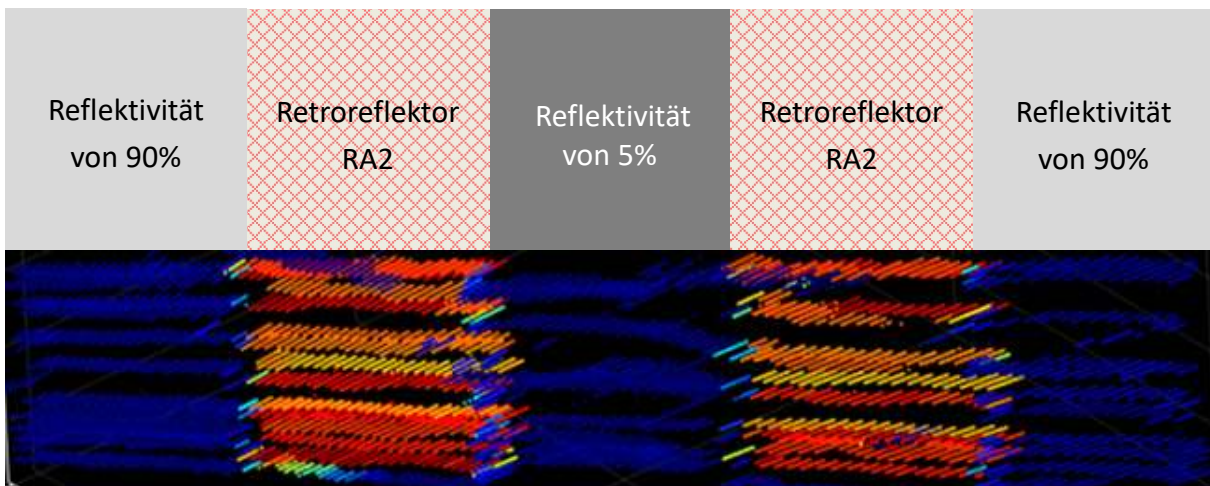


Abbildung 15: Aufbau des Überblendtargets (oben) und dazugehörige Punktwolke des OS2-64-U (unten)

Das Target besteht aus 5 Einzeltargets:

- Diffuses Reflexionstargets mit 90% Reflektivität
- Retroreflektor mit Reflexionsklasse RA2
- Diffuses Reflexionstargets mit 5% Reflektivität
- Retroreflektor mit Reflexionsklasse RA2
- Diffuses Reflexionstargets mit 90% Reflektivität

Die Vermessung des Targets hat ergeben, dass der LiDAR von Ouster sich am besten für die Untersuchung der Winkel-/Entfernungs Genauigkeit sowie den Intensitätsverlauf eignet. Daher ist für die Durchführung der Messkampagne ein Ouster OS1-32-G beschafft worden, an dem sowohl der potenziell störende Einfluss der Sonne als auch die Degradation durch Schwingungsanregung untersucht worden ist.

Die folgende Tabelle zeigt den Umfang der durchgeführten Untersuchungen. Mit insgesamt fünf Sensoren haben Messungen stattgefunden. Jedoch stand ausschließlich der OS1-32-G dauerhaft zur Verfügung. Die anderen Sensoren waren immer nur zeitlich begrenzt verfügbar.

Tabelle 2.1.1: Übersicht der durchgeführten Messungen

Sensor		OS1-32-G	OS1-64-U	OS2-64-U	Pandar40P	VLP-16
Targets	Diffuse Reflexionstargets	x	x	x	-	-
	Lackvariationen	x	x	x	x	x
	Verkehrsobjekte	x	x	-	-	-
	Überblendtarget	-	-	x	x	x
Messinhalte	Winkelabhängigkeit	x	x	x	x	x
	Entfernungsabhängigkeit	x	x	x	-	-
	Schwingungsanregung	x	-	-	-	-
	Sonnensimulation	x	-	-	-	-

Einfluss der Sonneneinstrahlung auf das Detektionsvermögen von LiDAR-Sensoren

Für die Betrachtung der Sonne als Störquelle sind zwei Szenarien denkbar. Zum einen besteht die Möglichkeit, dass die Sonne den Sensor bestrahlt. Dies ist beispielsweise in der Dämmerung der Fall, wenn die Sonne tief steht und dadurch den Sensor von vorn bestrahlt.

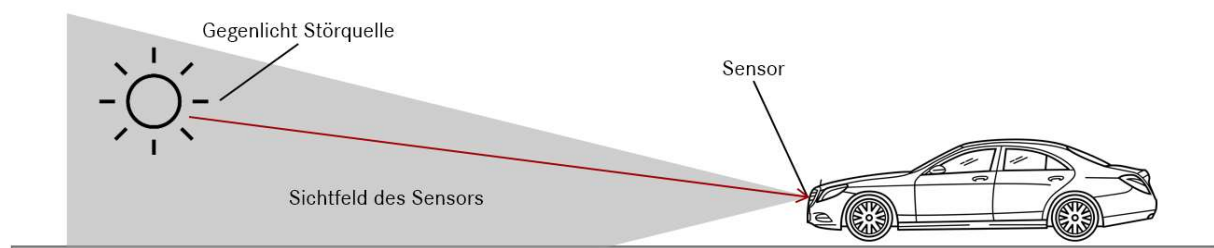


Abbildung 16: Sonne als direkte Störquelle

Zum anderen kann es vorkommen, dass die Sonne ein Target bestrahlt. Als Target ist in diesem Fall ein Verkehrsteilnehmer/Objekt zu verstehen, welches durch den Sensor erfasst und detektiert wird. Dieser Anwendungsfall ist zum Beispiel ein durch die Sonne bestrahltes Verkehrsschild. Die Lichtquelle ist in diesem Szenario also hinter dem Fahrzeug.

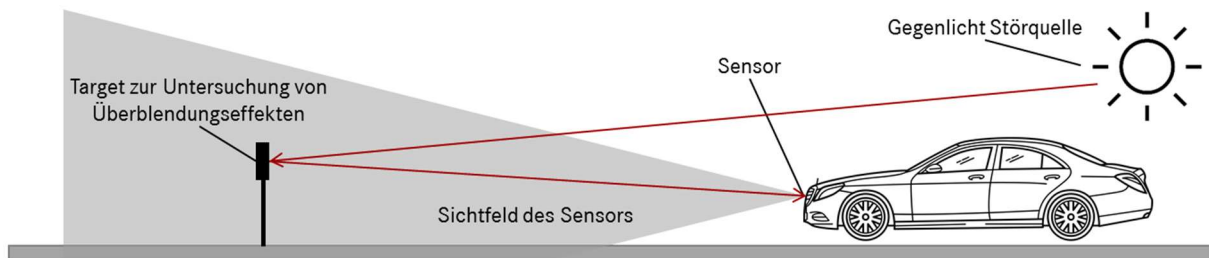


Abbildung 17: Sonne als indirekte Störquelle

Bei beiden Versuchsanordnungen sind folgende Parameter untersucht worden:

- Oberflächenbeschaffenheit des Zielobjekts ρ
- Distanz zwischen Sensor und Zielobjekt R
- Horizontaler Einfallswinkel der Strahlung α_{hor}
- Vertikaler Einfallswinkel der Strahlung α_{ver}
- Beleuchtungsstärke E_v (Abstand zwischen Lichtquelle und Sensor bzw. Zielobjekt)

Zur Simulation der Sonne ist ein Strahler des Typs SOL 1200 der Firma Dr. Hönle AG UV Technologie verwendet worden, welcher das Wellenspektrum der Sonne abbildet.

Als Ergebnis der Parameterstudie ist herausgekommen, dass die künstliche Sonnensimulation keinen signifikanten Einfluss auf den Sensor hat. Um dieses Resultat zu veranschaulichen, ist im Folgenden exemplarisch die Untersuchung der Beleuchtungsstärke für beide Versuchsanordnungen dargestellt. Als Sensor ist ein OS1-32-G und als Target ein diffuses Reflexionstarget mit einer Reflektivität von 91% verwendet worden. Die Streuung der Intensitätswerte ist bei beiden Versuchsreihen minimal, wirkt eher zufällig als systematisch. Daher ist festzuhalten, dass die Beleuchtungsstärke keinen direkten Einfluss auf das Detektionsverhalten des Sensors hat. Der Eindruck, dass die direkte Störquelle das Verhalten des Sensors negativ bzw. die indirekte positiv beeinflusst, trügt. Das ist anhand der Intensitätswerte bei der Beleuchtungsstärke $E_v = 0 \text{ klx}$ (keine Bestrahlung) zu erkennen. Beide Versuchsreihen unterscheiden sich allgemein in ihrem Intensitätsniveau. Ein Grund dafür konnte während der Versuchsdurchführung bzw. der Auswertung nicht ermittelt werden.

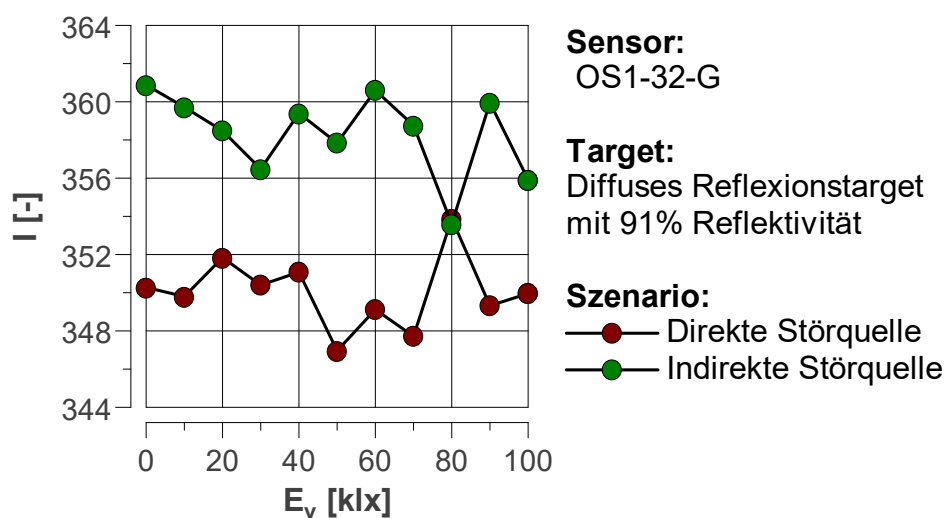


Abbildung 18: Untersuchung des Einflusses der Beleuchtungsstärke auf das Detektionsvermögen von LiDAR-Sensoren

Alterungsuntersuchungen am Schwingungsprüfstand

Die Degradation durch Schwingungsanregung ist mittels eines Schwingungsprüfstands des Modells A11 Eco der Firma IMV Europe Ltd. durchgeführt worden. Als Prüfling ist der OS1-32-G verwendet worden. Der Prüfzyklus ist der Norm IEC 60068-2-64:2008 entnommen und lautet: Broadband Random Test TableA5 Category1. Gekennzeichnet ist ein solcher Zyklus durch drei Parameter: die Amplitude, die Frequenz und die Dauer.

Für die Alterung des Sensors ist eine Prozedur entwickelt worden. Diese besteht aus zwei Phasen, die abwechselnd durchgeführt werden. Zu Beginn wird der Prüfling der Schwingungsbeanspruchung ausgesetzt. Im Anschluss finden dann Vergleichsmessungen statt. Dabei wird die Detektionsfähigkeit des LiDAR sowohl hinsichtlich der Winkel- als auch der Entfernungsabhängigkeit bei einer mit blauen Jeansstoff bespannten Holzplatte untersucht. Das Zielobjekt symbolisiert einen Passanten, dem potentiell am gefährdetsten Verkehrsteilnehmer. Als Prüfdauer beim Zyklus sind 16h ausgewählt worden, dem doppelten Wert im Vergleich zur Norm. Das hat den Vorteil, dass tagsüber die Vergleichsmessungen stattfinden können und im Anschluss über Nacht die Schwingungsbeanspruchung durchgeführt werden kann.

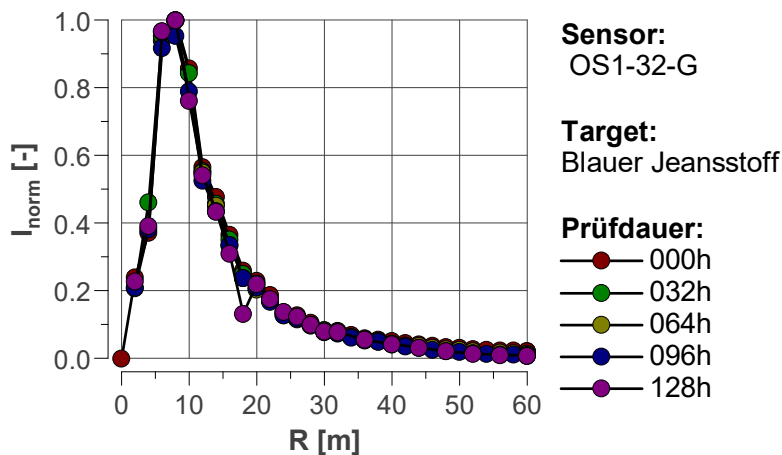


Abbildung 19: Darstellung des normierten Intensitätsverlaufs über dem Winkel nach unterschiedlichen Zeitpunkten der Alterung

Das oben dargestellte Diagramm zeigt den normierten Intensitätsverlauf I_{norm} über der Distanz zwischen Sensor und Zielobjekt R . Der Übersicht halber sind nur 5 Versuchsreihen abgebildet. Vergleichsmessungen haben alle 16h stattgefunden. Insgesamt ist der Sensor einer Schwingungsbeanspruchung von 128h ausgesetzt worden. Ein tatsächlicher Alterungseffekt ist jedoch nicht zu erkennen. Der einzelne Ausreißer bei der Messreihe nach einer Gesamtbeanspruchung von 128h kann entweder den äußeren Umgebungsbedingungen (Durchführung des Messinhalts im Freien) oder dem Rauscheinfluss geschuldet sein. Die erzielten Ergebnisse der Alterungsuntersuchungen am Schwingungsprüfstand gelten ausschließlich für den gewählten Sensor und sind nicht allgemeingültig. Für künftige Untersuchungen an diesem Prüfling muss der Zyklus hinsichtlich seiner drei Parameter gegebenenfalls angepasst werden, um eine erkennbare Degradation zu bewirken.

Erkenntnisse aus den Sensorvermessungen

Ein Großteil der dargestellten Ergebnisse ist sensorspezifisch und kann nicht als allgemeingültig angesehen werden. Aus diesen Gründen bedarf es der Vermessung einer Vielzahl an Sensoren, um schlussendlich von sensorspezifischen zu allgemeingültigen Aussagen zu gelangen.

Erste Untersuchungen hinsichtlich des Einflusses von Temperatur und Feuchte auf die Leistungsfähigkeit von LiDAR-Sensoren sind trotz verspäteter Lieferung des Klimaprüfschranks Discovery vom Typ DM 600C durch die Firma ATT Umweltsimulation GmbH durchgeführt worden. Die bisherigen Ergebnisse haben jedoch keinen signifikanten Einfluss erkennen lassen. Diesbezüglich und auch in Hinblick auf die Alterungsuntersuchungen mittels Schwingungsprüfstand müssen in Zukunft noch weitere Versuche stattfinden. Dabei muss sowohl die Einzelprüfung von Schwingungs- und Klimabeanspruchung als auch die kombinierte Prüfung beider Einflüsse betrachtet werden. Speziell Letzteres ist für die Zukunft unerlässlich, um reale Einsatzszenarios abbilden zu können (bspw. die Fahrt bei -20°C auf einer Schlechtwegstrecke). Des Weiteren darf die Sonne trotz der bisherigen Erkenntnisse als Einflussgröße auf LiDAR-Sensoren nicht vernachlässigt werden. Hinsichtlich Alterungserscheinungen ist es denkbar, dass aufgrund von Sonneneinstrahlung eine Ermüdung im Werkstoff (z.B. Sensorgehäuse) und dadurch eine Beeinträchtigung des Strahlengangs auftreten kann.

2.1.3 Simulation

Simulative Entwicklung synthetischer Prüfzenarien für Assistenz- und Automatisierungsfunktionen

Bei der Entwicklung von Prüfzenarien stellen sich verschiedene Herausforderungen. Zum einen gilt es, das begrenzte Platzangebot heutiger Prüfstellen zu berücksichtigen. Aus diesem Grund werden die Prüfzenarien jeweils für ein kleines Prüffeld ähnlich einer heutigen Prüfstelle mit einer 30 Meter langen Strecke und ein großes Prüffeld, wie dem DEKRA Automobil Test Center, entworfen. Zum anderen müssen die zugrundeliegenden Manöver so ausgelegt sein, dass sie in der Realität umsetzbar sind. Hierbei gilt es einen zweckmäßigen Ablauf der Szenarien zu erarbeiten (Orchestrierung). Zuletzt stellt sich noch die Frage, wie sich Witterung und gealterte Sensoren auf die Umsetzbarkeit der Prüfzenarien im Rahmen der HU auswirken.

Die Prüfzenarien werden virtuell entwickelt, das heißt mit Hilfe von Simulationen. Hierzu werden im Simulationswerkzeug IPG CarMaker das kleine bzw. große Prüffeld jeweils durch ein Szenario mit 30 m bzw. 400 m langer Strecke modelliert. In beiden Fällen handelt es sich um eine Fahrbahn mit 2 Fahrstreifen von jeweils 3,5 m Breite. Sofern möglich, wird das Vehicle under Test (VuT) durch den Tempomaten auf die vorgegebene Zielgeschwindigkeit gebracht. In allen anderen Fällen wird das VuT durch den amtlich anerkannten Sachverständigen oder Prüflingenieur beschleunigt. Dabei wird ein Fahrermodell mit folgenden Eigenschaften verwendet:

- Beschleunigung mit konstanter Gaspedalstellung von 70 %
- Aufbau Pedalwert innerhalb 1 s beginnend bei 0 %
- Zielgeschwindigkeit durch SpeedControl-Regler gehalten

In der Simulation wird das VuT als generischer Kompaktwagen parametrisiert: Das Fahrzeug besitzt ein Gewicht von 1300 kg, ein Automatikgetriebe, ein maximales Drehmoment von 185 Nm und ist 4,28 m lang, 1,8 m breit und ca. 1,6 m hoch. Der Targetträger wird mit den Abmaßen 3,47 m Länge, 1,63 m Breite sowie 1,25 m Höhe und auf Grundlage der technischen Eckdaten des Targetträgers UFO Pro der Firma Humanetics modelliert:

- maximale Längsbeschleunigung: $1,4 \text{ m/s}^2$,
- maximale Querschleunigung: 3 m/s^2 ,
- maximale Geschwindigkeit: 85 km/h.

Im Ergebnis wurden mit der Simulation neun Prüfscenarien für drei ausgewählte Assistenzsysteme entwickelt (siehe Tabelle 2.1.2). Mit Hilfe von Parametervariationen wurden die darstellbaren Parameterbereiche (maximale Beschleunigungen, Geschwindigkeiten, nötige Abstände etc.) für die beiden Teststrecken unter unterschiedlichen Umgebungsbedingungen ermittelt.

Tabelle 2.1.2: Entwickelte synthetische Prüfscenarien

Assistenzsystem	Prüfscenarien
Notbremsassistent	Adaption der Euro NCAP Szenarien CCRs, CCRm und CCRb
	Querender Fußgänger in Anlehnung an Euro NCAP CPNA Szenario
	Querendes Fahrzeug auf Kreuzung
Abstandsregeltempomat	Folgefahrt und Bremsen bis Stillstand (ähnlich CCRb)
	Langsames Target schert vor VuT ein (Cut-In)
	Target schert vor stehendem Hindernis aus (Cut-Out)
Spurhalteassistent	Lenkeingriff bei Geradeausfahrt

Szenarien für den Automatischen Notbremsassistent

Mit der ISO 22839:2013(E) wird ein internationaler Standard für Systeme zur Vermeidung von Auffahrunfällen, kurz Notbremsassistent, definiert. Demnach soll ein Notbremsassistent, englisch Autonomous Emergency Braking (AEB), nicht nur die Schwere eines nicht mehr zu verhindernden Auffahrunfalls reduzieren, sondern auch die Wahrscheinlichkeit von Auffahrunfällen insgesamt. Hierzu gibt es laut Standard drei mögliche Gegenmaßnahmen:

- Kollisionswarnung (obligatorisch für jeden Notbremsassistenten);
- Geschwindigkeitsreduktion, um dem Fahrer mehr Zeit zur Beurteilung und Reaktion auf eine potenziell gefährliche Situation einzuräumen;
- Gefahrenbremsung, um eine bevorstehende Kollision abzumildern oder zu verhindern.

Je nach Konfiguration kann ein Notbremsassistent entweder nur eine der letzten beiden Maßnahmen oder beide besitzen. Ob Gegenmaßnahmen ausgelöst werden, hängt von der Enhanced-Time-To-Collision und von der Time-To-Collision ab. Beide Größen müssen unter einen bestimmten Schwellwert fallen, damit Gegenmaßnahmen ausgelöst werden können. Darüber hinaus macht der Standard keine genauen Vorgaben zu den Auslösebedingungen, womit sich die Systeme von Hersteller zu Hersteller unterscheiden können. Zwar definiert der Standard weitere Anforderungen, wie z. B. einen zulässigen Geschwindigkeitsbereich, jedoch lassen diese einen gewissen Spielraum bei der Auslegung eines Notbremsassistenten. Dies erschwert die Entwicklung universeller Prüfscenarien insbesondere für das kleine Prüffeld. Beispielsweise können Systeme, die erst ab einer Geschwindigkeit von 30 km/h funktionieren nur bei einer Prüfstelle mit ausreichend Platz geprüft werden. Zudem können Unterschiede in der Auslegung dazu führen, dass sich die Systeme in bestimmten Prüfscenarien unterschiedlich verhalten, das heißt manche verhindern eine Kollision und andere nicht.

Bei dem in CarMaker implementierten Notbremsassistenten handelt es sich um ein generisches System nach Winner: Handbuch Fahrerassistenzsysteme, 2009, Kapitel 33. Standardmäßig ist eine maximale Verzögerung a_{\max} von 8 m/s^2 und ein Mindestabstand von 5 m eingestellt. Sobald der Mindestabstand unterschritten wird, regelt das System a_{\max} ein. Ansonsten löst das System aus, sobald die Time-To-Collision (bei stehendem oder langsam fahrendem Target) bzw. die Enhanced-Time-To-Collision (bei bremsendem Target) unter einen Schwellwert sinkt. Darüber hinaus gibt der Notbremsassistent zwei Kollisionswarnungen aus, sobald die ETTC bzw. die TTC unter einen jeweiligen Schwellwert sinkt (standardmäßig zwei und eine Sekunde). Eine Geschwindigkeitsreduktion im Sinne der ISO 22839:2013(E) lässt sich mit dem CarMaker-Notbremsassistenten nicht modellieren.

Insgesamt wurden fünf Szenarien für das kleine Prüffeld mit 30 m langer Strecke entwickelt:

- Annäherung an stehendes Target (angelehnt an Euro NCAP Car-2-Car stationary);
- Folgefahrt bei der das Target plötzlich verzögert (angelehnt an Euro NCAP Car-2-Car braking);
- Annäherung an langsam vorausfahrendes Target (angelehnt an Euro NCAP Car-2-Car moving);
- Gehender Fußgänger quert die Fahrbahn von der Beifahrerseite (angelehnt an Euro NCAP Car-2-Pedestrian Nearside Adult);
- Querverkehr aus Einmündung von der Beifahrerseite (basierend auf ECE R152).

Zur Veranschaulichung der Vorgehensweise wird nachfolgend das Fußgänger-Szenario näher erläutert. Hierbei startet das VuT am Anfang der Strecke bei $s = 0 \text{ m}$. Das Target startet am Ende der Strecke bei 29 m auf dem Fußgängerweg (rechter Fahrbahnrand) bei -5 m (entspricht lateralem Abstand von 3,085 m zwischen Mittelpunkt von VuT und Fußgänger). Der Reihe nach laufen folgende Manöver ab:

1. VuT Beschleunigt auf variierte Zielgeschwindigkeit;
2. VuT hält Geschwindigkeit nahezu konstant;
3. Target beschleunigt auf 5 km/h innerhalb von 0,5 m sobald der longitudinale Abstand unter eine berechnete Schranke (abhängig von VuT- sowie Targetgeschwindigkeit und lateralem Abstand) fällt;
4. Target bewegt sich mit konstanter Geschwindigkeit (in der Simulation wird die Position des Targets in jedem Simulationsschritt vorgegeben, das heißt es wird schrittweise verschoben);
5. AEB löst beim Annähern auf querendes Target die Notbremsung aus.

Mit einer Parametervariation wurde eine maximal darstellbare Zielgeschwindigkeit von 25 km/h ermittelt. Dabei muss ein valides Szenario folgende Bedingungen erfüllen:

- VuT erreicht Zielgeschwindigkeit,
- kollidiert nicht mit dem Target und
- AEB hat ausgelöst.

Bei einer Zielgeschwindigkeit von 30 km/h dauert die Beschleunigungsphase zu lange: Das Target erreicht den Fahrkorridor erst, wenn das VuT bereits am Ende der Strecke angelangt ist, sodass keine Notbremsung ausgelöst wird. Je niedriger die Zielgeschwindigkeit gewählt wird, desto mehr Zeit bleibt dem Prüflingenieur, bei Bedarf manuell zu bremsen (siehe Abbildung 20)

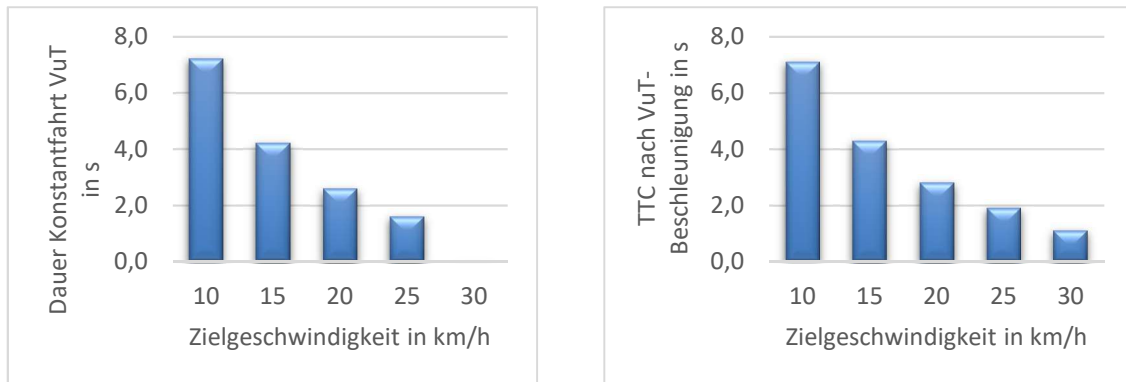


Abbildung 20: Simulationsergebnisse der Parametervariation für Notbremszenario mit querendem Fußgänger. Mit steigender Zielgeschwindigkeit sinkt die Dauer der Konstantfahrt und die Time-To-Collision nach abgeschlossener Beschleunigung.

Szenarien für den Abstandsregeltempomaten

Ein Abstandsregeltempomat, englisch Adaptive Cruise Control (ACC), automatisiert die Längsführung des Fahrzeugs auf Straßen, auf denen keine Fußgänger und kein nicht-motorisierter Verkehr zulässig sind. Das System hält die Geschwindigkeit bzw. den Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug konstant, indem er das Fahrzeug beschleunigt oder abbremst. Beide Größen stellt der Fahrer im Rahmen zulässiger Grenzen ein. Neben diesen Grenzen definiert die ISO 15622:2018(E) einige Anforderungen, die auch für die Entwicklung von Prüfscenarien relevant sind, z. B. minimale Zeitlücke, Mindestabstände, Geschwindigkeitsbereiche etc.

CarMaker besitzt einen generischen Abstandsregeltempomaten, bei dem ein PI-Regler die longitudinale Beschleunigung vorgibt. Seine Führungsgröße (Sollbeschleunigung) wird aus dem Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug und der longitudinalen Geschwindigkeitsdifferenz berechnet. Neben den Fahrereingaben (Zeitlücke und Sollgeschwindigkeit) kann man dem System eine konstante minimale bzw. maximale Beschleunigung (nicht geschwindigkeitsabhängig) und einen Mindestabstand zum vorausfahrenden Fahrzeug (standardmäßig 20 m) vorgeben. Zwar nennt die ISO 15622:2018(E) ebenfalls einen solchen Parameter, spezifiziert ihn allerdings nicht. Daher wird der Mindestabstand auf die vorgeschriebene minimale Detektionsreichweite von 4 Metern gesetzt.

Nachfolgend wird ein Szenario für das kleine Prüffeld mit 30 m Streckenlänge vorgestellt. Da Abstandsregeltempomaten laut ISO 15622:2018(E) nicht zwingend auf stationäre Hindernisse reagieren müssen, erscheint die Folgefahrt dicht hinter einem plötzlich in den Stillstand bremsenden Target als zweckmäßiges Szenario. Beim vergleichbaren AEB-Szenario hat sich gezeigt, dass hier Geschwindigkeiten von bis zu 20 km/h darstellbar sind. Im Unterschied dazu wird das VuT nun nicht mehr durch den Prüflingenieur, sondern durch den Abstandsregeltempomaten beschleunigt. Hierfür wird das ACC-System gemäß ISO 15622:2018(E) mit der maximalen Beschleunigung bzw. Verzögerung für eine Geschwindigkeit von 5 m/s parametrisiert. Dieses Szenario setzt voraus, dass der Abstandstempomat bis zum Stillstand operieren kann.

Das VuT startet am Anfang der Strecke bei $s = 0$ m und das Target startet an einer *variieren Position* vor dem VuT. Folgende Manöver werden bei diesem Szenario durchlaufen:

1. VuT wird durch ACC auf eine *varierte Zielgeschwindigkeit* beschleunigt;
2. Target beschleunigt gleichzeitig auf dieselbe Zielgeschwindigkeit mit $1,4 \text{ m/s}^2$;
3. VuT und Target halten ihre Geschwindigkeit konstant;

4. Target verzögert mit 5 m/s^2 sobald es die Position $s = 23 \text{ m}$ erreicht;
5. ACC bremst VuT ab, sobald Zeitlücke von $0,8 \text{ s}$ unterschritten wird.

Durch Parametervariationen werden die validen Wertebereiche für die Zielgeschwindigkeit und die Startposition des Targets ermittelt. Tabelle 2.1.3 zeigt, welche Werte die Kriterien für ein valides Szenario erfüllen. Es zeigt sich, dass auf der kurzen Strecke mit 30 m Länge höchstens eine Zielgeschwindigkeit von 15 km/h darstellbar ist. Je nach initialem Abstand zum Target liegt die TTC nach Erreichen der Zielgeschwindigkeit zwischen $1,5 \text{ s}$ und $2,1 \text{ s}$.

Tabelle 2.1.3: Kriterien für ein valides Prüfszenario (rot = Kriterium nicht erfüllt)

Longitudinale Target-Startposition in m	7,5			10			12,5			15		
	10	15	20	10	15	20	10	15	20	10	15	20
Zielgeschwindigkeit in km/h												
VuT erreicht Zielgeschwindigkeit	Green	Green	Red	Green	Green	Red	Green	Red	Red	Red	Red	Red
Target erreicht Zielgeschwindigkeit	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
Target steht vor Streckenende (29 m)	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
Keine Kollision mit Target	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green

Szenario für den Spurhalteassistenten auf gerade Strecke

Ein Spurhalteassistent soll laut ISO 11270:2014 den Fahrer beim sicheren Halten der Fahrspur unterstützen. In der Literatur findet man einige Testprozeduren, unter anderem auch in der vorgenannten Norm. Die meisten beinhalten ein provoziertes Verlassen des Fahrstreifens auf gerader Strecke bei einer Längsgeschwindigkeit von rund 20 m/s , wobei die laterale Bahngeschwindigkeit im Bereich von $0,1 \text{ m/s}$ bis $0,6 \text{ m/s}$ liegen und die Fahrbahnmarkierung um einen gewissen Betrag überfahren werden muss. Basierend auf diesen Randbedingungen wurde ein Prüfszenario auf gerade Strecke entwickelt.

Zuerst beschleunigt das VuT aus dem Stillstand mittels Abstandsregeltempomat auf die Zielgeschwindigkeit. Nach einer Zeitdauer von 2 s mit konstanter Geschwindigkeit lenkt der Prüflingenieur das Fahrzeug in Richtung einer Fahrspurmarkierung. Anschließend greift der Spurhalteassistent ein und steuert das VuT wieder in die Mitte der Fahrspur. Sobald ein mögliches Schwingen um die Fahrspurmitte abgeklungen ist, bremst der Prüflingenieur das VuT in den Stillstand.

Bei einer Zielgeschwindigkeit von 75 km/h benötigt man für das Prüfszenario eine Strecke von 390 m . Die nötige Streckenlänge hängt maßgeblich von der Zielgeschwindigkeit, der Beschleunigung und bei höheren Geschwindigkeiten von der Dauer der Konstantfahrt ab. Bei einer Geschwindigkeit von 75 km/h legt das VuT innerhalb von 2 s eine Strecke von rund 42 m zurück.

Phänomenologisches LiDAR-Modell zur Simulation von Niederschlag

Basierend auf Sensorvermessungen wurde ein phänomenologisches Sensormodell für verschiedene Umwelteinflüsse entwickelt. Die beiden Diagramme in Abbildung 21 stellen zum einen die Detektionswahrscheinlichkeit p_D über der Entfernung zum Zielobjekt für einen Fußgänger und zum anderen für einen PKW dar. Leichter Regen entspricht einer Niederschlagsmenge von $0,25 \text{ mm/h}$, mäßiger Regen von 25 mm/h und starker Regen von 150 mm/h . Die Verläufe zeigen: Je größer die Niederschlagsmenge ist, desto stärker wird die Detektionsfähigkeit des LiDAR eingeschränkt. Den größten Einfluss stellt der Nebel ($0,1 \text{ g/m}^3$) dar. Im Vergleich zu sonnigen Umgebungsbedingungen reduziert sich die Detektionsreichweite bei einem Fußgänger im Schnitt um 40 m und bei einem PKW

um 60m. Die dargestellten Verläufe gelten jedoch nur für einen speziellen Sensor und sind nicht allgemeingültig. Für jeden Sensor muss somit eine separate Vermessung durchgeführt werden, um die Grenzverläufe zu ermitteln.

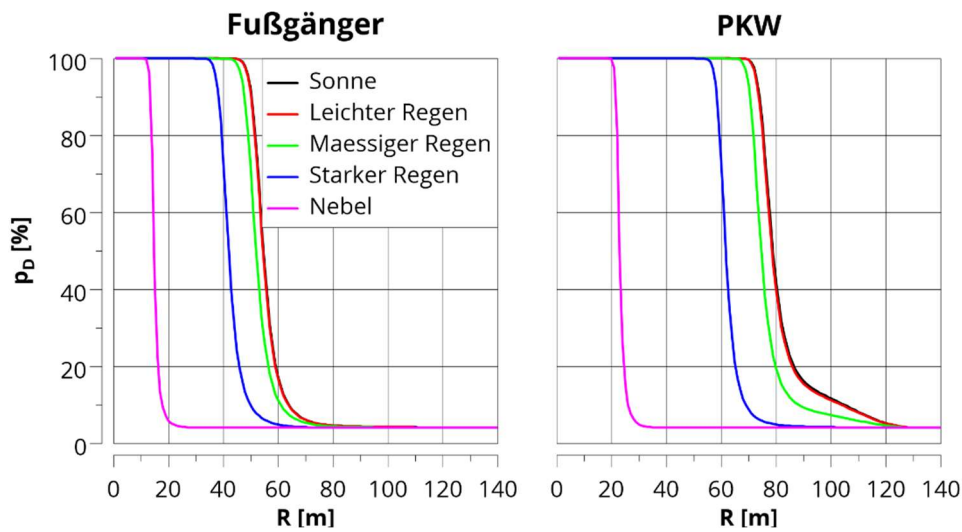


Abbildung 21: Detektionswahrscheinlichkeit p_D in Abhängigkeit zur Zielentfernung R für verschiedene Umwelteinflüsse. Bei Nebel sinkt die Detektionsreichweite des LiDAR drastisch.

Anhand dieser Erkenntnisse wird deutlich, dass die entwickelten Prüfscenarien möglicherweise durch Niederschlag und Nebel eingeschränkt werden können. Dies trifft insbesondere auf die ACC-Szenarien für das große Prüffeld zu, weil das Target hier aufgrund der hohen Geschwindigkeiten in größerer Entfernung detektiert werden muss. Um die Auswirkungen in der Simulation messbar zu machen, wird ein phänomenologisches Modell des LiDAR-Sensors in Matlab/Simulink implementiert und über eine vorhandene Schnittstelle in die CarMaker-Simulation eingebunden.

Vor dem Hintergrund der sinkenden Detektionsreichweite bei Regen und Nebel stellt sich die Frage, ob der Parameterraum des Cut-In Prüfscenarios eingeschränkt wird. Hierzu wird die Entfernung zum Target in dem Moment, in dem der Abstandsregeltempomat auf die langsamere Geschwindigkeit des Targets abbremst, für unterschiedliche Witterungsbedingungen untersucht. Bei der Ausgangssituation ohne Niederschlag (Sonne) erkennt man, dass der Abstandsregeltempomat bei den untersuchten Zielgeschwindigkeiten stets in einer Entfernung von weniger als 40 m den Bremsvorgang einleitet. Mit Blick auf Abbildung 21 sind daher nur bei Nebel nennenswerte Unterschiede zu erwarten, was auch von den Simulationsergebnissen bestätigt wird (siehe Abbildung 22). Hier sinkt die Entfernung beim Bremsengriff des ACC auf unter 20 m. Dennoch kommt es in keinem Fall zu einer Kollision. Jedoch steigt bei hohen Zielgeschwindigkeiten der nötige Streckenbedarf aufgrund des späteren Bremsengriffs deutlich an. Bei Regen sind in diesem Szenario keine Einschränkungen durch die verringerte Detektionsreichweite zu erwarten.

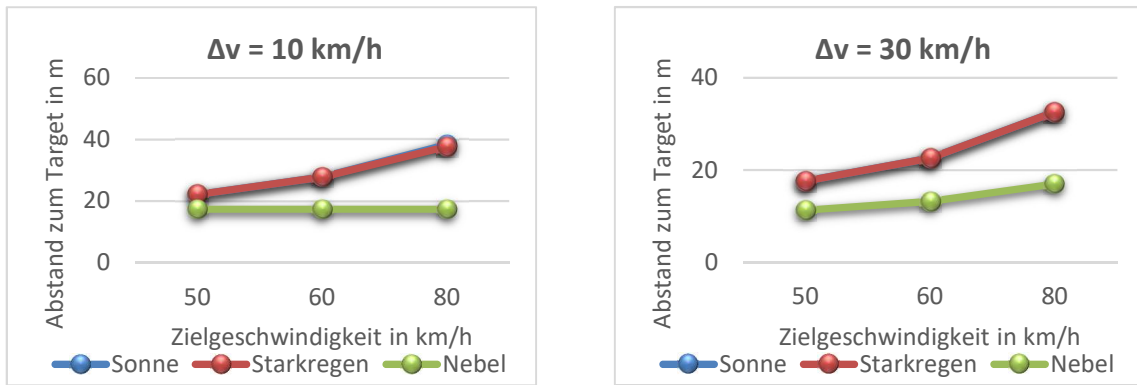


Abbildung 22: Abstand zum vorausfahrenden Target beim Bremsen durch den Abstandsregeltempomat im Cut-In Szenario bei unterschiedlicher Witterung. Im betrachteten Geschwindigkeitsbereich ist erst bei Nebel ein relevantes Absinken der Detektionsreichweite zu beobachten, was sich durch einen wesentlich späteren Bremsen eingriff äußert (VuT fährt dichter auf das Target auf).

Analog wurde das Cut-Out Szenario für unterschiedliche Niederschlagsmengen untersucht. Im Unterschied zum Cut-In Szenario wird hier nur die Zielgeschwindigkeit des vorausfahrenden Targets, dem das VuT mittels Abstandsregeltempomat folgt, variiert. Abbildung 23 stellt die Time-To-Collision und die Entfernung zum stehenden Hindernis im Moment des Bremsen eingriffs für unterschiedliche Witterungsbedingungen dar. Auch in diesem Szenario sinkt die Entfernung bis zum Bremsen eingriff auf das stehende Hindernis bei Nebel auf knapp unter 20 m. Dies bewirkt eine drastisch sinkende TTC. Ab 40 km/h reicht die Verzögerung des ACC nicht mehr aus, um eine Kollision mit dem stehenden Hindernis zu vermeiden. Bei Starkregen reduziert sich ab 50 km/h zwar bereits die Detektionsreichweite, zur Kollision kommt es hier aber noch nicht.

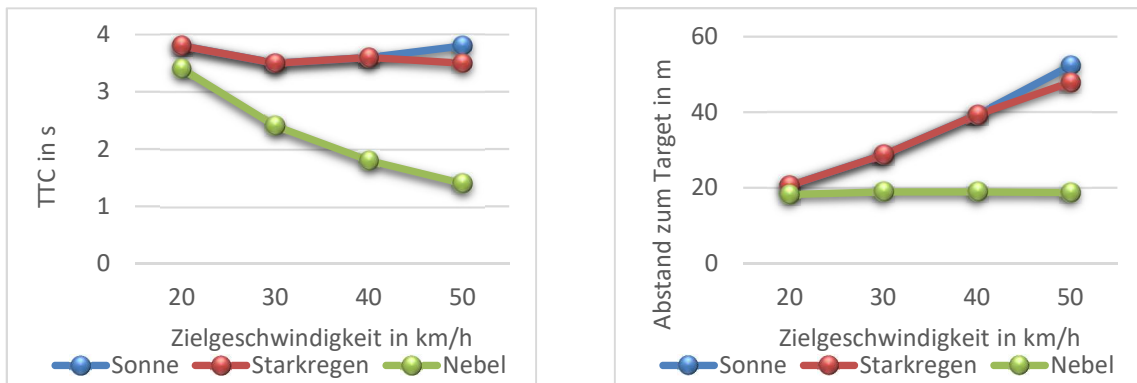


Abbildung 23: Abstand zum vorausfahrenden Target beim Bremsen durch den Abstandsregeltempomat im Cut-In Szenario bei unterschiedlicher Witterung. Bei Nebel kann das ACC ab einer Geschwindigkeit von 40 km/h die Kollision mit dem Target nicht mehr verhindern.

Erkenntnisse aus der Simulation

Durch Simulation der zuvor entwickelten Manöver konnte gezeigt werden, dass die Abbildung von Prüfzenarien auch in einer räumlich begrenzten Prüfungsumgebung wie einer Prüfzelle oder einem Prüfstützpunkt prinzipiell möglich ist. Die Parametrierung und Einbindung des phänomenologischen Sensormodells zeigt, dass bei Versuchen in höheren Geschwindigkeitsbereichen auf großen Testfeldern eine Funktionseinbuße durch Umwelteinflüsse zu erwarten ist.

Die in der Gesamtfahrzeugsimulation ermittelten Parameter der Szenarien für eine Teststrecke von 30m bieten die Grundlage für die reale Umsetzung der Manöver.

2.1.4 Validierung des Gesamtansatzes

Die Validierung des Gesamtansatzes soll die in der Szenariengenerierung ermittelten und in der Simulation parametrisierten Szenarien, sowie die Ergebnisse der Sensoruntersuchungen stützen und einen prinzipiellen Nachweis über die Erkennung von Fehlern in der Umfeldsensorik und damit auch in den Fahrfunktionen liefern. Die Validierung des Gesamtansatzes erfolgte auf dem Testgelände der DEKRA in Klettwitz.

Auswahl von Fahrscenarien

Die im folgenden untersuchten Szenarien und Manöver orientieren sich an den Versuchen, die heute bereits im Rahmen der NCAP Bewertung durchgeführt werden. Hierfür kommen dynamische Verkehrselemente in Form von Targetträgern mit Testtargets zum Einsatz. Es soll gezeigt werden, dass eine Beeinträchtigung, oder Verstellung eines Sensors durchaus eine Auswirkung auf die korrekte Umgebungserkennung haben kann, auch wenn die Eigendiagnose des Fahrzeuges diese nicht erkannt hat. Der Fahrer eines solchen Fahrzeuges würde von einer korrekten Funktion des Systems ausgehen, könnte jedoch in einer kritischen Fahrsituation nicht auf den vollen Funktionsumfang vertrauen. Das Potential zur Erhöhung der Verkehrssicherheit durch die Verwendung von assistierenden oder automatisierten Fahrfunktionen könnte entsprechend nicht ausgeschöpft werden.



Abbildung 24: Validierung des Gesamtansatzes auf dem DEKRA Testgelände in Klettwitz

Für die Validierung der Notbremsfunktion in Hinblick auf Nah- und Weitsicht des Systems wurden die longitudinalen Versuchsszenarien CPLA-50 (Car to Pedestrian longitudinal mit 50 Prozent Overlap) sowie CCRs (Car-to-Car Rear stationary) gewählt. Diese bieten dem AEB System die Schwierigkeit des frühzeitigen Erkennens eines vorausstehenden Objektes in Form eines Fußgänger- oder PKW-Targets. Im Falle der folgenden Versuchsreihe mit verstellter Kamera ist dies insbesondere für die verstellte Nickachse problematisch da hierbei eine Verschlechterung der Nah- oder Fernsicht des Kamerasystems eintreten kann. Der Geschwindigkeitsbereich für das zu prüfende Fahrzeug beginnt bei 10 km/h und erstreckt sich bis 80 km/h. Die niedrige minimale Anfahrtsgeschwindigkeit stellt eine gute Skalierbarkeit für ein geringes Platzangebot dar. Ebenfalls denkbar ist je nach verfügbarem Platz auch ein bewegtes Target zu wählen. Dabei ist das Szenario CCRm (Car-to-Car Rear moving) denkbar bei dem das zu prüfende Fahrzeug (VuT) mit einer höheren Geschwindigkeit als die Plattform von hinten auf das Target auffährt. Ebenso das Szenario CCRb (Car-to-Car Rear braking) bei dem die Plattform vor dem Fahrzeug fahrend plötzlich mit einer definierten negativen Beschleunigung bremst. In beiden Fällen entstehen jedoch ein erhöhter Platzbedarf und Arbeitsaufwand. Der Geschwindigkeitsbereich der CCRm Szenarien beginnt bei 30 km/h und reicht ebenfalls bis 80 km/h für das zu prüfende Fahrzeug. Das Target fährt dabei mit 20 km/h konstant voraus. Auch diese Geschwindigkeitsbereiche und die daraus resultierende Differenz lässt sich problemlos bei geringeren Anfahrtswegen skalieren. Im Falle des Szenario CCRb fahren sowohl das VuT als auch das Target mit

50 km/h, wobei ein Abstand von 12m oder 40m eingehalten wird und mit -2 m/s^2 oder -6 m/s^2 verzögert wird. Auch dieses Szenario kann auf eine niedrigere Geschwindigkeit angepasst werden, jedoch ergeben sich durch die höheren Geschwindigkeiten und Abstandswerte auch insgesamt höhere Anfahrtswege.

Für die Betrachtung der lateralen Szenarien wurden die Szenarien CPNA (Car-to-Pedestrian Nearside Adult) und CPNC (Car-to-Pedestrian Nearside Child) gewählt und erweitert. Diese wurden mit einem Overlap von 50 Prozent gefahren, wobei der Fußgänger von der Nearside (Beifahrerseite) die Straße quert. Innerhalb dieser Szenarien kann insbesondere ein verstellter Gierwinkel des Kamerasystems die Leistung des Systems deutlich einschränken, da deren Sichtfeld aus dem Anfahrtsweg des Targets verschoben wird. Der Geschwindigkeitsbereich beginnt hierbei bereits bei 10 km/h für das zu untersuchende Fahrzeug und bei 5 km/h für das Target. Der sich daraus ergebende Platzbedarf ist gut skalierbar und auch auf kleineren Prüfflächen umsetzbar. Innerhalb der CPNC Szenarien wird ein Hindernis (Obstruction) eingesetzt, aus dessen Verdeckung das Kindertarget hervorgelaufen kommt. Dies stellt eine besondere Schwierigkeit für das Kamerasystem dar, da die mögliche Detektionszeit und daraus folgende Reaktionszeit deutlich verkürzt wird. Um die folgenden Untersuchungen hinsichtlich des Einflusses des Kamerawinkels zu erweitern, wurde zusätzlich das CPNA Szenario um einen weiteren Versuch mit Verdeckung sowie die CPNC Szenarien um einen weiteren Versuch ohne Verdeckung erweitert. Die Erweiterungen der Szenarien hinsichtlich der Untersuchungen sind jedoch nur eine Anlehnung an die bekannten Euro NCAP Verfahren.

Ermittlung Kalibriergrenzen Kamera

Für die praktische Untersuchung wurde ein VW Golf VIII als Versuchsfahrzeug gewählt. Dessen Kamerasystem ist hinter der Windschutzscheibe ohne zusätzliches Prisma befestigt. Zunächst wird über einen Kalibrierprüfstand (MAHLE TechPRO® Digital ADAS 2.0) die originale Kameraposition bestimmt. Dafür wird eine Kalibrierung angestoßen und die Korrekturwerte der Kalibrierung in Gier-, Nick- und Rollachse sowie der Kamerahöhe festgehalten. Nach dem Ausbau der Kamera wurde der festverklebte Kamerahalter entfernt und die Kamera auf einer 2-Achs Gimbal Konstruktion befestigt. Der Gimbal kann dabei über zwei verbaute Digitalservos in Nick und Gierachse verstellt werden. Die Rollachse wird in den Versuchen nicht betrachtet. Die in der Abbildung 25 zusehende Konstruktion wurde hinter der Windschutzscheibe befestigt, sodass die originale Kameraposition erreicht werden konnte.



Abbildung 25: Kamera auf 2-Achsgimbal

Um zunächst den Ausgangszustand reproduzieren zu können, wurde die Kamera experimentell in ihrer Nick- und Gierachse verstellt, bis der Prüfstand dieselben Korrekturwerte wie bei dem serienmäßigen Verbau ausgab. Anhand der damit entstehenden Winkelwerte der Servomotoren, konnte eine

Grundkalibrierung durchgeführt werden. Diese dient der ordnungsgemäßen Kalibrierung in Ausgangslage, von der aus die Verstellung in den Achsen geschieht. Im nächsten Schritt sollten die benötigten Kalibriergrenzen angefahren werden. Diese werden für die spätere Verstellung vor dem Fahrversuch genutzt, um die Kamera am Rande der Kalibriergrenzen zu testen. Dafür wird schrittweise die Kamera in einer Achse verstellt und eine Kalibrierung angestoßen. Sollte der Prüfstand dabei den Fehler „Kalibriergrenzen überschritten“ anzeigen, wird die Kamera mit auf die vorherige Position zurückgefahren und erneut eine Kalibrierung angestoßen. Die Kalibrierung wird jedoch nicht in das Steuergerät geschrieben um die Verstellung ohne anschließende Kalibrierung darstellen zu können. Die Winkelwerte der Servomotoren werden auch hier notiert und für die späteren Fahrversuche hinterlegt. Dies wird in der anderen Richtung der jeweiligen Achse wiederholt, sodass sich am Ende zwei maximale Winkelwerte pro Achse ergeben. Aus der Untersuchung ergab sich eine Kalibriergrenze von etwa $\pm 2,8$ Grad in jeder Achse. Dabei ließ die Kamera eine Verstellung von unter $\pm 2,8$ Grad ohne jegliche Fehlermeldungen in der Eigendiagnose zu und somit keinerlei für den Fahrer oder Prüflingenieur sichtbare Funktionseinschränkung vorlag.

Untersuchung Leistungsverlust Kameraverstellung innerhalb Kalibriergrenzen

Die Untersuchungen hinsichtlich des Leistungsverlustes bei einer Verstellung der Kamera innerhalb ihrer Kalibriergrenzen ohne anschließende Kalibrierung wurde auf einer Grundlage von Beispielen aus dem Straßenverkehr gewählt, bei der die Kamera verstellt wurde. Dabei handelt es sich beispielsweise um einen Scheibentausch, bei dem aus Kostengründen auf eine anschließende Kalibrierung verzichtet wird oder auch der Änderung der Fahrwerksgeometrie und der damit einhergehenden Änderung der Kameraposition. Dabei sollte ein verstelltes Kamerasystem, welches keine Kalibrierung erhielt und keinen Fehler durch die Eigendiagnose erkannte, mit einem korrekt verbauten und kalibrierten System verglichen werden. Dazu wurden zunächst geeignete Verstellungsszenarien geplant, wobei es sich hierbei um die Verstellung in der Gier- und Nickachse handelte. Die Gierachse wurde gewählt, da eine Verschlechterung der Sicht zum jeweiligen zu betrachtenden Fahrbahnrand vermutet wurde. Hierbei sind insbesondere querende Fußgängerszenarien interessant, bei dem die Kamera zum entgegengesetzten Fahrbahnrand schaut. Die Nickachse wurde hingegen aufgrund der verschlechterten Nah- und Fernsicht des Kamerasystems gewählt. Hierbei sind insbesondere die longitudinalen Szenarien von Interesse da diese eine frühzeitige Erkennung eines frontal erscheinenden Objekts benötigen. Sollte hierbei das Blickfeld der Kamera zu sehr auf den Boden gerichtet sein, fehlt die benötigte Weitsicht der Kamera, um das Objekt rechtzeitig zu erkennen. Anschließend sollte das Abfahren der kritischen Szenarien unter Berücksichtigung der Systemfunktionen erfolgen.

Aufbau Messtechnik

Um eine präzise Aufnahme der Messfahrt zu gewährleisten werden die Messwerte über ein CAN-Interface im Programm Vector CANoe aufgenommen. Dadurch wird eine zeitgenaue Synchronität der einzelnen Eingangsgrößen gewährleistet. Zur Positionsbestimmung wird im VuT und im Targetträger ein DGPS System in Kombination mit einem inertial Messsystem verwendet. Um auch die Warnung im Fahrzeugtacho zeitlich in Bezug zum Versuchsablauf setzen zu können, wird zusätzlich die AVAD3 von DTC eingesetzt. Dieses Audio-visuelle Signalmesssystem sendet über den CAN-Bus eine Nachricht an das CAN-Interface, sobald die vordefinierte Meldung im Fahrzeugtacho zusehen ist. Im CAN-Interface werden die CAN-Botschaften der GeneSys ADMA, der HUMANETICS Vehicle Box und der DTC AVAD3 zusammen aufgenommen und auf dem Messrechner für jede Anfahrt als Logging-Datei gespeichert.

Versuchsdurchführung

Nachdem ermittelt der Grund- sowie Grenzpositionen für die Einstellung wurde der Gimbal wieder in seine Grundposition verfahren und eine ordnungsgemäße Kalibrierung durchgeführt. Anschließend wurde das Fahrzeug zu einer dynamischen Kalibrierfahrt für mehr als 2 Runden auf dem 5,8km langem Testoval, in einer Autobahn ähnlichen Situation, bewegt. Wobei sich mittels der vorhandenen Fahrspurlinien eine dynamische Kalibrierung aktivieren konnte, die auf Einflüsse wie der Fahrzeugbeladung reagiert. Hierbei wurden im Anschluss auch die benötigten Referenzwerte für die zufahrende Szenarien eingefahren. Anhand dieser Grundausrichtung kann nun die Gierachse oder die Nickachse verändert werden, wobei keine anschließende statische Kalibrierung vor der Testfahrt durchgeführt wird. Nach dem Verstellen der jeweiligen Achse wird eine, automatisch vom Fahrzeug angestoßene, dynamische Kalibrierfahrt durchgeführt, um dem System einen realen Fahrzyklus zu simulieren, um die Möglichkeit einer dynamischen Korrektur zu gewähren. Die Szenarien werden dabei alle mit der Standardposition, verändertem Gierwinkel nach links und rechts und verändertem Nickwinkel gefahren. Während des Versuchs werden alle Messdaten mittels des CAN-Interfaces in dem Programm CANoe aufgenommen. Zusätzlich dazu wird nach der Versuchsfahrt ein kurzes Protokoll vom Fahrer ausgefüllt. Nach Abschluss aller Szenarien und Anfahrten für ein Verstellungsszenario wird die Kamera über den Arduino und die angeschlossenen Servomotoren in ihre neue Position gebracht und die Adaptionswerte der dynamischen Kalibrierung gelöscht. Es folgt eine dynamische Kalibrierfahrt, wobei die Adaptionswerte notiert werden. Danach können die im Prüfplan beschriebenen Szenarien noch einmal mit verstellter Kamera eingefahren werden. Um eine Reproduzierbarkeit der Tests nachzuweisen wurde jede Anfahrt mit drei Wiederholungen gefahren. Dabei wurde auf ähnliche Lichtbedingungen, Temperaturen sowie eine trockene Straße geachtet. Die Auswahl der Anfahrtsstrecke auf dem Prüfgelände wurde so gewählt, dass zu jeder Tageszeit eine direkt frontale Sonnenblendung vermieden wurde.

Validierung des Gesamtansatzes

Durch die vorausgehende präzise Verdrehung der Kamera am Rande der Kalibriergrenzen, konnte die Eigendiagnose vor jeder Anfahrt überprüft werden. In jedem Falle erkannte diese zuverlässig die verstellten Winkel und führte die automatische, dynamische Kalibrierung durch. Hierbei wurden die verstellten Winkel als Offset automatisch bemessen und für die Kamera im Steuergerät hinterlegt. Dabei stimmten die als Offset eingetragenen Winkel mit dem Winkel der Verstellung überein. Da die Kamera in jedem Fall an die Grenze der kalibrierbaren Winkel gebracht wurde, gab die Eigendiagnose keine Fehler aus und stellte dem Fahrer alle Funktionen im vollen Umfang zur Verfügung. Der Fahrzeugführer beziehungsweise ein Prüflingenieur im Rahmen der Hauptuntersuchung würde in diesem Fall von einem vollständig funktionierenden System ausgehen. Die eindeutigen Ergebnisse hinsichtlich des Leistungsverlusts gegenüber dem korrekt sitzenden und kalibrierten System zeigen jedoch, dass sowohl die Eigendiagnose als auch die eigenständig angestoßene dynamische Kalibrierung an ihre Grenzen kommen. Betrachtet man den Mittelwert des Leistungsverlustes auf Grundlage der NCPA Punkte des Gierwinkels links und dem Gierwinkel rechts der lateralen Szenarien, sowie dem Gierwinkel in den longitudinalen Szenarien ergibt sich ein durchschnittlicher Leistungsverlust von 48,65 %. Damit kann insbesondere bei einer Verstellung in der Gierrichtung nicht mehr von einer sicheren Erkennung ausgegangen werden, insbesondere wenn man in Betracht zieht, dass auch die Standardposition keine fehlerfreie Erkennung garantiert. So erreichte die Gierwinkelverstellung insgesamt durchschnittlich nur 28,52 % der erreichbaren NCAP Punkte, während es bei der Standardposition durchschnittlich noch 64,775 % der erreichbaren NCPA Punkte waren. Insbesondere

im Rahmen der heutigen Hauptuntersuchung ist damit eine verlässliche Aussage über die korrekte Funktionsweise ausgeschlossen. Auch bei der Nickwinkelverstellung ergab sich aus den lateralen und longitudinalen Szenarien ein durchschnittlicher Leistungsverlust gegenüber der Standardposition von 25,82 %. Insgesamt ergibt dies rund 41,94 % der erreichbaren NCAP Punkte insgesamt. Während hier der Nickwinkel dementsprechend weniger schlecht als der Gierwinkel ausfiel, wird sich in der Realität nie eine reine Verstellung in Gier- oder Nickwinkel wiederfinden. Vielmehr entstehen Kombinationen aus beiden Verdrehungen und damit auch ein Leistungsabfall-bereich, welcher sich voraussichtlich zwischen den 25,82 % des Nickwinkels und den 48,65 % des Gierwinkels bewegt. In jedem Falle kann hierbei nicht mehr von einem akzeptablen Toleranzbereich ausgegangen werden. In Hinblick auf die Verlässlichkeit der Aussage der Eigendiagnose insbesondere für einen Prüfenieur innerhalb der Hauptuntersuchung steht damit eindeutig fest, dass keine ausreichende Verlässlichkeit sowie Garantie für die einwandfreie Funktionalität des Systems gegeben werden kann. Damit besteht der Bedarf einer Prüfmöglichkeit des AEB Systems, welche im Rahmen der Hauptuntersuchung durchgeführt werden kann. Die Überprüfung muss dabei an das Platzangebot in bestehenden Prüfstelle angepasst werden, zudem ist besonders auf den Zeit- und Arbeitsaufwand zu achten. Für den ErVast Ansatz wurde somit nachweislich die Reproduzierbare Erkennung bei auftretendem Fehler im Assistenzsystem nachgewiesen.

2.2 Prüfstelle & Prüfstützpunkt

2.2.1 Lokalisierung

Im Rahmen des Projekts entwickelte die ZIGPOS GmbH Hardware und Software, um für die dynamischen Elemente der Prüfung eine hochgenaue und schnelle Positionsbestimmung auf Grundlage eines UWB-Echtzeitlokalisierungssystems zu realisieren. Diese vom ZIGPOS System ermittelten Positionen wurden als Referenz zum Vergleich zur Sensorausgabe des zu testenden Fahrzeugs, genutzt. Die Genauigkeit der ZIGPOS Positionen ist vergleichbar mit D-GPS, die Updaterate ist ebenfalls ausreichend sodass das System für dynamische Fahrversuche als Referenz verwendet werden kann.

Hierfür wurden Anforderungen der Projektpartner gesammelt und entsprechend aufbereitet. Die entwickelte Software soll geforderte physikalischen Werte und Eigenschaften berechnen und zur Verfügung stellen. Insbesondere die latenzarme Übertragung, die hohe Updatefrequenz und die hohe Genauigkeit der Positionslösung, welche auf dem Broker des zentralen Prüfframeworks bereitgestellt werden sollen, waren maßgebliche Anforderungen für die Bewertbarkeit der Prüfungsfahrt.

Dafür wurde eine Gesamtspezifikation mit den Projektpartnern erarbeitet und ein entsprechender Gesamtsystemaufbau für das Lokalisierungssystem entworfen (siehe Abbildung 26).

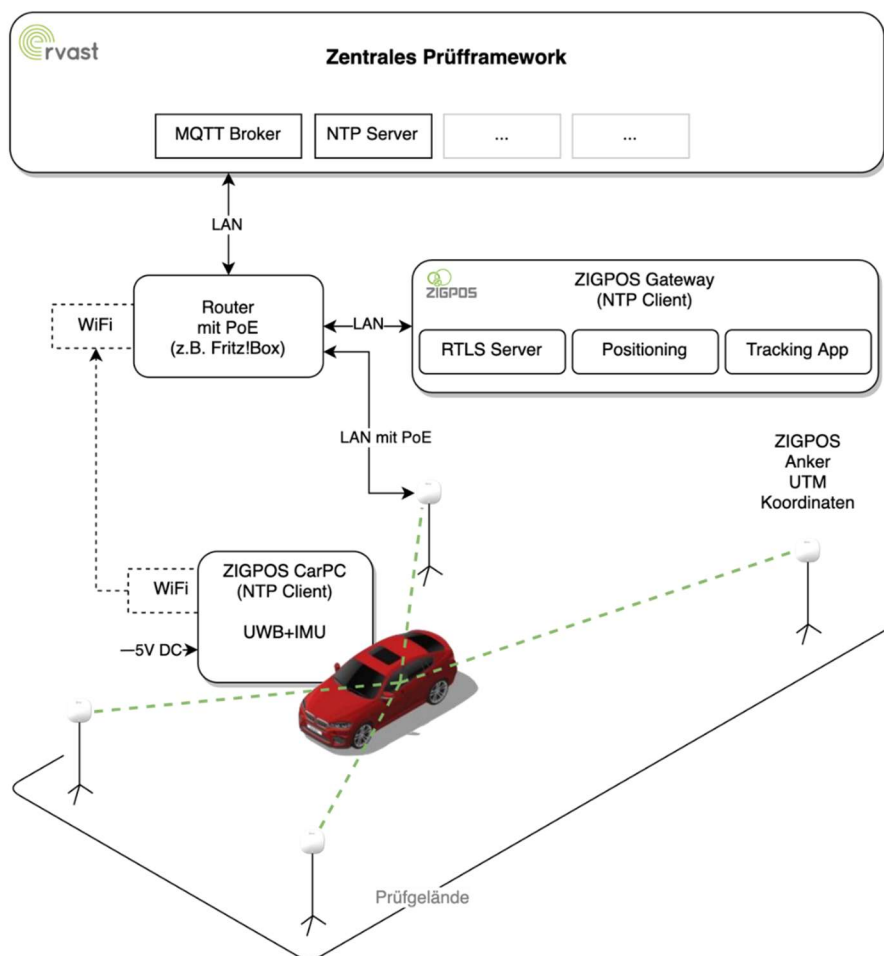


Abbildung 26: Praktische Umsetzung der hochgenauen ZIGPOS Fahrzeug-Lokalisierung auf dem Prüfgelände

Die in Abbildung 26 dargestellte Übersicht zur praktischen Umsetzung der Lokalisierungslösung wurde an mehreren Testtagen mit den Projektpartnern evaluiert und erfüllt die gestellten Anforderungen.

Zur Lokalisierung, d.h. der Bestimmung von Koordinaten des Fahrzeugs und des Targetträgers, sind auf diesen jeweils ein Funk-Sensor zu installieren, welcher auf Ultrabreitband-Basis (UWB) Signale aussendet. Diese werden von den am Prüfgelände aufgestellten Empfängern (ZIGPOS Anker) verarbeitet und an den ZIGPOS RTLS Server weitergeleitet. Dieser berechnet die Position des UWB Sensors, welcher auf dem Fahrzeug angebracht ist. Die Positions-Bestimmung wird sowohl von der Updaterate als auch der Genauigkeit sowie Robustheit maßgeblich verbessert, wenn sie mit zusätzlicher Sensorik fusioniert wird.

Hierfür wurde eine hochgenaue, driftarme Inertialmesseinheit (IMU) gemeinsam mit dem UWB-Sensor auf eine gemeinsame Hardware Platine designed. Die Hardware ist in Abbildung 27 dargestellt. Der Prototyp des ZIGPOS CarPC wurde im Rahmen des Projekts in Betrieb genommen und getestet.



Abbildung 27: Prototyp des entwickelten ZIGPOS CarPC mit UWB Lokalisierung und IMU als Shield für RaspberryPi

Der Kern der entwickelten hochgenauen Fahrzeug-Lokalisierung ist die ZIGPOS Tracking App, welche die Messwerte der IMU und die Messwerte des UWB Systems optimal fusioniert.

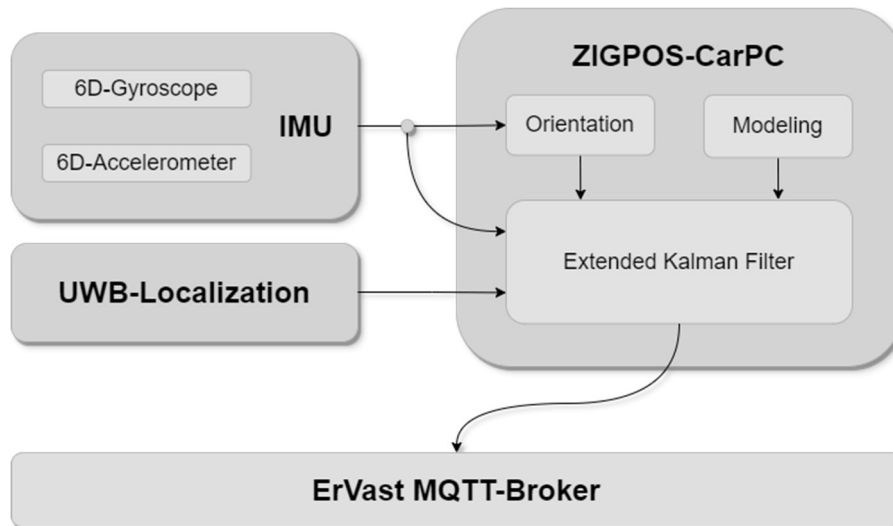


Abbildung 28: Schematische Darstellung der Sensordatenfusion (Tracking App) von IMU und UWB Lokalisierung

Die im Rahmen des Projekts entwickelte Software verarbeitet die von der IMU kommenden Messwerte der Längsbeschleunigung und Gierrate des Fahrzeugs sowie die vom ZIGPOS RTLS System kommende Position des Fahrzeugs. Es wird ein Kalman-Filter initialisiert, welcher den Fahrzeugzustand optimal schätzt. Hierfür wurde ein Dynamikmodell, welches die holonome Zwangsbedingung von Fahrzeugen berücksichtigt, eingesetzt. Dabei werden Zustandsgrößen, welche von den Projektpartnern zur Bewertung des Fahrversuchs benötigt werden, mit geschätzt und können auf den ErVast MQTT Broker des zentralen Prüfframeworks publiziert werden.

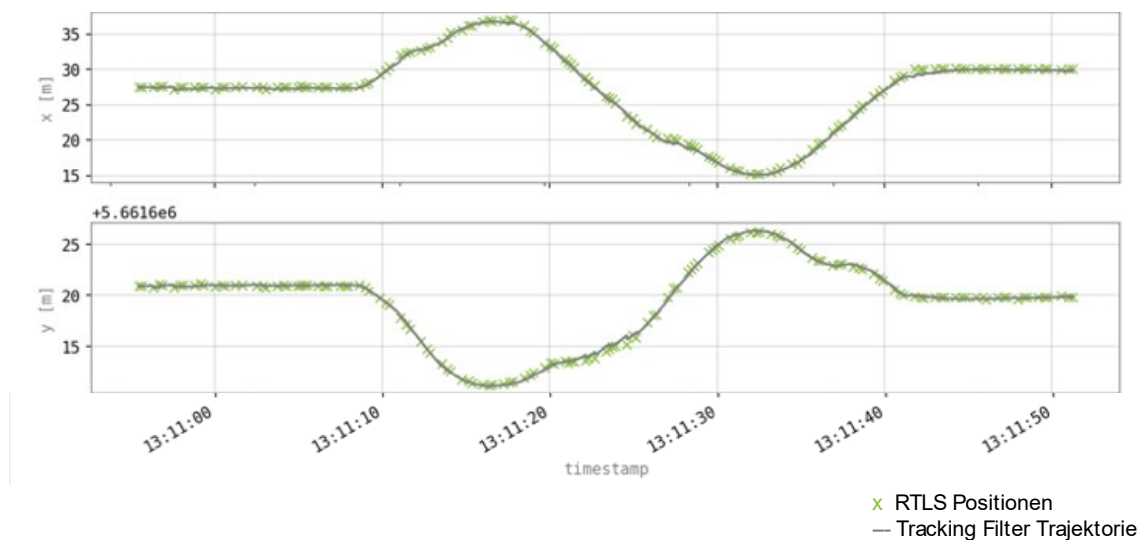


Abbildung 29: Position des ZIGPOS RTLS (grün) und durch Tracking App geschätzte Position des Fahrzeugs (grau)

Durch die sehr hohe Mess-Rate der IMU, kann auch die Tracking Software, welche die Sensordatenfusion vornimmt, eine hohe Updaterate für die Position berechnen. Die für die praktische Bewertung der Fahrfunktionen gewählte Updaterate wurde auf rund 32Hz parametrisiert. Positionsbestimmung und Updaterate sind damit ausreichend genau um das System zu nutzen.

Die ZIGPOS Lösung misst, berechnet und überträgt zusätzlich noch andere physikalische und für die Bewertung notwendige Parameter, z.B. die Längsbeschleunigung, Gierrate und Fahrtrichtung des Fahrzeugs. Alle Werte werden auf den Broker des zentralen Prüfframeworks publiziert und steht somit allen Software-Komponenten des Prüfframeworks zur Verfügung.

2.2.2 Versuchsfahrzeuge

Als Versuchsfahrzeuge kommen im Rahmen des Projektes im Wesentlichen 2 Fahrzeuge als Teil des umgesetzten Demonstrators des Gesamtsystems zum Einsatz. Dabei ist ein Fahrzeug ein Serienfahrzeug mit aktuell im Markt befindlicher Sensorik und assistierender Fahrfunktionen. Der zweite Versuchsträger ist ein automatisiert fahrendes Fahrzeug mit FSD-seitig eigenentwickelten Fahrfunktionen und erweitertem Sensorsetup. Über ein speziell eingerichtetes CAN-Interface können bei diesem Fahrzeug Objektdaten der Umfoldsensoren ausgelesen werden.

Als Serienfahrzeug wurde ein VW Golf VIII genutzt, welcher aufgrund seines Assistenzsystempaketes unter anderem über ein ACC, ein AEB und eine Verkehrszeichenerkennung verfügt.



Abbildung 30: Serienfahrzeug VW Golf VIII für Fahrversuche

Zusätzlich zu den serienmäßigen ADAS Funktionalitäten des Front- und Travelassist werden im Fahrzeug eine ADMA der Firma Genesys und eine Vehicle-Box der Firma Humanetics verbaut. Die ADMA ermöglicht eine hochgenaue Ortung via DGPS in Kombination mit einer IMU. Diese Ortung ist notwendig, da die Steuerung des Prüfablaufes des Demonstrators via DGPS geschieht. Für ein späteres Serienprodukt wäre diese Ortung aufgrund des Aufwandes der Einrichtung und Installation sowie der Kosten nicht geeignet. Die Vehicle-Box ermöglicht die Übertragung der Positionsdaten sowie der dynamischen Messdaten der ADMA über eine Funkschnittstelle zum Prüfframework.

Das zweite im Projekt verwendete Fahrzeug ist das FSD.Labcar. Dieses verfügt über einen erweiterten CAN Zugriff in Form einer exemplarischen Prüfschnittstelle.



Abbildung 31: FSD.Labcar mit automatisierten Fahrfunktionen und zusätzlicher Umfoldsensorik

Weiterhin sind zusätzlich zur Serienumfoldsensorik LiDAR-Sensoren im Front- und Heckbereich des Fahrzeuges, sowie eine zusätzliche Frontkamera verbaut. Das Fahrzeug verfügt ebenfalls über eine ADMA der Firma Genesys, sowie eine Humanetics Vehicle Box. Im Rahmen des Projektes werden die automatisierten Fahrfunktionen in der Weise ertüchtigt, dass der automatisierte Prüfablauf inklusive automatisierter Fahrfunktionen dargestellt werden kann. Das FSD.Labcar kann hierfür fahrerlos betrieben werden.

Beide Fahrzeuge werden zusätzlich zur beschriebenen Ausstattung auch mit UWB Badges und einem CarPC der Firma Zigpos ausgerüstet. Die zusätzliche Verwendung der Lokalisierung auf UWB Basis soll eine Verifizierung der Eignung dieser Technologie für den Einsatz an Prüfstellen und Prüfstützpunkten ermöglichen.

2.2.3 Targetträger

Ein Targetträger im Sinne des Projektes ist eine dynamisch verfahrbare Plattform, die es ermöglicht Testtargets auf dem Prüffeld zur Abbildung von dynamischen Prüfscenarien zu bewegen. Im Projekt ErVast kommt hierfür Technik der Firma Humanetics zum Einsatz. Das UFOpro ist eine Plattform, die den Einsatz von Fahrzeugdummys ermöglicht. Das initial im Projekt verwendete Target ist ein nach ISO 19206 zertifiziertes Fahrzeugtarget der Firma DRI.



Abbildung 32: Humanetics UFOpro und DRI Global Vehicle Target

Das UFOpro ist in allen Leistungsparametern so dimensioniert, dass alle geplanten Szenarien des Prüfkonzepes und der Validierung des Gesamtansatzes sicher abgebildet werden können.

Als zweite Trägerplattform wird im Projekt ein UFOnano verwendet. Mit diesem war es möglich die Verwendung von z.B. Dummys von verletzlichen Verkehrsteilnehmern und den Einsatz von mobiler Infrastruktur zu erproben.

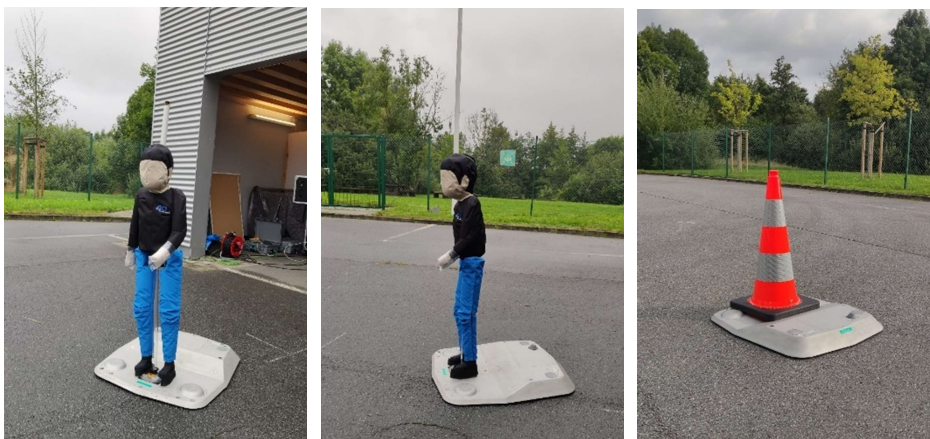


Abbildung 33: Erprobung mit UFOnano

Das Humanetics Gesamtsystem beinhaltet bereits Elemente zur Ansteuerung der Targetträger und Anbindung des Versuchsfahrzeuges. Diese Ansteuerung ist jedoch nicht geeignet um den im Projekt erarbeiteten Prüfablauf automatisiert mit Integration der Bedienung über ein Handheld zu realisieren. Das hierfür entwickelte Prüfframework wird über eine neu geschaffene Schnittstelle in Anlehnung an die ISO 22133 WD angebunden.

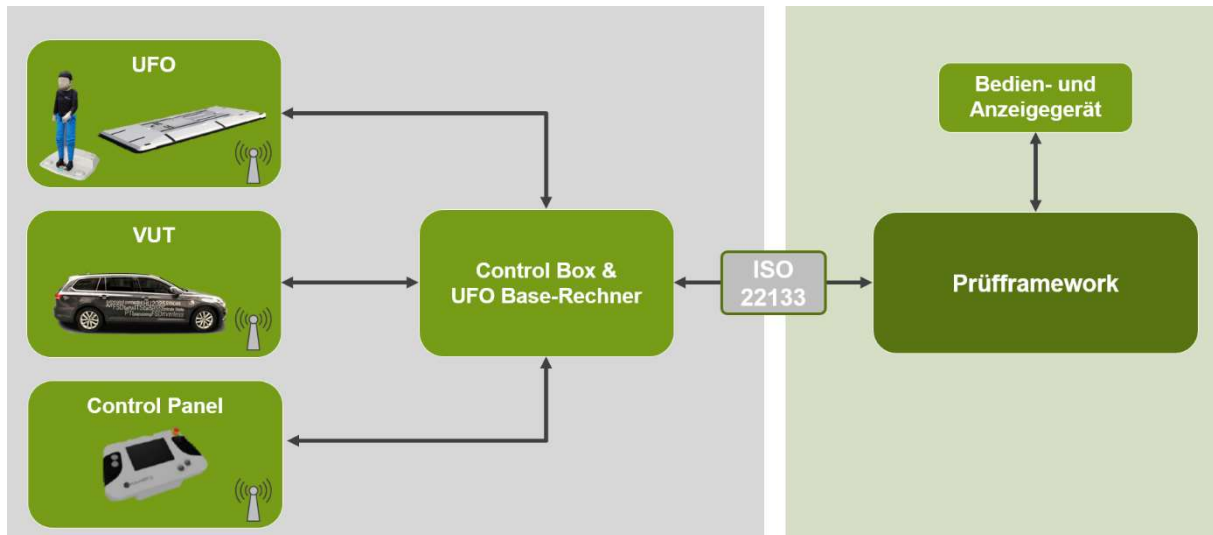


Abbildung 34: Anbindung des Prüfframeworks an die Humanetics Komponenten

Dieses Vorgehen hat den Vorteil, dass die bereits bestehende Safetysteuering für den Demonstrator des Gesamtsystems weiter genutzt werden kann. Bei prototypischer Ausentwicklung des Gesamtsystems kann die Ansteuerung eines Targetträgers direkt erfolgen.

Das bereits erwähnte Global Vehicle Target von DRI ist aufgrund der Größe, des Gewichtes und des Aufwandes beim Aufbauen nur bedingt für die Hauptuntersuchung geeignet. Aus diesem Grund wurde ein HU-angepasstes Target entwickelt und bereitgestellt.

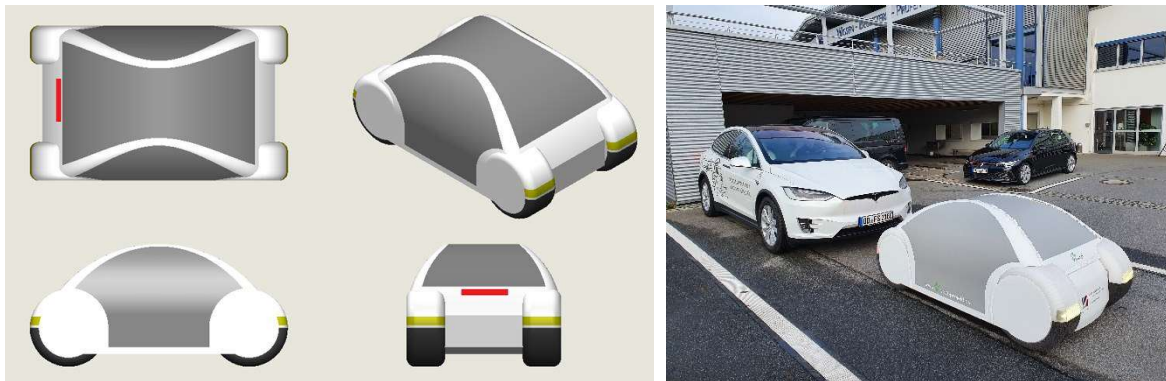


Abbildung 35: HU-angepasstes Fahrzeugtarget von 4active Systems

Neben den deutlich kleineren Abmessungen und dem einfacheren Aufbau verfügt das HU-Target auch über eine lichttechnische Einrichtung, die die realistischere Darstellung eines weiteren Verkehrsteilnehmers ermöglicht. Trotz geringerer Abmessungen entspricht das Target in seiner Sensorresponse einem Kleinwagen, sodass die im Versuchsfahrzeug verbauten Systeme dieses als Fahrzeug detektieren können.

2.2.4 Wechselverkehrszeichen

Für die Prüfung der Verkehrszeichenerkennung kommt in ErVast ein Wechselverkehrszeichen zum Einsatz. Ziel war es das dargestellte Verkehrszeichen ebenfalls dynamisch über das zentrale Prüfframework steuern zu können. Hierfür wurde ebenfalls MQTT als Schnittstelle gewählt und nach den Bedürfnissen und Anforderungen des Prüfframeworks designt.

Für die Umsetzung eines mobilen Wechselverkehrskennzeichens wurde zunächst eine LED-Tafel mit der passenden Ansteuerung für den Empfang und Versand von MQTT Daten gesucht. Dabei fiel die

Wahl auf das Deset SCREEN SOLUTIONS Outdoor Module und passendem Controller sowie einer ECU als MQTT Client. Die hohe Helligkeit von 9.000 cd/qm bieten eine optimale Anzeige auch bei direkter Sonneneinstrahlung. Durch eine Bildfläche von 128 x 96 cm und einem Sichtwinkel von 120° horizontal lassen sich sowohl kleine Schilder aus Stadtbereichen als auch große Schilder aus Autobahngeschwindigkeitsbereichen darstellen. Für die Ansteuerung der 12.288 einzelnen LEDs wird ein NovaStar MCTRL300 Bildprozessor und LED-Controller eingesetzt. Dieser wird durch die ECU über eine HDMI Video Verbindung mit den anzuzeigenden Verkehrsschildern versorgt. Das Modul kann dabei mittels zweier Fußplatten und entsprechender Schaftrohre umfallsicher und mobil aufgestellt werden.

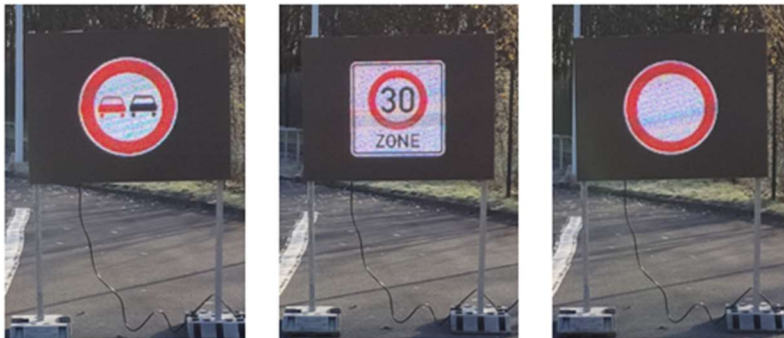


Abbildung 36: Verkehrsschilder aus vzkat 2017

Dargestellt werden können alle Verkehrsschilder nach dem vzkat 2017 Katalog. Diese sind durch die genormte Bezeichnung mittels eines Nummernsystems einfach aufrufbar. Zusätzlich zu den standardisierten Verkehrsschildern ist es jedoch möglich eigene Grafiken in das System einzubinden. Hierbei werden alle gängigen Bilddateiformate unterstützt. Alle Verkehrszeichen können in drei verschiedenen Größen dargestellt werden. Diese sind nach Geschwindigkeitsbereichen eingeteilt. Hierbei stellt die Größe „medium“ die Bezugsgröße mit 100 Prozent dar. Diese gilt im Geschwindigkeitsbereich von 20-80 km/h. Ronden haben hierbei einen Durchmesser von 640 mm, Dreieck, Quadrat und Rechteck eine Seitenlänge von 900 mm. Im ersten Geschwindigkeitsbereich „small“ von 0-20 km/h wurden die Verkehrszeichen auf 70 Prozent der Größe Medium verkleinert. Hierbei beträgt bei Ronden der Durchmesser 420 mm und bei Dreieck, Quadrat und Rechteck die Kantenlänge 630 mm. Im dritten Geschwindigkeitsbereich über 80 km/h beträgt die Schildergröße „large“ 125 Prozent bei den Ronden und 140 Prozent bei den Dreiecken, Quadraten und Rechtecken von der Bezugsgröße „medium“. Damit beträgt der Durchmesser der Ronden 750 mm und die Kantenlänge bei den Dreiecken, Quadraten und Rechtecken 1260 mm.

2.2.5 Lichtsignalanlage

Systeme zur Anzeige der Phasenrestdauer an Lichtsignalanlagen existieren bereits in kommerziell verfügbaren Fahrzeugen. Aktuell ist diese Funktionalität allerdings noch auf wenige Kreuzungen innerhalb Deutschlands beschränkt. Dies könnte sich aber durch die weitere Verbreitung von Kommunikationsanlagen auf Basis des Kommunikationsstandards ETSI ITS-G5 in Zukunft ändern. So existieren allein in Dresden bereits mehr als zehn Kreuzung an denen Information zu Topologie (MAPEM) und Signalzustand (SPATEM) versendet werden. Mittelfristig ist damit zu rechnen, dass die Fahrzeughersteller Assistenzfunktionen auf Basis dieser Informationen entwickeln. Um diese Funktionen im Rahmen der HU überprüfen zu können wurde eine vernetzte Lichtsignalanlage (vLSA)

beschafft und eine Anbindung der Anlage an das Prüfframework umgesetzt. Dafür wurden Schnittstellen zwischen Framework und vLSA spezifiziert und implementiert (s. Abbildung 37). Auf ein dediziertes Steuergerät wurde aus Gründen der nötigen Flexibilität im Testablauf verzichtet. Die Nutzung eines physikalischen Signalgebers erlaubt darüber hinaus auch die Bewertung von Assistenzfunktionen, welche auf der optischen Auswertung der Signalphase beruhen, und erlaubt zusätzlich einen schnellen Abgleich zwischen empfangener und tatsächlich angezeigter Signalphase.

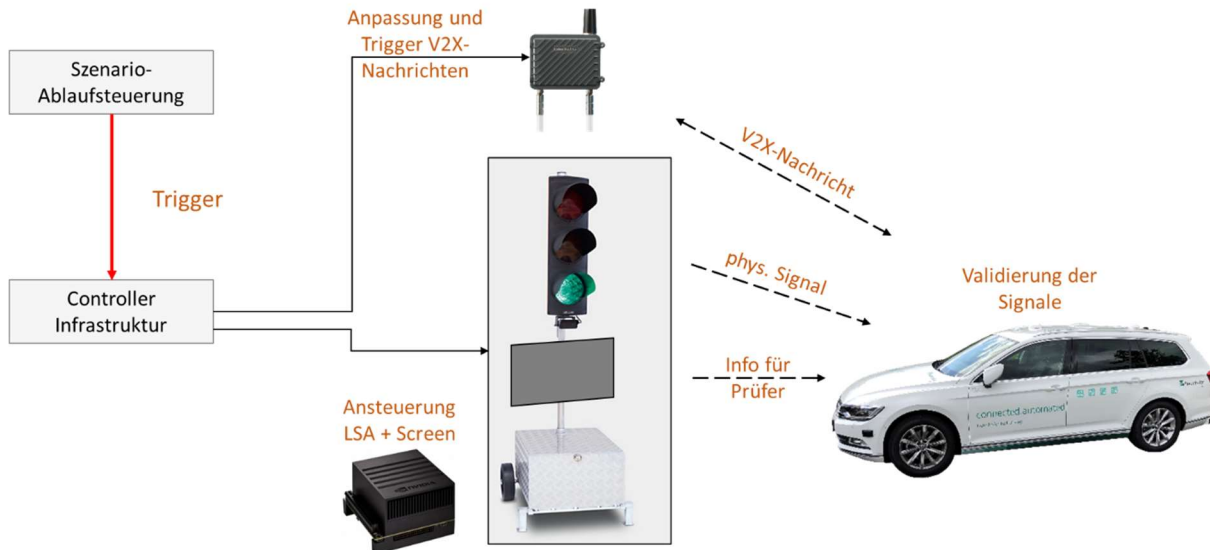


Abbildung 37: Systemarchitektur und Schnittstellen der vernetzten Lichtsignalanlage in ErVast

2.2.6 SDR – Software Defined Radio

Im Rahmen des Vorhabens ErVast konzentrierte sich die Professur Informationstechnik für Verkehrssysteme auf laborgestützte Simulation und Validierung von Test- und Prüfscenarien mit Car2X-Bezug unter Betrachtung der Schnittstellen und des Protokollstacks von GNSS, WLANp (ITS-G5) und zellularen Mobilfunktechnologien der aktuellen Generation, wie sie derzeit in Fahrzeugen eingesetzt wird. Um eine Brücke zwischen theoretischer Betrachtung und praktischer Anwendung zu schaffen, wurden zusätzlich zu den rein simulativen Untersuchungen Versuche in realistischer Umgebung, zum einen mit synthetisierten Signalen sowie mit realen Messfahrten durchgeführt.

Dabei wurde sich auf die Implementierung der mit den Partnern adaptierten technischen Module zur Ortung und Kommunikation (Versuchs- und Evaluierungsplattform) in einen lauffähigen Versuchsträger verständigt. Die nachgelagerten Car2X Untersuchungen in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern auf den zur Verfügung stehenden Versuchsfeldern bildete einen wesentlichen Bestandteil des Projekterfolges. Mit Hilfe eines iterativen Vorgehens konnte die Tauglichkeit der erarbeiteten Methoden bzw. Metriken z.B. zur Signalqualität unter realistischen Bedingungen nachgewiesen werden.

Eine Hauptaufgabe im Teilprojekt war es eine Implementierung der Ortungs- und Kommunikationssignale mittels Software Defined Radio (SDR) umzusetzen. Berücksichtigt wurden dabei ETSI ITS-G5 Nachrichten hinsichtlich relevanter Test- und Prüfscenarien, sowie zellulärer Mobilfunkstandards und mit Projektpartnern festgelegte Nutzungsszenarien (*Use Cases*). Diese Ziele formulieren die Grundlage für eine methodische Absicherung von Fahrzeugen, die mit umfangreichem Sensorsetup und automatisierten Fahrfunktionen ausgestattet sind. Dabei gilt es, dass korrekte Zusammenspiel von Sensorinformationen und der Funktionsweise automatisierter Fahrfunktionen im

Rahmen der Periodischen-Technischen Inspektion (PTI) über die gesamte Fahrzeuglebensdauer hinweg zu prüfen.

Ausgehend vom vorherrschenden Stand der Technik zu Beginn des Projektes wurde es notwendig ein sensorspezifisches Prüfkonzept für die einzelnen Komponenten im Bereich der Funkkommunikation zu erarbeiten. Im Einzelnen wurde sich dabei auf die Analyse und allgemeingültige Implementierung des aktuellen Standes der Technik sowie auf die systemseitige Wechselwirkung der Komponenten konzentriert. Diese identifizierten Schnittstellen bilden somit die Grundlage für die angestrebten Untersuchungen im Rahmen der PTI zur zukünftigen Bewertung und Prüfung. Hierbei seien bspw. der Stauassistent in direkter Wechselwirkung zum lokalen Ort des Fahrzeuges oder bspw. die V2X-Kommunikation in direkter Wechselwirkung mit Infrastrukturelementen (RSU) angeführt.

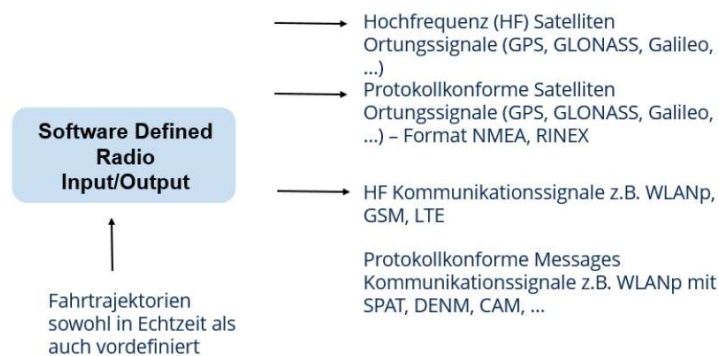


Abbildung 38: Prüfung von Funk basierten Systemen mittels SDR-Ansatz

Die Prüfscenarien beschreiben die zu entwickelnden Prozesse für eine zukünftige Validierung der Fahrzeug -und Infrastrukturelemente. Die folgende Abbildung zeigt das Funktionsprinzip einer Prüfung der am ITVS eingesetzten HF-Fahrzeugumfeldsimulation per Software Defined Radio (SDR) an einem Versuchsfahrzeug (BMW i3 BEV). Das Konzept von SDR sieht vor, dass die Anteile der Signalverarbeitung (Modulation / Demodulation) bei HF-Transceivern per Software auf Signalprozessoren (DSP / FPGA) oder Universalprozessoren implementiert werden. Das ermöglicht zum einen große Flexibilität in der Handhabung der verschiedenen Verfahren als auch eine zukünftige Erweiterbarkeit, da Funktionalität in Software und nicht per Hardware aktualisiert werden kann. Im Rahmen des Vorhabens wurden dahingehend drei Use Cases definiert und umgesetzt, welche den SDR Ansatz aufgreifen und eine generische Prüfung ermöglichen.

- Gezieltes Freischalten von ortsgebundenen Fahrerassistenzsystemen zur Überprüfung
- Aktivierung und Überprüfung der gesetzlich vorgeschriebenen eCall Funktionalität
- Überprüfung der V2X Kommunikation auf physikalischer und logischer Ebene

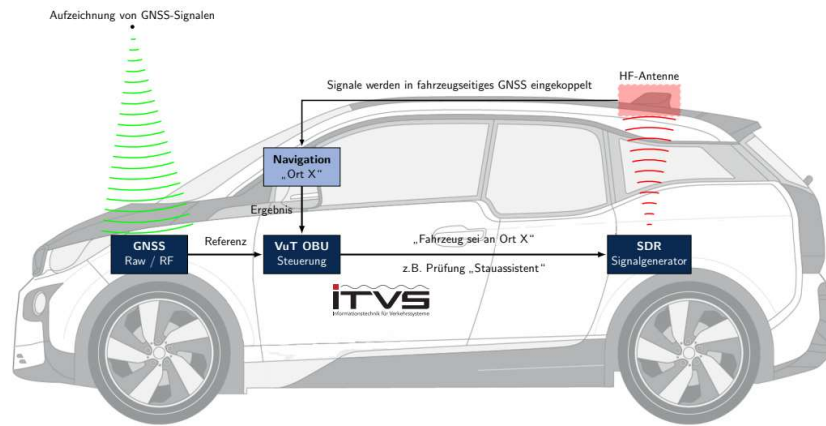


Abbildung 39: Funktionsprinzip einer Prüfung mittels HF-Fahrzeugumfeldsimulation

Für die Umsetzung der Use Cases wurden in enger Abstimmung mit den Projektpartnern die Schnittstellen der Entität „SDR“ für die Anbindung an das Prüfframework geschaffen. Dabei wurde sich im Konsortium auf das Nachrichtenprotokoll MQTT verständigt, welches ein Pub-Sub-Architekturmuster implementiert.

Diese modulare und lose Kopplung stellte sich für die Erstellung des ganzheitlichen Ablaufes als sehr vorteilhaft heraus. Weiterhin wurde die Anbindung strikt nach OSI/ISO Schichtenmodell umgesetzt, was auch einen nachgelagerten Austausch auf Netzzugriffsebene erleichtert bzw. einfach adaptierbar macht. Hierbei sei die Verwendung bzw. der Austausch von WLAN auf bspw. eine zellulare Mobilfunkanbindung (4G, 5G) erwähnt. Versuche im Rahmen des Projektes zeigten, dass auch größere Datenmengen der einzelnen Entitäten bspw. über das mobile Funknetz auf Basis von LTE problemlos versendet und an den MQTT Broker gesendet werden konnten.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die entwickelte Architektur und Anbindung an das Prüfframework, wo die einzelnen Elemente der Prüfsteuerung und Untersuchungsschwerpunkte als abstrahierte Blockschaltbilder zu erkennen sind. Die Aufzeichnung der dynamischen Versuchsdaten werden dauerhaft im Backend gespeichert und stehen somit einer weiteren nachgelagerten Prozessierung zur Verfügung. Der Mess- und Prüfablauf kann somit über eine Server API zentral gesteuert und per bidirektionaler M2M-Verbindung an das Versuchsfahrzeug übertragen werden.

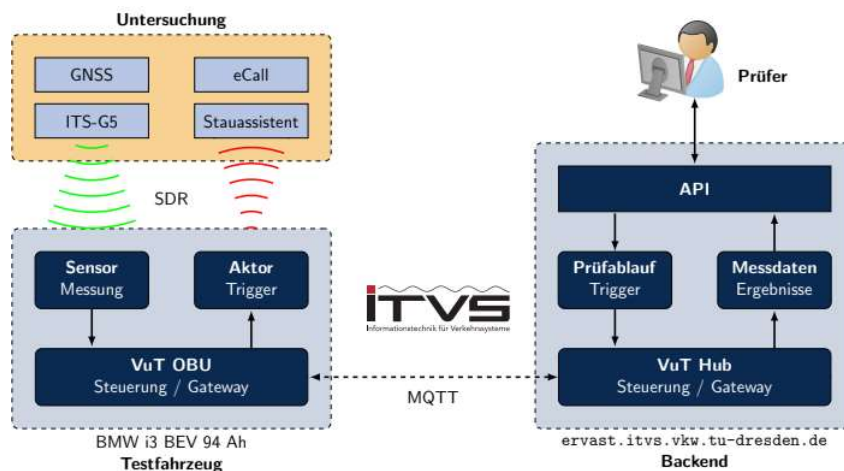


Abbildung 40: Architektur und Anbindung an das Prüfframework

Für den ersten Use Case war es erforderlich die positionsgenaue Trajektorie nachzubilden, um das Fahrzeug mit den synthetisieren Daten zu bedaten. Für diese Prüfabläufe wurden Referenzdaten

mittels eines hochgenauen GNSS-Empfängers aufgezeichnet, welche die Basis für die HF-Fahrzeugumfeldsimulation bilden. Für die Simulation, d.h. die eigentliche Prüfung der Fahrzeugfunktion, findet ein Replay, d.h. eine erneute Aussendung der vorher aufgezeichneten Werte auf Signalebene (PHY) mittels eines SDR Signalgenerators statt.

Im ersten Schritt wurden die aufgezeichneten Daten im Labor dazu genutzt, um eine synthetisierte Route nachzubilden. Dieses Vorhaben gestaltete sich für die eigentliche Datenerhebung als umfangreich. Für die Umsetzung in einen Prüfablauf hat es aber den Vorteil, dass die Positionsdaten für jede Prüfung verwendet werden können und nur um den aktuellen Zeitstempel ergänzt werden müssen. Mit Hilfe eines EDA-Skripts lässt sich diese Vorgehensweise automatisieren. Die eigentliche Replay-Funktionalität wurde im Rahmen des Vorgehens mit einer Schirmkapsel abgebildet. Das heißt, die Fahrzeugantenne wird elektromagnetisch wirksam gegen die Umwelt abgeschirmt und die darin befindliche Fahrzeugantenne wird mit den synthetisierten Daten beaufschlagt. Dieses Vorgehen würde eine Sicherheitslücke, welche über ein einfaches „Jamming“ hinausgeht, ausnutzen aber im Umkehrschluss für eine PTI eine gezielte Aktivierung von Zusatzfunktionalitäten ermöglichen.

Durch gezieltes Ausnutzen dieser Sicherheitslücke konnte ein stationäres Spoofing erfolgreich umgesetzt werden, sodass der synthetisierte Ort dem Fahrzeug glaubhaft vermittelt werden konnte. Die Position konnte für einen statischen Use-Case in das Fahrzeug überspielt werden, d.h. im Stillstand in einer von der Umwelt abgeschirmten Umgebung.

Aktuelle und zukünftige Fahrzeuge verfügen jedoch über interne Plausibilisierungsmechanismen, sodass die Position nicht nutzbar in das Fahrzeug überspielt werden kann bzw. vom Fahrzeug akzeptiert wird. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass moderne Fahrzeuge mit der neuesten Technologie eine sogenannte Spoofing-Detektionstechnologie an Bord haben und die Elektronik den Versuch eine falsche Position in das System zu überspielen, erkennt und mit einer Fehlermeldung reagiert. Eine Möglichkeit diese interne und vom Fahrzeugtyp abhängige Plausibilisierung zu umgehen kann zum einen den Reset des Gesamtsystems „Fahrzeug“ zum anderen eine zusätzliche Beaufschlagung des CAN-Bus Systems sein, um mittels synthetischen Raddrehzahlen und Lenkwinkelwerten einen plausibilisierten Zustand herzustellen. Diese Daten müssten somit für jedes Fahrzeugmodell und jeden Typ erzeugt werden und erfordern die Kenntnis über nicht frei zugängliche OEM-interne Datenbasiswerte.

Zusätzlich wurden im Januar 2021 durch das Weltforum für die Harmonisierung von Fahrzeugregelungen (WP.29) der Vereinten Nationen die Verordnung Nr. 155 herausgegeben, in den Richtlinien für die Cybersicherheit in der Automobilindustrie festgelegt sind, mit dem Ziel, alle möglichen Cyber-Bedrohungen abzuwehren, denen sie begegnen könnte. In Anhang 5 der Verordnung werden Cyberangriffe definiert, und es heißt, dass die Fahrzeughersteller für die Erteilung von Genehmigungen in Zukunft einen soliden Nachweis erbringen müssen, dass die Fahrzeuge ausreichend gegen diese Bedrohungen geschützt sind. Eine weiterführende Implementierung des Spoofing-Ansatzes für eine zukünftige PTI wäre dahingehend nicht zielgerichtet, da diese Sicherheitslücken zukünftig geschlossen werden müssen. Das Vorgehen ist somit mit dem Fokus auf eine zeitlich akzeptable und wirtschaftliche PTI nicht zielführend. Die nachfolgende Abbildung zeigt die Umsetzung der Methodik für den Use-Case GNSS-Spoofing auf Komponentenebene unter Nutzung einer abgeschirmten Kabine.



Abbildung 41: GNSS-Spoofing Aufbau auf Komponentenebene

Für den zweiten Use-Case ist eine komplette Abschirmung des Fahrzeuges notwendig. Hierzu wurde der Versuch unternommen das Fahrzeug in einer Abschirmkabine auf Basis einer mobilen Garage von der Umgebung elektromagnetisch zu isolieren. Diese Arbeiten stellten eine besonders hohe Herausforderung an das Abschirmmaterial dar. Dazu wurde es sich in Abstimmung mit dem Konsortium zur Aufgabe gemacht, eine Lösung zu schaffen, welche eine nahezu vollständige Isolation aus Hochfrequenzsicht darstellt und somit eine gefahrlose Aktivierung des Systems eCall zulässt, ohne eine reale Notrufzentrale zu kontaktieren.

Diese Arbeiten gestalteten sich zum einen aufgrund der Materialeigenschaften, zum anderen aus rein rechtlicher Sicht sehr schwierig. Im Falle, dass das Material nicht ausreichend abschirmt bzw. die elektromagnetische Strahlung dämpft, ist es unter diesen Gesichtspunkten möglich, dass der vorsätzlich aktivierte eCall eine Rettungsleitstelle erreicht und im Rahmen der Systemerprobung kein Notfall vorliegt. Diese vorsätzliche bzw. fahrlässige Auslösung des eCalls steht unter Strafe. Um die Funktionalität zu überprüfen ist es notwendig, eine Basisstation mit Hilfe von SDR-Komponenten zu emulieren. Diese ist im Zweifel für die Umwelt ebenfalls erreichbar und stellt, im Falle einer nicht ausreichend elektromagnetischen Abschirmung ebenfalls eine strafrechtlich relevante Handlung dar. Nach einer eingehenden Prüfung des Standes bzw. einer Risikobewertung mit dem Fokus auf das eigentliche Projektziel wurde somit eine Umplanung vorgenommen, um das Risiko zu minimieren und die Methodik bzw. die Leistungsfähigkeit für eine zukünftige PTI dennoch darzustellen. Zielstellung der Untersuchung wurde somit der Nachweis der Methodik auf Komponentenebene, d.h. die Überprüfung der eCall-Funktionalität und der damit einhergehenden Mobilfunkparameter in einem beherrschbareren und sicheren Umfeld.

Dazu wurden die Arbeiten in das Labor verlagert. Im Labor kann diese Funktionalität problemlos entwickelt und erprobt werden, ohne einen echten Notruf auszulösen. Es konnte gezeigt werden, dass die SDR-Basisstation wie im Vorhaben beschrieben arbeitet. Aktuell lassen sich (weltweite) Mobilfunkprovider emulieren und spezifische MNO-Eigenschaften parametrieren. Hier sei bspw. die Parametrierung der Absolute Radio Frequency Channel Number (ARFCN) genannt, welche es ermöglicht die spezifischen Frequenzen für realistische Up- und Downlinks zum einen zu berechnen zum anderen speziell für das Vorhaben bereitzustellen, um eine Real-Prüfung durchzuführen. Konkret können derzeit beliebige ARFCNs im GSM-Basisstationsemulator aktiviert werden. Kompatible und dem entsprechenden Frequenzspektrum zuordbare Endgeräte (z.B. Smartphones von Samsung oder

Apple) können sich an der Basisstation anmelden, welche auch charakteristische Merkmale des Funkkanals zwischen Endgerät und Basisstation messen kann (z.B. PER, SNR, RxQual inkl. des Monitorings der Modulationsanpassung von QPSK auf BPSK). Die nachfolgende Abbildung zeigt das prinzipielle Vorgehen sowie einen Ausschnitt der Bewertung, welches an das Prüfframework übersendet werden kann.

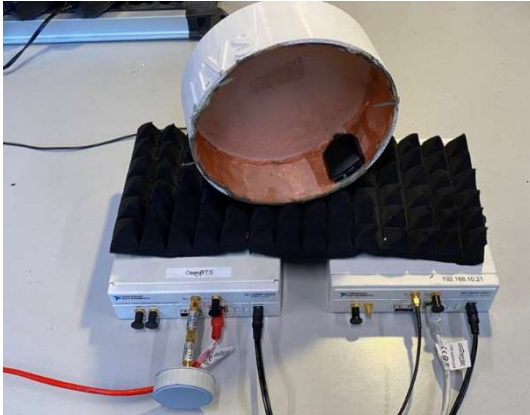


Abbildung 42: SDR(s) für OpenBTS und GNSS

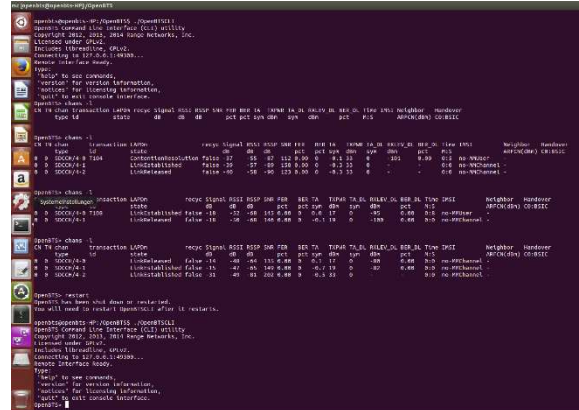


Abbildung 43: OpenBTS für eCall Prüfung

Ausgehend von den Bekanntmachungen durch das Weltforum für die Harmonisierung von Fahrzeugregelungen im Januar 2021 wurde sich in Abstimmung mit dem Konsortium daraufhin verständigt, die Arbeiten im Bereich V2X-Prüfung im Rahmen von ErVast zu intensivieren. Dabei wurden die Arbeiten zweigeteilt, mit dem Ziel eine Prüfung auf physikalischer und logischer Ebene durchzuführen. Für den Bereich der physikalischen Untersuchungen wurde das Vorgehen in die Bereiche Simulation und Messung aufgeteilt. Zielstellung war es dabei, die Funkperformance ab der physikalisch wirksamen Antennenimplementierung fahrzeugseitig zu analysieren und anschließend zu bewerten. Die Grundlegende Idee hinter dem Vorgehen lässt sich mathematisch-physikalisch mit dem Freiraumdämpfungsmodell nach Friies beschreiben. Somit lässt sich simulationsgestützt im ersten Schritt ermitteln, wie hoch die empfangene Sendeleistung bei veränderlichem Senderabstand ist.

Dieser Prozess wurde in zwei Stufen abgebildet, um die Wirksamkeit der Methode bzw. die Bewertbarkeit zu ermitteln. Dazu wurde zunächst mit einem System, welches im 2.4 GHz ISM Band arbeitet, begonnen. Dieses System wurde im Rahmen von ErVast entwickelt und mit einem adaptiven und manipulierbaren Antennensystem ausgelegt. Dies gibt die Möglichkeit die Antennencharakteristik bzw. die Parameter wie die Anpassung der Impedanz sowie die Funkleistung vor Ort zu beeinflussen. Mit Hilfe dieses Systems kann eine Degradation des Funkpfades emuliert werden, was in einer verminderten RF-Performance resultiert. Unter Nutzung dieses Vorgehens konnte gezeigt werden, dass es auf Basis des Freiraumdämpfungsmodells unter der Voraussetzung eines verdeckungsfreien Prüffeldes möglich ist die Empfangsfeldstärken für die Bewertung heranzuziehen und auch eine degradierte Antenne bzw. einen degradierten RF-Transceiverpfad zu identifizieren. Die nachfolgende Abbildung zeigt das System sowie die aufgenommenen Werte bei einer idealen Auslegung des Systems ohne Berücksichtigung von Degradationseffekten.

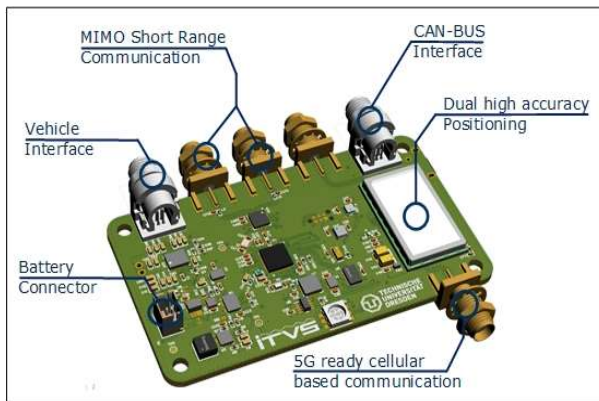


Abbildung 44: Elektronik zur physikalischen Abbildung eines degradierten Antennensystems

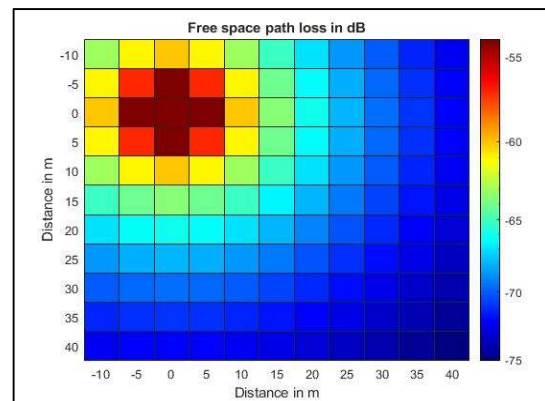


Abbildung 45: RSSI Messung ohne Berücksichtigung

Die nachfolgende Abbildung zeigt die direkte Gegenüberstellung der Messung ohne und mit Berücksichtigung von Degradationseffekten, welche mit Hilfe des Systems eingestellt bzw. emuliert wurden. Dazu wurde das Anpassnetzwerk, welches das Antennensystem mit der RF-Transceivereinheit verbindet für diese Messung gezielt verstimmt. Dazu wurde der Parameter der Rückflussdämpfung (S_{11}) dahingehend beeinflusst, dass die maximale Ausgangleistung am Port nicht abgestrahlt wird. Es wird ersichtlich, dass eine Degradation messtechnisch erfassbar und quantifizierbar ist. Für dieses gewählte Setup lässt sich zeigen, dass das Signal um circa 10dB bis 15dB gedämpfter ist. Weiterhin wird ersichtlich, dass eine Degradation in Verbindungsabbrüchen bzw. in sehr stark minimierter Reichweite resultiert.

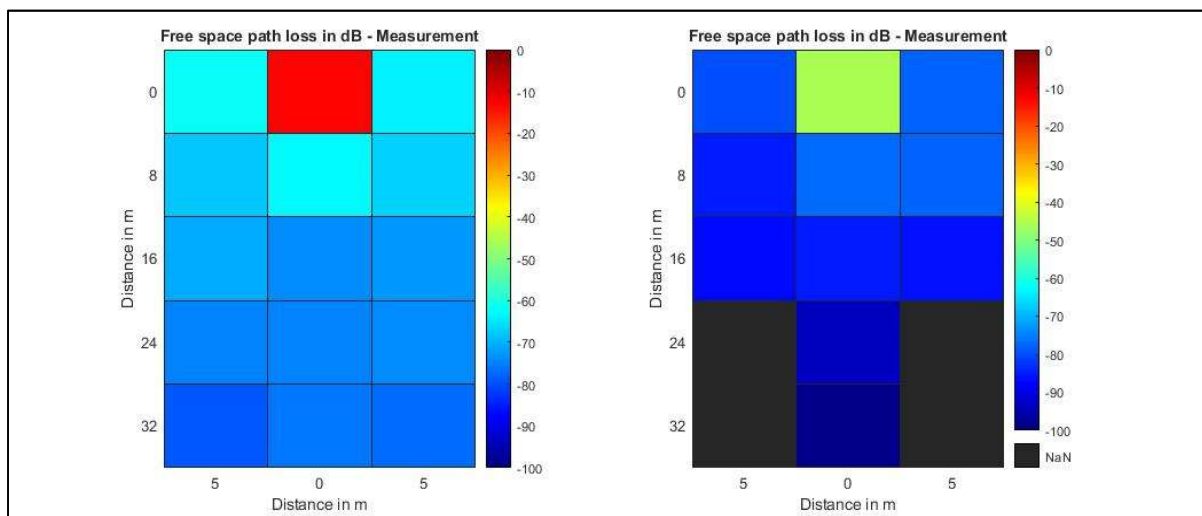


Abbildung 46: Gegenüberstellung RSSI Messung / Einfluss der Degradation

Aufbauend auf diesen Erkenntnissen wurde das Vorgehen die V2X-Kommunikation adaptiert. Auf Basis dieser Vorbetrachtung lässt sich eine Karte erstellen, welche die Abstände auf dem Prüffeld, relativ zum Prüfling berücksichtigt. Dieses Vorgehen wurde zusätzlich im Rahmen der Untersuchungen für das Frequenzband IEEE 802.11p, welches für die V2X Kommunikation genutzt wird, auf dem Prüffeld in Radeberg vermessen und validiert. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Simulationsergebnisse sowie die vermessenen Empfangsleistungen auf dem Prüffeld in Radeberg. Es wird ersichtlich, dass die Abweichungen im Vergleich zur Simulation minimal sind und somit die Methodik im Rahmen von ErVast genutzt werden kann, um die Bewertung der Funkstrecke zu ermöglichen.

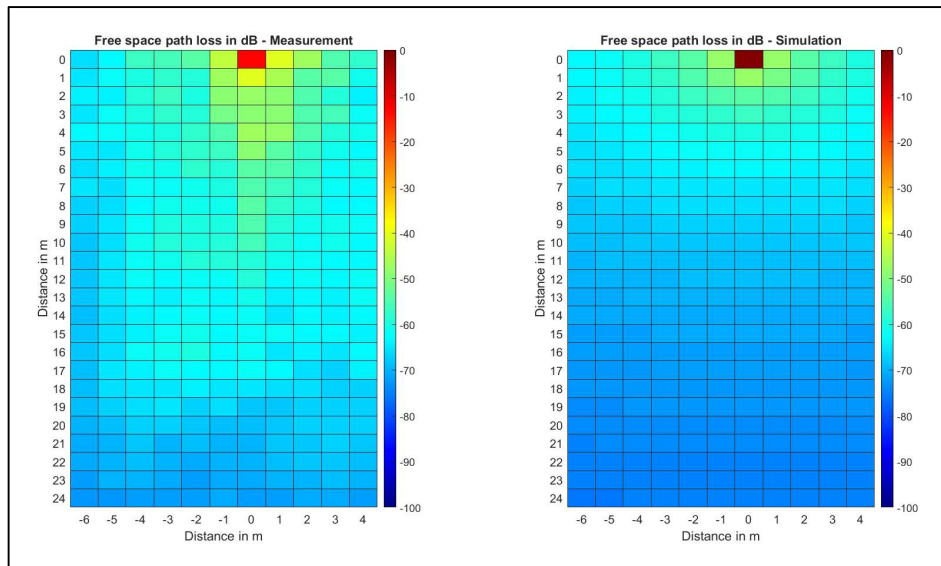


Abbildung 47: Generierung der HF-Karte (Messung / Simulation)

Mit Hilfe dieses Vorgehens kann demnach vorab simulativ eine fahrzeugunabhängige HF-Checkliste erzeugt werden, welche in einem nachgelagerten Schritt für die logische Bewertung herangezogen werden kann, um den Prüfenieur eine Aussage über die Qualität der Funkverbindung tätigen lassen zu können. Mit Hilfe dieser Karte wäre es somit möglich etwaige Degradationen im Bereich der HF-Transceiverstruktur bzw. der Antenne, welche permanent Umwelteinflüssen ausgesetzt ist, im Rahmen einer zukünftigen PTI zu erkennen.



Abbildung 48: HF-Karte auf dem Versuchsfeld für die logische Bewertung

Im ersten Teil der Untersuchung für den Use Case "V2X Prüfung" wurde gezeigt, dass Signale auf der physikalischen Ebene auf der Luftschnittstelle empfangen und Signalpegel und Empfangsfeldstärke bestimmt werden konnten. Im zweiten Teil der Untersuchung wird die logische Ebene überprüft, d.h. die Auswertung der eigentlichen Nutzdaten und deren Interpretation. Im Fall von IEEE 802.11p (ITS G5) sind das z.B. die C-ITS Nachrichten CAM, MAPEM, SPATEM. Die folgende Abbildung zeigt den Aufbau des Protokoll Stacks von C-ITS. In Anlehnung an das ISO/OSI Schichtenmodell sind die einzelnen Ebenen zu erkennen. Daten werden auf Senderseite von der höheren Schicht an die darunterliegende Schicht übergeben, die ihrerseits Paketinformation hinzufügt (Header, Footer) bis das Paket auf der physikalischen Schicht (PHY) über den Übertragungskanal gesendet und auf der Empfangsseite den entgegengesetzten Weg schichtweise bis zur Anwendung übergeben wird.

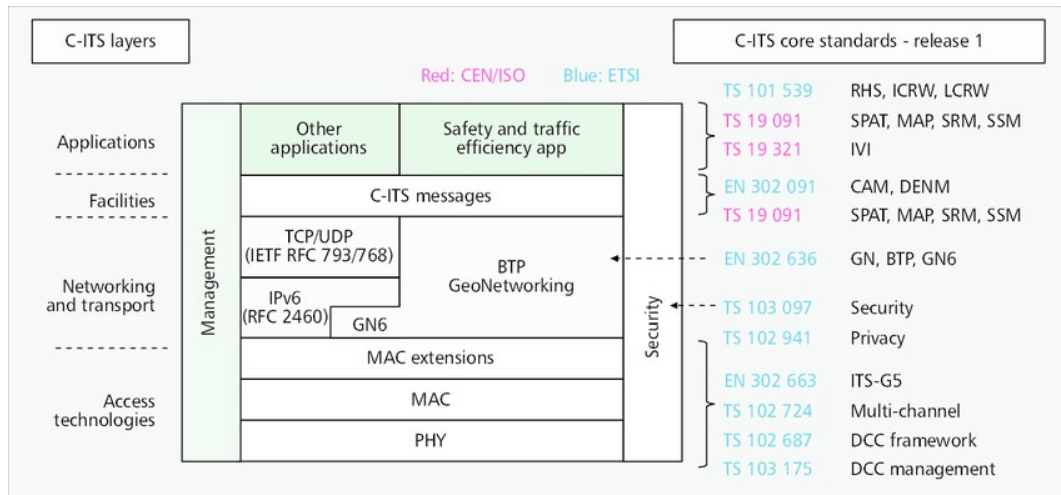


Abbildung 49: C-ITS Protokollstack [FA2014 - IEEE Communications Magazine]

Abbildung 50: Übersicht zur V2X-Prüfung und Bewertung
 Abbildung 50 zeigt die Konfiguration und beteiligten Entitäten für die logische Prüfung im Rahmen des Verbundvorhabens. Ziel ist es, festzustellen ob V2X-Nachrichten vom Fahrzeug (*Prüfling*) an der Infrastruktur (*Vernetzte LSA*) empfangen und interpretiert werden und umgekehrt. Damit kann die ordnungsgemäße Funktionalität eines vernetzen Fahrzeugsystems nachgewiesen werden.

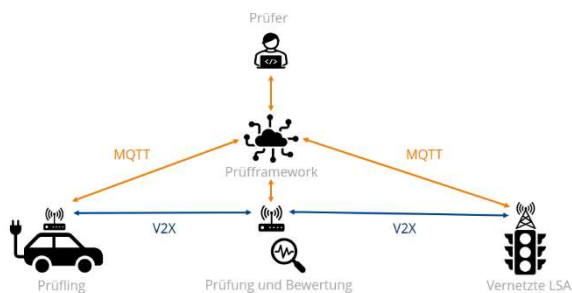


Abbildung 50: Übersicht zur V2X-Prüfung und Bewertung

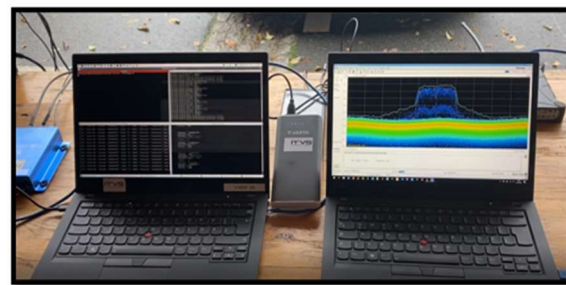


Abbildung 51: Logische (Laptop links) und physikalische (Laptop rechts) Bewertung auf dem Testfeld

Die Umsetzung sieht gemäß Abbildung 50 eine Überprüfung der gesendeten Nachrichten über die Luftschnittstelle IEEE 802.11p (ITS G5) mittels MQTT vor: Die sendende Entität (z.B. Fahrzeug) setzt im Moment des Sendes einer V2X Nachricht den Inhalt der Nachricht auch über MQTT ab. Die Prüfung kann nun mittels V2X Empfangshardware zum einen den Erhalt der Nachricht über IEEE 802.11p (ITS G5) nachvollziehen als auch über MQTT. Die in den Nachrichten enthaltene Information wird über den Prüfzeitraum gesammelt und im Anschluss ausgewertet, wenn die Prüfung abgeschlossen ist.

```

Creating U2X map entry for StationID 2000
Creating U2X map entry for StationID 1208065610
Creating U2X map entry for StationID 1208065450
Packet statistics by StationID (n=3)
StationID: 1208065450
* CAM: (65)
  U2X : -82.4 dBm (moderate)
StationID: 2000
* MAPEM: (65)
  U2X : -53.3 dBm (good)
* SPATEM: (65)
  U2X : -53.3 dBm (good)
* CAM: (65)
  U2X : -53.3 dBm (good)
StationID: 1208065610
* CAM: (65)
  U2X : -65.1 dBm (good)

Session
Start : 1638358925 (MQTT start)
Stop  : 1638358990 (MQTT stop)
Elapsed: 65.323727 s
    
```

Abbildung 52: Ergebnis der logischen Prüfung von V2X Nachrichten (CAM, MAPEM, SPATEM)

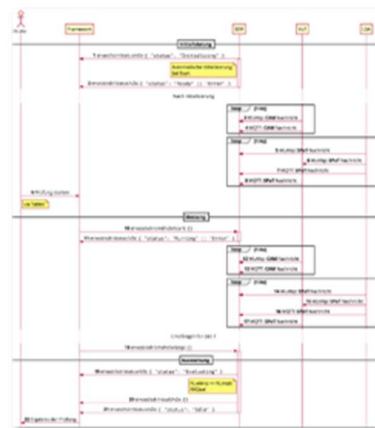


Abbildung 53: Sequenzdiagramm der logischen Prüfung von V2X Nachrichten

Über das Prüfframework wird der Prüfungsvorgang gesteuert. Abbildung 53 zeigt den zeitlichen Ablauf und die Aktionen der beteiligten Entitäten (Sequenzdiagramm). Die beteiligten Projektpartner können über die definierten Schnittstellen somit ihre jeweilige Implementierung (z.B. Senden und Empfangen von V2X-Nachrichten) unabhängig voneinander umsetzen und testen. Der Gesamtnachweis der logischen Funktionstests erfolgte auf dem Versuchsfeld (siehe Abbildung 54 und Abbildung 55).



Abbildung 54: Versuchsaufbau mit Testfahrzeugen auf dem Prüffeld



Abbildung 55: SDR-Komponenten auf dem Prüffeld

2.2.7 Bedien- und Anzeigerät, Vorstellung des ErVast Demonstrators

Ein Bedien- und Anzeigerät inklusive Prüfapplikation ermöglicht es dem amtlich anerkannten Sachverständigen oder Prüflingenieur im Rahmen der Hauptuntersuchung eine einfache, effiziente und schnelle Prüfung von assistierenden und automatisierten Fahrfunktionen durchzuführen. Durch den automatisierten Prüfablauf sinkt die Komplexität des Systems für den Anwender und ermöglicht somit die Einführung von szenarienbasiertem Testen in die Hauptuntersuchung.



Abbildung 56: Im Projekt ErVast erarbeitete Steuerung des Prüfablaufes mit Hilfe eines Bedien- und Anzeigerätes

Im Folgenden wird die entwickelte Prüfapplikation auf dem Tablet detailliert vorgestellt. Der Prüfablauf beginnt mit der Auswahl des zu untersuchenden Fahrzeuges. Der im Projekt ErVast umgesetzte Demonstrator ermöglicht die Untersuchung von assistierenden Fahrfunktionen an einem VW Golf VIII mit Serienausstattung sowie die Prüfung von Umfeldsensorik und automatisierten Fahrfunktionen an einem Versuchsträger der FSD GmbH.

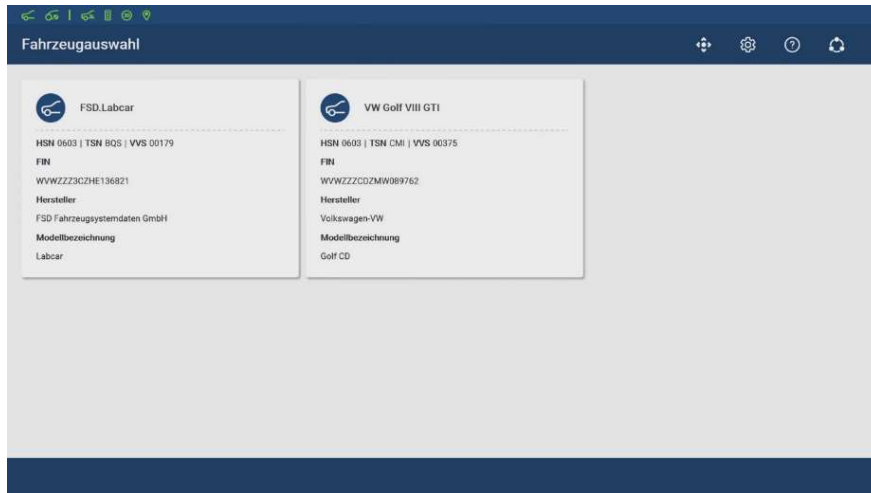


Abbildung 57: Fahrzeugauswahlmenü des Bedien- und Anzeigeegerätes

Im Anschluss an die Fahrzeugauswahl erfolgt die Auswahl der durchzuführenden Prüfung. Für den VW Golf VIII sind in der aktuellen Ausführung 3 Prüfungen implementiert. Die Prüfungsauswahl variiert je nach Fahrzeugmodell und den entsprechend zu prüfenden Systemen und Umfeldsensoren. Für den VW Golf VIII sind aktuell die Prüfungen für ACC, AEB und Verkehrszeichenerkennung exemplarisch umgesetzt.

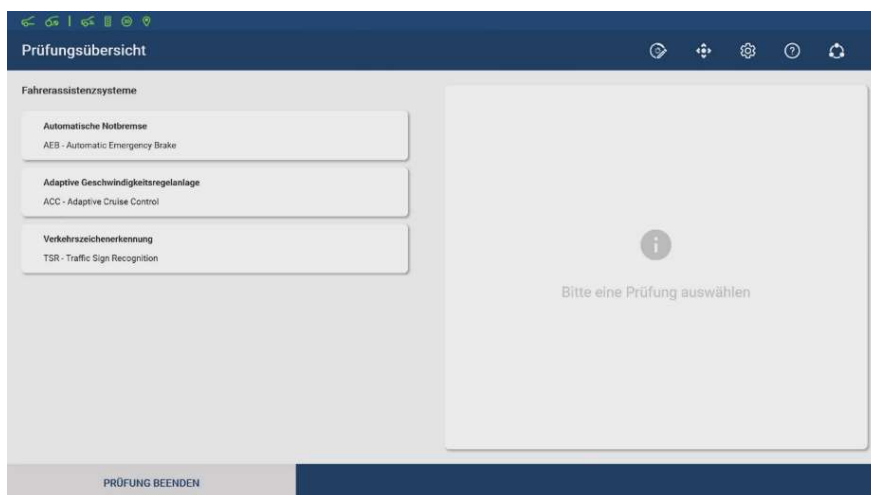


Abbildung 58: Übersicht Prüfungen VW Golf VIII

Das konkrete für die Prüfung auszuführende Szenario wird auf den jeweiligen Prüfplatz angepasst und die Parameter der Prüfung randomisiert variiert. Im Folgenden wird der detaillierte Ablauf einer Prüfung am Beispiel der ACC Prüfung erläutert. Nach erfolgter Auswahl werden dem Prüfenieur Informationen zur Funktionsweise des zu prüfenden Systems angezeigt.

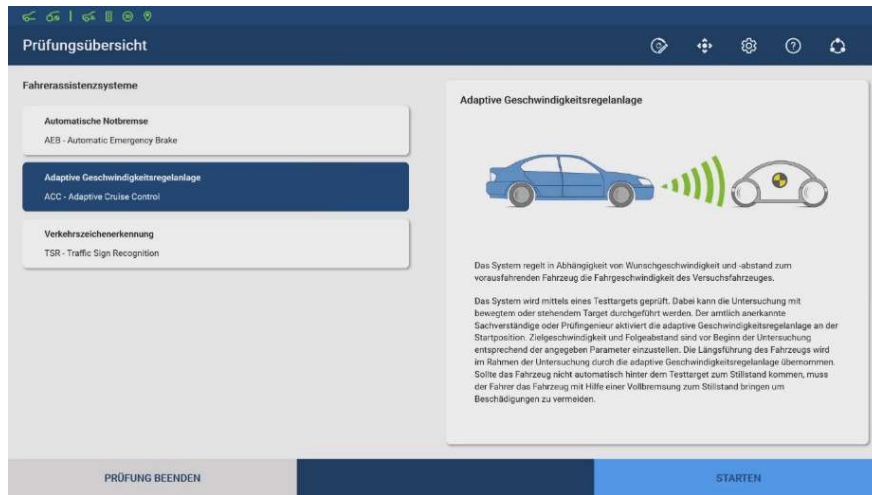


Abbildung 59: Detaillierte Informationen zum ACC bei Auswahl der ACC Prüfung

Im ersten Schritt der Szenarioausführung werden dem Prüflingenieur Durchführungshinweise, relevante Parameter, Handlungsschritte sowie eine Kartenansicht der Prüfstelle/des Prüfstützpunktes angezeigt. Die Durchführungshinweise dienen der genauen Erläuterung der Durchführung der Prüffahrt inklusive des Einschaltens der Systeme im Fahrzeug, soweit notwendig. Relevante Parameter sind beispielsweise Abstände oder Geschwindigkeiten, die vom Prüflingenieur zur korrekten Ausführung der Prüfung eingehalten werden müssen. Die Handlungsschritte geben zusätzliche Informationen über den Prüfablauf. In der Kartenansicht sind die Elemente der Prüfung entsprechend Ihrer realen aktuellen Position dargestellt.

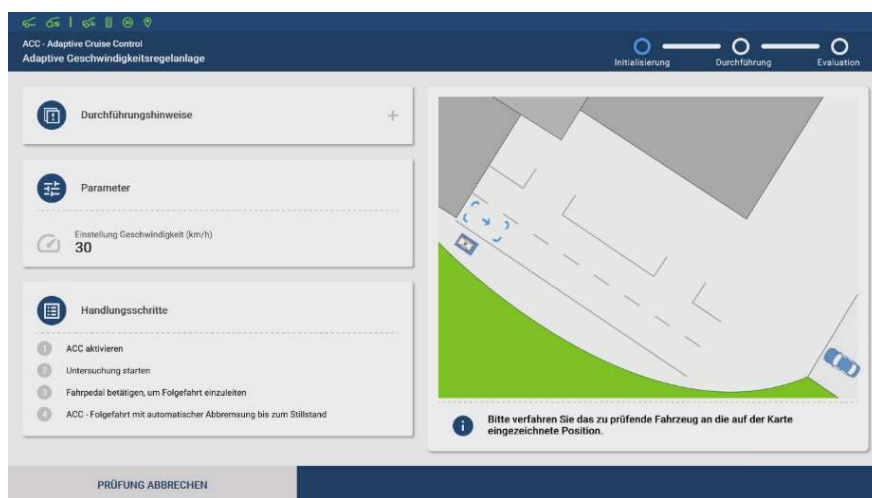


Abbildung 60: Detailinformationen zur Szenarioausführung

Die Anwendung leitet den Prüflingenieur automatisch durch den Prüfablauf. Nach erfolgreicher Positionierung des zu prüfenden Fahrzeuges wird vom Prüfframework die Trajektorie zur Positionierung des Targetträgers mit Versuchstarget errechnet und angezeigt. Die Fahrt des Targetträgers kann freigegeben werden, woraufhin die Positionierung automatisch erfolgt. Sind für die Prüfung das Wechselverkehrszeichen, oder die Lichtsignalanlage notwendig werden diese ebenfalls in diesem Schritt aktiviert. Positionierungsfahrten werden vom Target durch eine Warnblinkfunktion angezeigt.

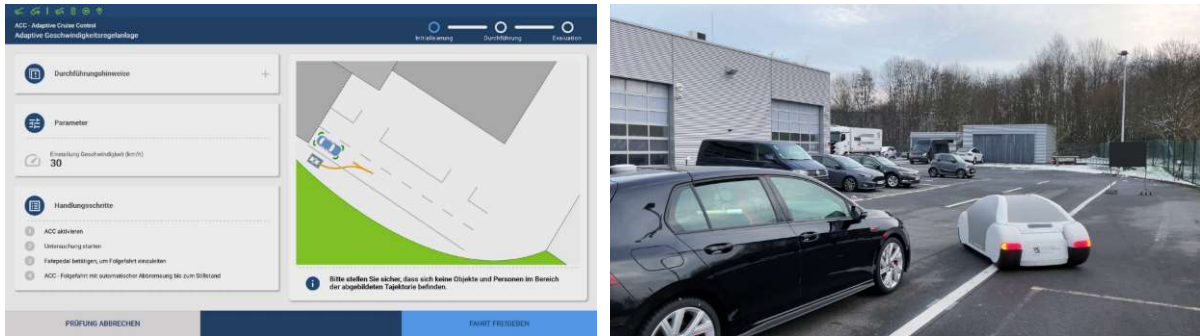


Abbildung 61: Automatisierte Positionierung des Targetträgers inklusive HU-angepasstem Fahrzeugtarget

Nach erfolgreicher Positionierung von VuT und Targetträger erfolgt die Freigabe der Prüffahrt durch den Prüflingenieur. Das Target fährt mit eingeschalteter lichttechnischer Einrichtung. Der Start des Szenarios wird durch einen Countdown visuell und akustisch angezeigt. Für die ACC Prüfung muss der Prüflingenieur nur die Querführung des Fahrzeuges übernehmen und die automatisierte Längsführung durch das Fahrzeugsystem überwachen.

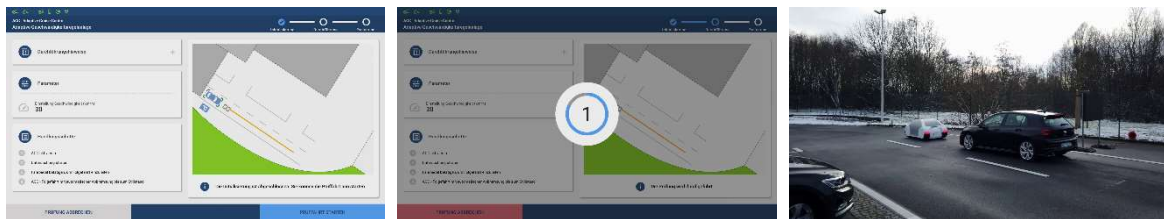


Abbildung 62: Durchführung ACC Szenario

Im Anschluss an die Prüfungsfahrt erfolgt die Bewertung der Durchführung. Hierfür werden Auffälligkeiten automatisch vom Prüfframework ermittelt und dem Prüflingenieur zur Verfügung gestellt. Die Ermittlung von Auffälligkeiten ist die zentrale Aufgabe von Prüftechnologien.

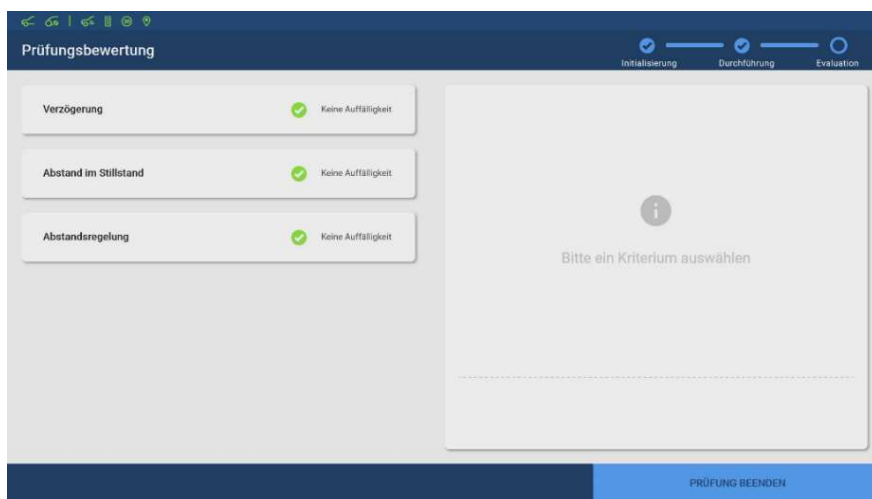


Abbildung 63: Bewertung der Prüffahrt durch das Prüfframework

Auf Grundlage dieser Auffälligkeiten erfolgt die Vergabe von Mängeln durch den Prüflingenieur.

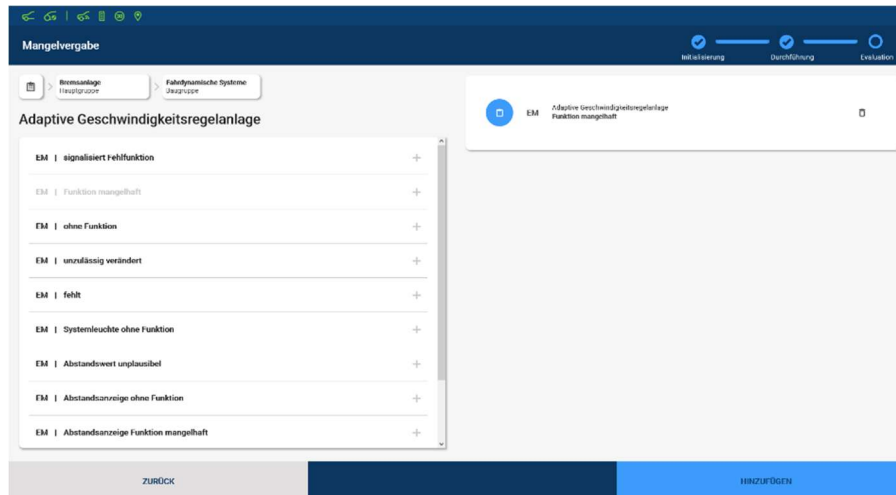


Abbildung 64: Mangelvergabe durch den Prüflingenieur

Die Durchführung der anderen Prüfungen erfolgt analog zu den beschriebenen Schritten. Nachdem alle Prüfungen durchgeführt wurden kann der Targetträger mit Hilfe einer implementierten Parkfunktion an seine Parkposition gefahren werden. Die Berechnung der Trajektorie erfolgt wiederum automatisch vom Prüfframework unter Berücksichtigung der aktuellen Position des Targetträgers und des zu untersuchenden Fahrzeuges. Die Fahrt muss vom Prüflingenieur frei gegeben werden. Die Fahrt selbst erfolgt automatisiert.

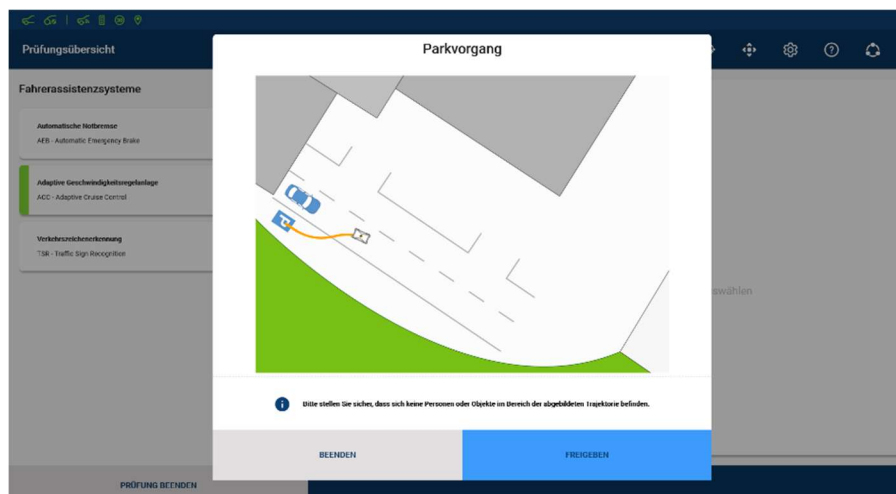


Abbildung 65: Parkmanöver des Targetträgers

Mit Hilfe des Bedien- und Anzeigegerätes lassen sich über die Standardfunktionen hinaus Spezialfunktionen realisieren. Im Rahmen des Projektes konnte eine manuelle Fernsteuerung des Targetträgers umgesetzt werden. Der Prüflingenieur hat hierüber die Möglichkeit einer manuellen Steuerung des Targetträgers.

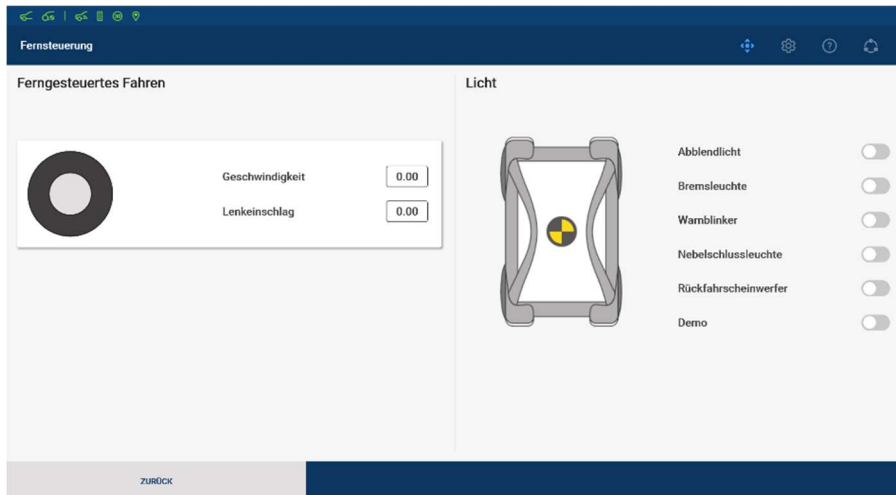


Abbildung 66: Remote-Control-Steuerung

Die Prüfungsübersicht zeigt dem Prüfenieur auf einen Blick die bemängelten Bauteile und Systeme sowie die bereits durchgeführten Prüfungen und stellt damit eine Ergebnisübersicht dar.

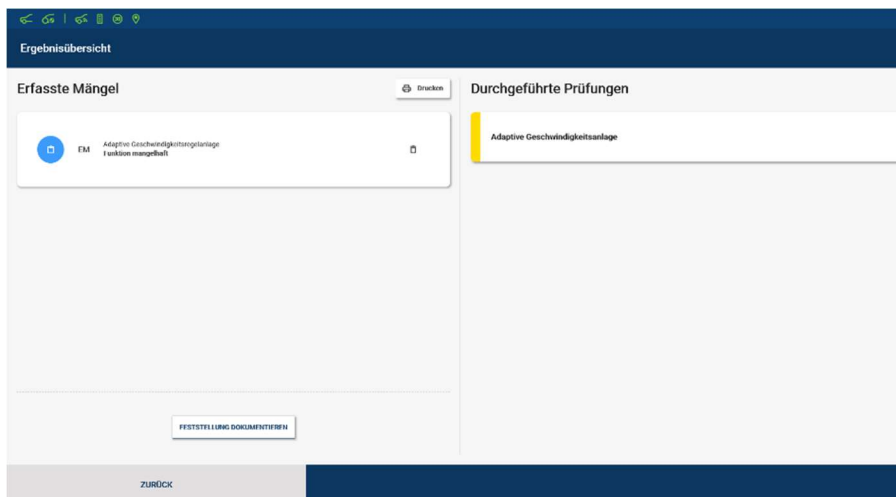


Abbildung 67: Ergebnisübersicht

In einem Verbindungszentrum kann in einem Überblick der Zustand der am Prüfablauf beteiligten Entitäten abgefragt werden.

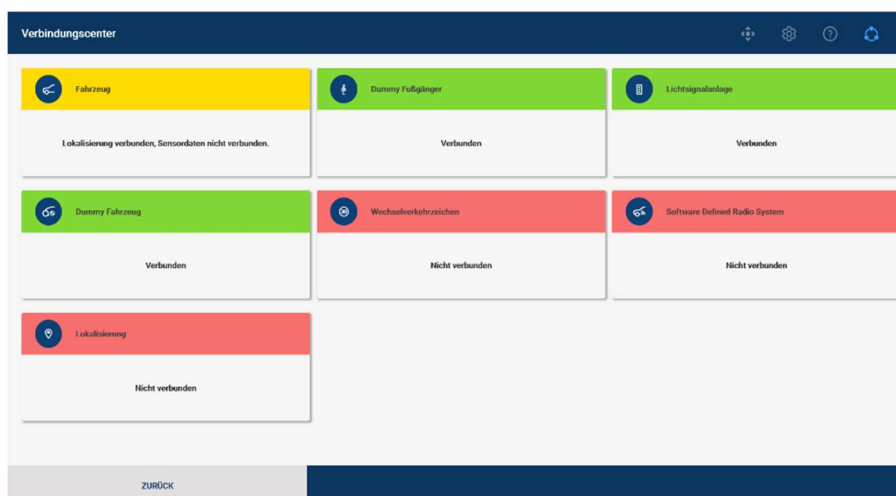


Abbildung 68: Verbindungszentrum

Zusätzlich zur Bedienung über ein Handheld ist auch die Bedienung des kompletten Prüfablaufes mit Hilfe einer Smartwatch umgesetzt. Die Smartwatch ist kompakter und leichter im Fahrzeug zu bedienen. Die umgesetzten Funktionalitäten der Prüfablaufsteuerung sind analog der oben beschriebenen Umfänge. Die Vergabe von Mängel und die Nutzung der Zusatzfunktionen kann nur über die Applikation des Tablets erfolgen.

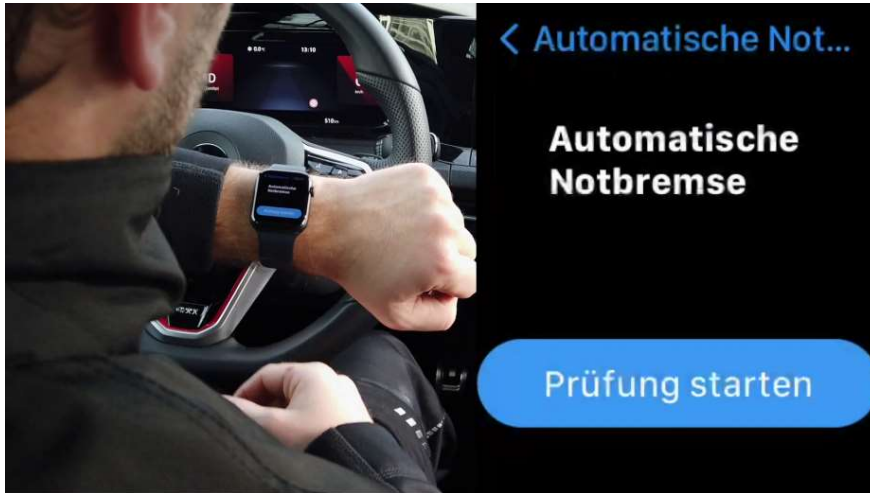


Abbildung 69: Bedienung des Prüfablaufes via Smartwatch

Das zweite im Projekt verwendete Versuchsfahrzeug ist das FSD.Labcar. Dieses Fahrzeug verfügt über eigenentwickelte automatisierte Fahrfunktionen, die im Rahmen des Projektes an die Notwendigkeiten der Prüfungsfahrt angepasst wurden und einen erweiterten Zugriff auf die elektronische Fahrzeugschnittstelle in Form einer Prüfschnittstelle.



Abbildung 70: Fahrzeugauswahl automatisierter Versuchsträger FSD.Labcar

Die Prüfung beginnt hier analog mit der Auswahl des Fahrzeuges und der durchzuführenden Prüfung. Für das FSD.Labcar sind ebenfalls drei Prüfungen exemplarisch umgesetzt.

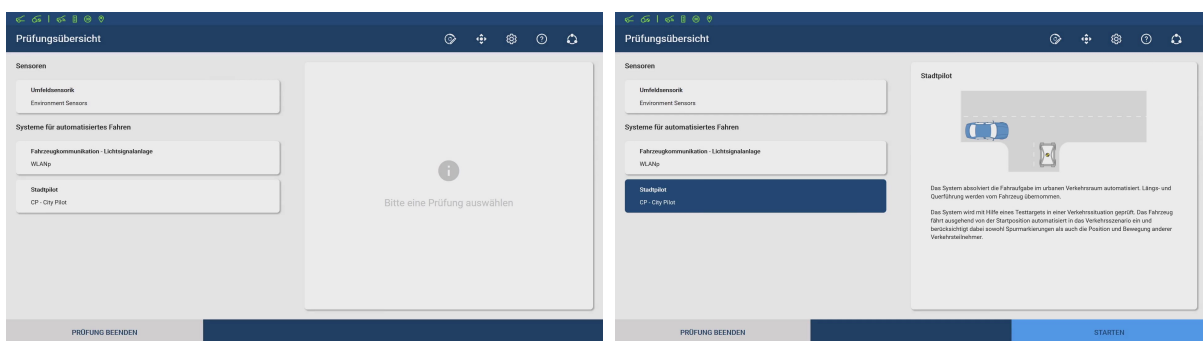


Abbildung 71: Prüfungsauswahl

Die Prüfung des Stadtpiloten erfolgt über ein Rechts vor Links Szenario, wobei das Versuchsfahrzeug die Vorfahrt gewähren muss. Der Targetträger wird automatisiert positioniert. Der Prüflingenieur gibt die Positionierungsfahrt frei.

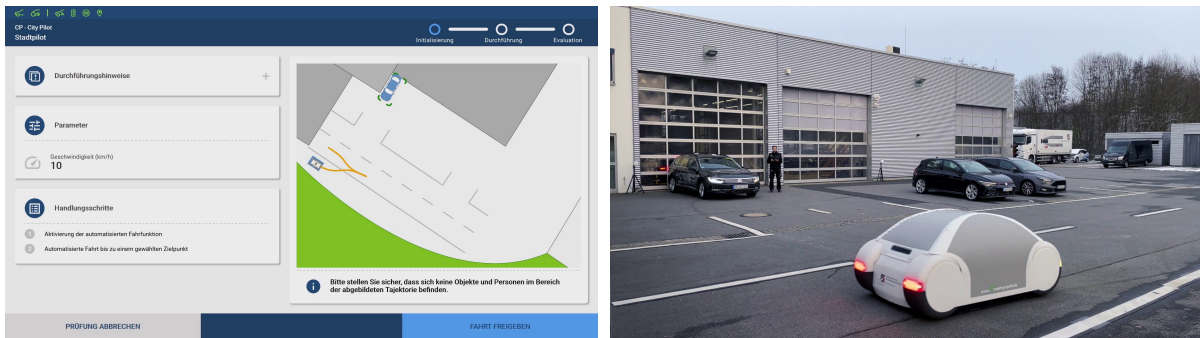


Abbildung 72: Targetträger Positionierungsfahrt

Zur Information des Prüflingenieurs wird die Prüfung ebenfalls durch einen Count-Down eingeleitet.

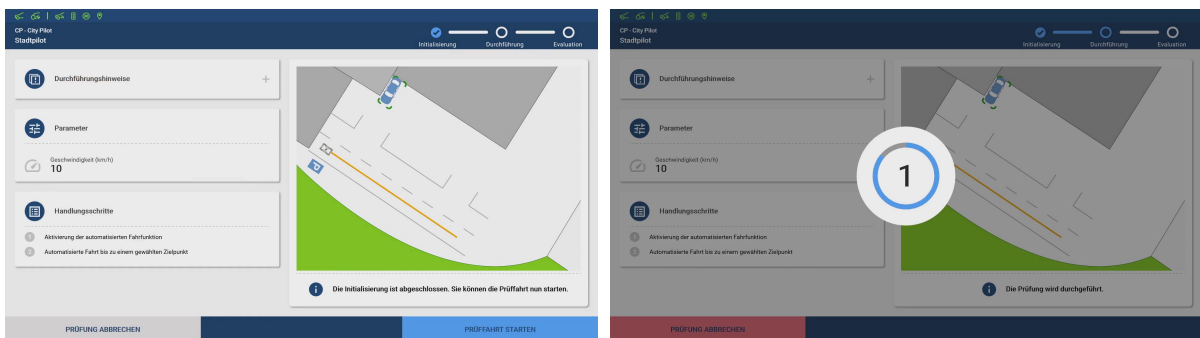


Abbildung 73: Manöverübersicht und Count-Down

Nach erfolgter Prüfungsfahrt erfolgt die Bewertung des Szenarios.



Abbildung 74: Durchführung Rechts vor Links Szenario

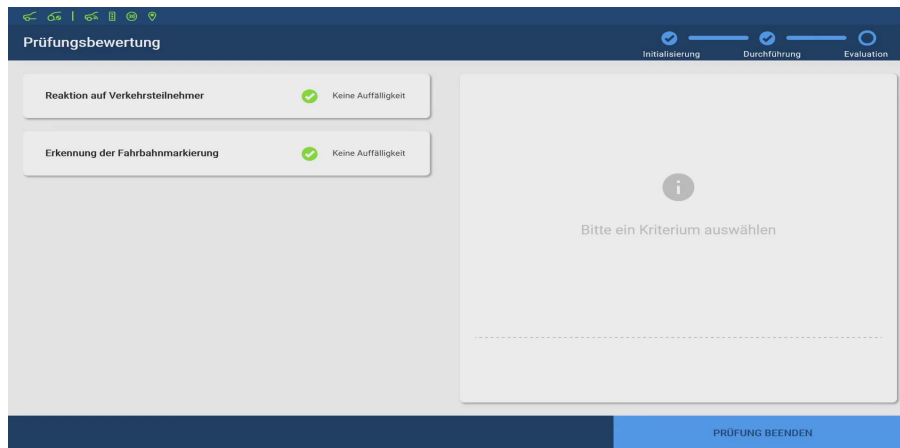


Abbildung 75: Bewertung der Prüffahrt

Das FSD.Labcar verfügt über ein umfangreiches Sensorsetup. Die Objektdaten der Umfoldsensoren können über einen erweiterten Zugriff über die elektronische Fahrzeugschnittstelle zur Wirkungsprüfung der Umfoldsensorik genutzt werden.

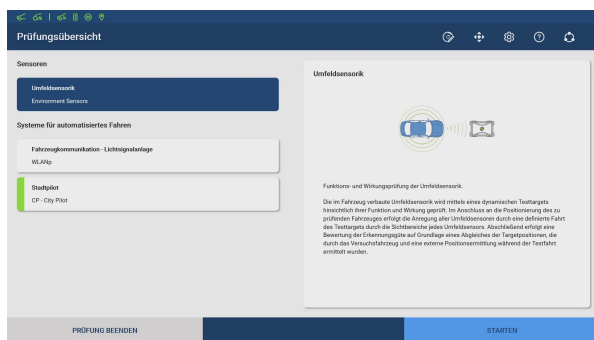


Abbildung 76: Sensorprüfung – Startposition

Für die Stimulation der Sensoren umfährt der Targetträger das zu untersuchende Fahrzeug und bewegt sich damit durch den Detektionsbereich aller verbauten Umfoldsensoren.

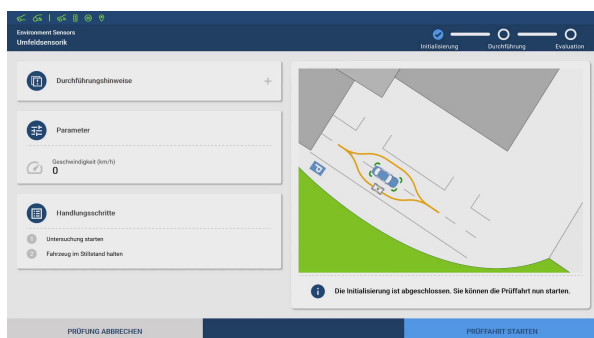


Abbildung 77: Sensorprüfung - Durchführung

Die Ermittlung von Auffälligkeiten der Umfoldsensorik erfolgt über einen Positionsabgleich. Der Abgleich der vom Fahrzeug erkannten Targetträgerposition und der über das Referenzsystem vom Prüfframework verarbeiteten Positionsdaten liefert die Grundlage für die Ermittlung von Auffälligkeiten bei der Positionsbestimmung des Targets durch die Umfoldsensorik des Fahrzeugs.

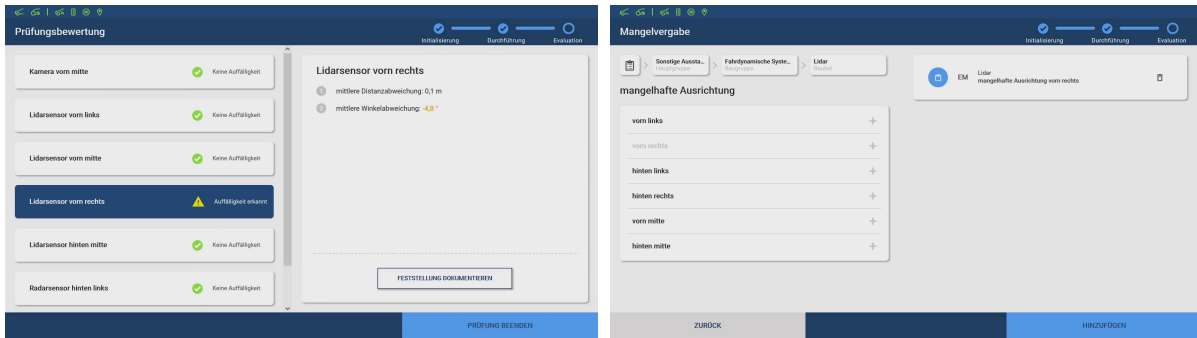


Abbildung 78: Sensorprüfung - Auffälligkeiten und Mangelvergabe

Im Anschluss an die automatisierte Auffälligkeitsbestimmung erfolgt die Mangelvergabe durch den Prüflingenieur.

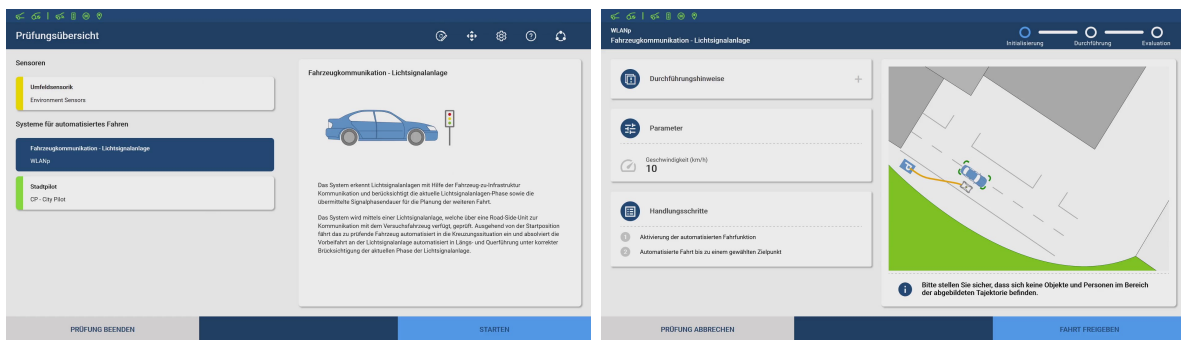


Abbildung 79: Prüfung Fahrzeugkommunikation Lichtsignalanlage - Prüfungsauswahl

Für die Prüfung der Kommunikation mit einer Lichtsignalanlage wird der Targetträger nicht benötigt, sodass dieser automatisiert auf seine Parkposition gefahren werden kann. Für diese Prüfung fährt das Versuchsfahrzeug an eine V2X-fähige Lichtsignalanlage heran. Die Phase der Lichtsignalanlage wird visuell und via V2X übertragen. Mit Hilfe eines Software Defined Radio wird parallel die Kommunikationsschnittstelle WLANp des Fahrzeuges überprüft.

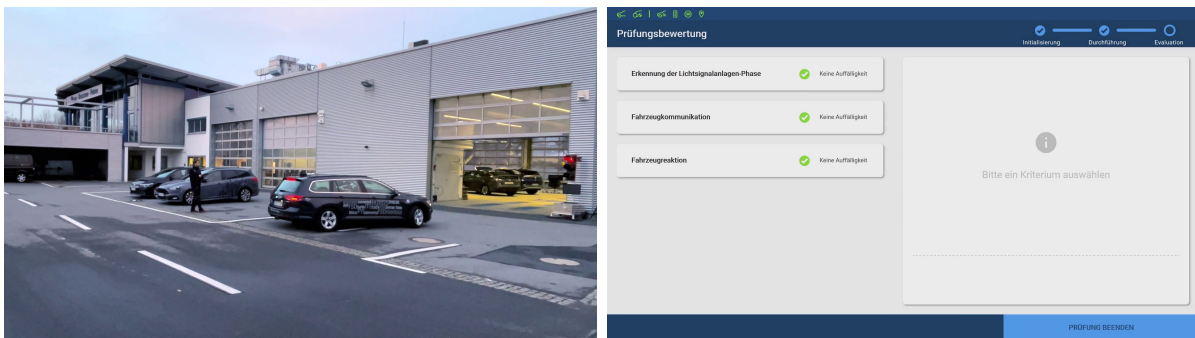


Abbildung 80: Prüfung Fahrzeugkommunikation Lichtsignalanlage - Durchführung und Bewertung

Abschließend erfolgt die Bewertung des Szenarios.

2.2.8 Prüfframework

Das Prüfframework ist ein zentrales Element des ErVast Gesamtansatzes und des im Projekt ErVast entstandenen Demonstrators. Alle Funktionalitäten und Informationsflüsse zur Steuerung und Bewertung der Prüfung wurden hier implementiert. Die Entwicklung der einzelnen Teilelemente des Frameworks erfolgte dezentral. Zur Vereinfachung der Gesamtimplementierung der Module ins Prüfframework und der Tests in der Einsatzumgebung erfolgte die Umsetzung in Form von Softwarecontainern.

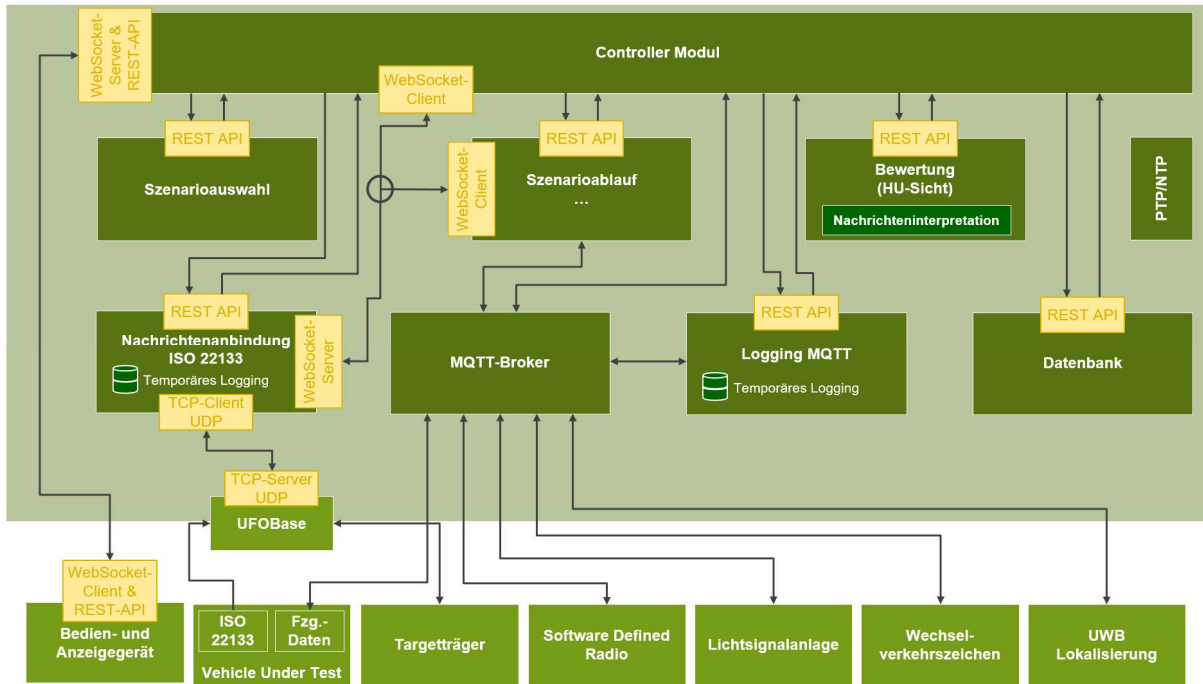


Abbildung 81: Topologie Prüfframework

Integrationstests erfolgten auf einem On-Premise Server System des Projektleiters FSD GmbH mit der realen Hardware. Teilaspekte wurden von den beteiligten Partnern in eigenen Entwicklungsumgebungen vorgetestet, um das aufwendigere Testen mit der realen Hardware zu reduzieren.

Modul Controller

Das von der FSD GmbH umgesetzte Controller-Modul ist die übergeordnete Instanz zur Koordination des Gesamtablaufes innerhalb des Frameworks und damit auch des realen Prüfablaufs. Von diesem Modul werden die einzelnen Funktionalitäten angesteuert und der gesamte Datenfluss innerhalb des Prüfframeworks gelenkt. Der Prüfablauf, der vom amtlich anerkannten Sachverständigen oder Prüferingenieur mit Hilfe des Bedien- und Anzeigerätes gesteuert wird, beginnt mit der Auswahl des Fahrzeuges und der durchzuführenden Prüfung. Die möglichen Prüfungen werden fahrzeugspezifisch ermittelt und angezeigt. Anschließend werden vom Controller Modul notwendige Informationen an das Szenarioablaufmodul übergeben. Hierbei werden entsprechende Informationen aus dem Szenarioauswahlmodul berücksichtigt. Im Anschluss an die Durchführung der Prüfung werden notwendige Daten an das Bewertungsmodul übergeben und die Bewertung gestartet. Abschließend erfolgt die Mangelvergabe durch Eingabe am Bedien- und Anzeigerät, sowie der formale Abschluss der Prüfung.

Zusätzliche Funktionalitäten des Moduls sind die Realisierung einer Fernsteuerung inkl. Steuerung der LTE des Targetträgers. Der Verbindungsstatus der Entitäten wird überwacht.

Das Controller Modul führt die Teilfunktionen der Module zusammen und ermöglicht so den grundsätzlichen Ablauf einer Prüfung. Weiterhin ist in diesem Modul auch das Datenmanagement des Prüfframeworks implementiert. Die lesende und schreibende Kommunikation mit der Datenbank wird beispielsweise hier abgebildet.

Die im Prüfframework ablaufenden Prozesse sollen zur Vereinfachung der Handhabung für den Prüferingenieur während der Hauptuntersuchung verborgen sein. Die Komplexität muss zur intuitiven

Handhabung deutlich reduziert werden. Hierfür sind die bereits vorgestellten Bedien- und Anzeigegeräte essentiell. Diese werden ebenfalls über das Controller Modul angebunden und der bidirektionale Informationsfluss koordiniert.

Modul Datenbank

Die Datenbank dient der Bereitstellung notwendiger Informationen für die Durchführung des Prüfablaufs. Szenariodaten müssen entsprechend der zu prüfenden Fahrfunktion abgerufen werden. Hier sind auch die benötigten Prüfstellendaten hinterlegt, die notwendig sind, um die durchzuführenden Prüfscenarien an die jeweiligen prüfstellenspezifischen Rahmenbedingungen anzupassen. Weiterhin sind für die Prüfung Daten des untersuchten Fahrzeuges und des verwendeten Testtargets hinterlegt.

Bei der Durchführung des Prüfablaufs anfallende Daten werden in der Datenbank persistent abgelegt. Hierzu zählen beispielsweise die konkreten Szenariodaten, die Zuordnung von Bewertung, Prüfung und Szenario sowie die Mangelvergabe durch den Prüflingenieur. Eine weitere wesentliche Quelle für zu speichernde Daten sind die während des Prüfablaufs fahrzeugseitig und frameworkseitig anfallende Messdaten, die die Grundlage für die Bewertung der geprüften Fahrfunktionen liefern. Beispiel hierfür sind die Lokalisierungsdaten von Fahrzeug und Targetträger. Diese müssen mindestens bis zum formalen Abschluss der Prüfung abgelegt und dem Bewertungsmodul zur Verfügung gestellt werden.

Modul Szenarioauswahl

Das Szenarioauswahl Modul dient der Aufbereitung und Einspeisung von Testszenarien, die im Testablauf des zu prüfenden Fahrzeugs, das *Vehicle under Test* (VuT), durchlaufen werden sollen.

In ErVast wurden die ASAM OpenX Standards¹ als geeignete Standards evaluiert um die zuvor generierten Szenariodaten im Prüfframework zu verwenden. Fraunhofer IVI legte hierbei insbesondere den Fokus auf ASAM OpenSCENARIO² und ASAM OpenDRIVE³. Beide sind offene Standards und stehen somit einer breiten Nutzerbasis zur Verfügung und werden von einer zunehmenden Zahl an Werkzeugen bzw. Simulationsumgebungen unterstützt. Für die Entwicklungen im Prüfframework wurde (aus Kompatibilitätsgründen zu verfügbaren Kartenbeschreibungen) OpenDRIVE in der Version 1.4 berücksichtigt. OpenSCENARIO wurde initial in der Version 1.0 evaluiert. Für die Implementierung im Projektverlauf wurde dann die zwischenzeitlich veröffentlichte Aktualisierung 1.1 berücksichtigt.

Die Funktionsweise von OpenSCENARIO adressiert die wesentlichen Anforderungen für das ErVast-Prüffeld. Beispiele hierfür sind präzise Beschreibungen von:

- Aktionsauslöser/-Trigger und deren Kopplungsmöglichkeiten an komplexe Situationsbedingungen bzw. Bedingungsrelationen
- Aktionen i.S.v. Fahrmanövern sowie Verkettungen dieser, aber auch Infrastrukturaktionen wie z.B. Signalwechsel
- Einbindung externer Controller, z.B. digitale Zwillinge automatisierter Fahrfunktionen oder realer Targetträger
- Dynamische Szenarienabläufe, die nicht einer vordefinierten Abfolge von Handlungen folgen, sondern auf Handlungen und Bedingungen z.B. der Entitäten im Prüffeld reagieren

¹ <https://www.asam.net/standards/domain-overview-simulation/>

² <https://www.asam.net/standards/detail/openscenario/>

³ <https://www.asam.net/standards/detail/opendrive/>

Letzteres war von besonderer Bedeutung für das ErVast-Projekt. Da in den realen Prüfabläufen keine maschinelle Steuerung, z.B. durch Lenkroboter, in das VuT eingesetzt werden sollte, variiert die manuelle Fahrzeugsteuerung durch den Sachverständigen in jedem Prüfdurchgang. Die Prüfscenarien müssen hierauf reagieren, andernfalls können essenzielle Testkriterien (z.B. definierte Abstände oder Time-to-Collision Bedingungen) nicht eingehalten werden.

Weiterhin bestehen in OpenSCENARIO enge Kopplungsmechanismen mit digitalen Karten wie OpenDRIVE. Beispielsweise können Bedingungen und Aktionen in Bezug zur Straßengeometrie bzw. dem Straßenkoordinatensystem beschrieben werden, anstatt ausschließlich in Weltkoordinaten. Dieser Mechanismus ist eine der Grundlagen, die eine Prüfplatz-unabhängige Szenarienbeschreibung bzw. eine Prüfplatz-spezifische Konfiguration von Szenarien ermöglicht.

Die Prüfplatz-spezifische Adaption der zu durchlaufenden Prüfscenarien stellt die erste Hauptaufgabe des Szenarioauswahl-Moduls dar. Hierfür werden zunächst innerhalb des ErVast-Prüfframeworks vom Controller-Modul die Szenarienbeschreibungen und zugehörige Daten (z.B. digitale Karten) an das Szenarioauswahl-Modul übertragen. Die Szenarienbeschreibungen werden als logische Szenarien übergeben, d.h. Sie sind abstrahiert und verfügen über Freiheitsgrade bei der Parametrisierung des konkreten Ablaufs. Mit Hilfe der übergebenen konkreten digitalen Kartendaten werden die logischen Szenarien auf die Teststrecke des jeweiligen Prüfplatzes parametrisiert. Beispielsweise werden die Start- und Endpositionen der jeweiligen Prüfentitäten, wie VuT und die Targetträger bestimmt oder auch die Positionen weiterer Infrastrukturelemente, wie vernetzte Lichtsignalanlagen oder Wechselverkehrszeichen. Sollen die Targetträger mit vorgeplanten Trajektorien für das konkrete Prüfscenario betrieben werden, müssen zudem konkrete Trajektorien für den spezifischen Prüfplatz abgeleitet werden.

Zudem kommt bei der Berechnung der konkreten Trajektorien und Szenarioabläufe die zweite Hauptaufgabe des Szenarioauswahl-Moduls zum Tragen, der Variation von Szenarioparametern. Dies stellt eine mögliche Maßnahme zur Verringerung von Möglichkeiten zur Testoptimierung auf einzelne Prüfscenarien dar.

Aus dem Zusammenwirken von Parametervariation und Szenarioadaption an die Gegebenheiten des jeweiligen Prüfplatzes können logische Szenarien in konkrete Prüfscenarien für ErVast überführt werden (s. Abbildung 82). Die konkreten Szenarienbeschreibungen werden wieder an das Controller-Modul übergeben und können an das Szenarioablauf-Modul übergeben werden.

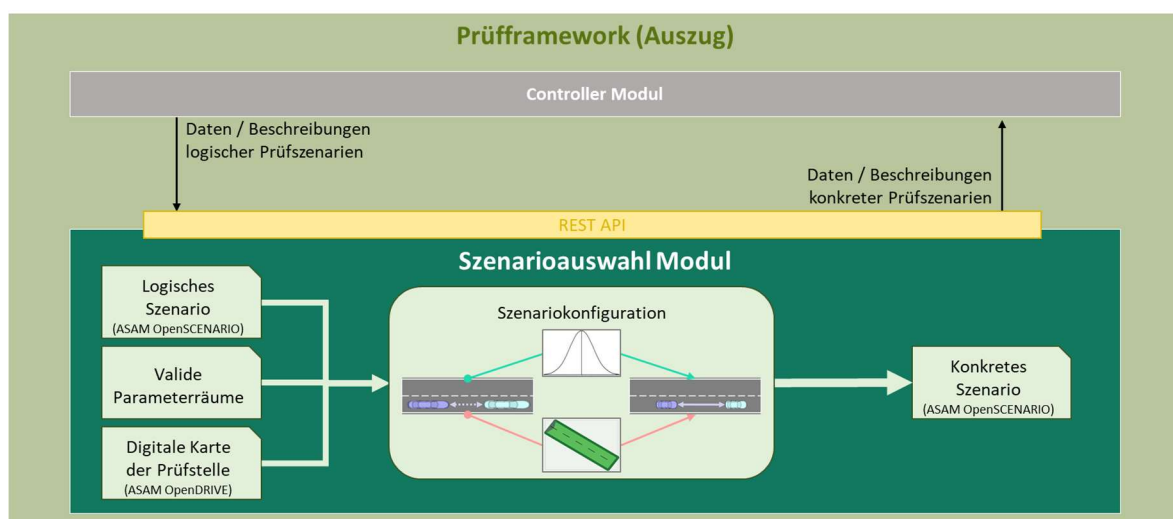


Abbildung 82: Grundlegende Wirkweisen, Schnittstellen und Funktionen des Szenarioauswahl-Moduls

Modul Szenarioablauf

Hauptaufgabe des Szenarioablauf Moduls ist die Koordinierung, Überwachung und Validierung des Szenarioablaufs bei der Durchführung von Prüfscenarien.

Die Überwachung ist erforderlich, um im Nachgang des Szenariodurchlaufs mögliche Einflussfaktoren des konkreten Szenarioablaufs auf die Leistungsfähigkeit des zu prüfenden Systems bewerten zu können. Weicht ein konkreter Szenarioablauf zu stark von den Vorgaben ab, kann die Wirkung des zu prüfenden Systems nicht mehr ausschließlich auf die Leistungsfähigkeit des Systems zurückgeführt werden. Ein solcher stark abweichender Szenariodurchlauf muss entsprechend als ungültig bewertet und wiederholt werden.

Zudem hat sich aus den im Projektverlauf spezifizierten Anforderungen für den Prüfablauf ein erhöhter Koordinierungsbedarf zur Herstellung der Szenariokonstellation und zur Ausführungen von Aktionen und Manövern der Prüfentitäten während des Szenarioablaufs ergeben. Ein Beispiel hierfür ist der Verzicht auf Lenkroboter in den VuT. Durch die manuelle Steuerung der zu prüfenden Fahrzeuge ergeben sich zwangsläufig Variationen im Szenarioablauf, auf die die weiteren Prüfentitäten entsprechend reagieren müssen. Die Prüfscenarien können somit nicht im Vorfeld vollständig durchgeplant und anschließend exakt dieser Vorplanung abgespielt werden. Die hierfür notwendige Orchestrierung wurde im Projekt weitgehend durch das Szenarioablauf-Modul übernommen. Beispiele hierfür sind die Berechnung von Szenario-adaptiven Trajektorien für die Targetträger (vgl. Abschnitt zum Szenarioauswahl-Modul), die Evaluierung von Trigger-Bedingungen für Aktionen und Manöver der Prüfentitäten, Informationen für Handlungsanweisungen an den Sachverständigen, Koordinierungsanweisungen an weitere Messsysteme im Prüffeld wie z.B. V2X-Referenzsysteme.

Diese Anforderungen machten die Entwicklung einer komplexen Mirco-Service-Architektur innerhalb des Szenarioablauf-Moduls erforderlich, die in Abbildung 83 als Überblick über die wichtigsten Dienste dargestellt ist.

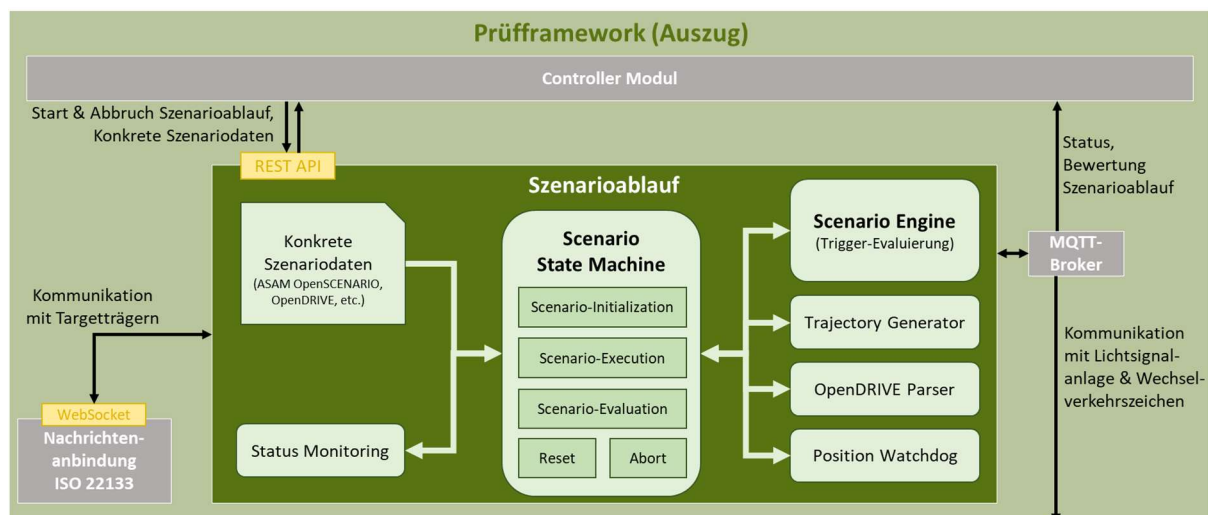


Abbildung 83: Grundlegende Systemarchitektur des Szenarioablauf-Moduls

Für die Anbindung an weitere Module im Framework sowie für die Kommunikation mit den Prüfentitäten im Prüffeld war die Entwicklung einer Reihe von Schnittstellen und Kommunikationsdiensten erforderlich.

Status-Monitoring

Das Monitoring der Entitäten im Prüffeld aber auch weiterer an das Szenarioablauf-Modul angebundener Framework-Module ist eine Kernaufgabe dieses Moduls. Das umfasst die Überwachung des Eigenzustands der im Modul implementierten Services, innerhalb des Prüfframeworks insbesondere die Zustände des Nachrichtenanbindungs-Moduls und hinsichtlich der Entitäten im Prüffeld u.a. die Targetträger, das VuT, vernetzte LSA und Wechselverkehrszeichen. Der Status dieser Systeme bzw. Subsysteme wird kontinuierlich überwacht und an die Scenario State Machine übermittelt.

Scenario State Machine

Die Scenario State Machine ist hauptverantwortlich für die Zusammenführung verschiedener Informationen aus dem Prüffeld, der Koordinierung der einzelnen Schritte zur Vorbereitung, Durchführung und Bewertung von Szenarioabläufen sowie der Überprüfung hierfür notwendiger Rahmenbedingungen. Die Zustände der Scenario State Machine sind dabei in verschiedene Phasen von Prüfscenarioabläufen geclustert, wie:

- Initialisierung,
- Ausführung,
- Bewertung,
- Zurücksetzen und
- Abbruch

von Szenarien. Die umfassenderen Phasen werden nachfolgend näher beschrieben.

Scenario State Machine – Szenario-Initialisierung

Bei der Initialisierung eines Szenarios wird zunächst eine Startprozedur ausgeführt, in der u.a. die Kommunikationsverbindungen aufgebaut bzw. validiert werden. Die vom Controller-Modul empfangenen konkreten Szenariodaten werden verarbeitet. Anschließend werden die am Prüfscenario beteiligten Entitäten für das Szenario konfiguriert.

Zudem ist zu beachten, dass die aktuelle Position von Targetträgern und VuT nicht mit der Startposition für das ausgewählte Prüfscenario übereinstimmen muss. Es ist daher erforderlich die Targetträger und das VuT zu ihren jeweiligen Szenario-Startpositionen zu koordinieren (s. Abbildung 84). Hat der Fahrer die Startposition erreicht, wird die Beibehaltung dieser bis zum eigentlichen Szenariostart kontinuierlich überwacht (sog. Position Watchdog). Für die Targetträger sind dagegen ähnliche Mechanismen wie für die eigentliche Szenariodurchführung erforderlich. Das bedeutet, dass die Targetträger die vollständige Initialisierungskette in Anlehnung an den aktuellen Entwurf des ISO/AWI TS 22133 Standards durchlaufen müssen.

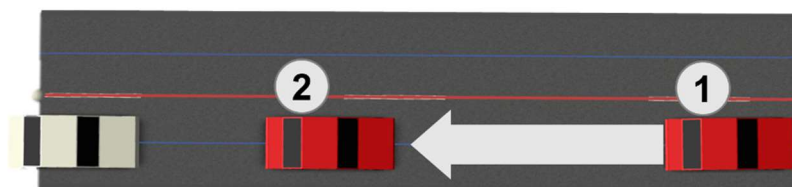


Abbildung 84: Schematisches Beispiel für eine notwendige Positionsverschiebung eines Targetträgers von der aktuellen Ausgangsposition (1) hin zur Startposition des ausgewählten Prüfscenarios (2)

Sobald alle Prüfentitäten entsprechend der Vorgaben aus dem Prüfscenario konfiguriert bzw. an ihrer jeweiligen Startposition für das ausgewählte Prüfscenario sind, kann mit der eigentlichen Ausführung des Prüfscenarios begonnen werden.

Scenario State Machine – Szenario-Ausführung

Zu Beginn der Szenario-Ausführung werden zunächst die Entitäts-spezifischen Szenariodaten übertragen, z.B. die Szenario-Trajektorien für die Targetträger. Der Szenario-Start wird auf Anweisung des Sachverständigen über das HMI bzw. das Controller-Modul initiiert. Während der Szenario-Ausführung werden kontinuierlich Szenario-relevante Parameter überwacht und gespeichert. Die Überwachung während der Szenario-Ausführung ist einerseits für die Trigger-Evaluierung und andererseits für die Szenario-Beendigung bzw. ggf. den Szenario-Abbruch erforderlich. Das Monitoring ist eng an die Ausführung der Scenario Engine (vgl. nachfolgenden Abschnitt) gekoppelt. Bei der Trigger-Evaluierung werden die in den konkreten OpenSCENARIO-Beschreibungen definierten Bedingungen geprüft und bei deren Eintreten entsprechend daran geknüpfte Aktionen ausgelöst. Bedingungen in einem Szenarioablauf können z.B. das Erreichen oder Verlassen definierten Positionen, Geschwindigkeiten, Abstände oder Time-to-Collisions (TTC) von Entitäten oder mehreren Entitäten zueinander sein. Hierbei wurde ein weites Feature-Set des OpenSCENARIO-Standards im Funktionsmuster implementiert. Die bei positiv evaluierten Trigger-Bedingungen ausgelösten Handlungsanweisungen orientieren sich an den Features-Sets der im Prüffeld applizierten Entitäten. Bei den Targetträgern werden beispielsweise das Auslösen von Trajektorien oder das zeitliche Synchronisieren dieser mit Bewegungen weiterer Entitäten wie dem VuT unterstützt. Bei den vernetzten LSA können Trigger-initiierte Signalwechsel ausgelöst werden (vgl. Abschnitt zur Lichtsignalanlage). Sind V2X-Messungen in dem Prüfscenario vorgesehen, können zudem Start- bzw. Stopp-Anweisungen an die hierfür verantwortlichen Messentitäten generiert und übertragen werden. Die Phase der Szenario-Ausführung wird solange beibehalten, bis eine oder eine bestimmte Kombination an Endbedingungen erreicht wurde, bspw. wenn sowohl die Targetträger als auch das VuT an bzw. in der Nähe ihrer jeweiligen Zielpositionen vollständig zum Stehen gekommen sind. Dies muss nicht zwangsläufig einem erfolgreichen Szenarioablauf gleichkommen. Diese Evaluierung erfolgt im Anschluss in der Szenario-Bewertung und wird im nachfolgenden Abschnitt weiterführend erläutert. Werden jedoch bestimmte Rahmenbedingungen gravierend verletzt, kann ein Szenario-Abbruch initiiert werden. Das kann bspw. ein starkes Über- oder Unterschreiten einer Zielgeschwindigkeit des VuT sein, durch die die beabsichtigte Szenario-Konstellation mit den Targetträger nicht sicher durchgeführt oder die Konstellation gar nicht erst erreicht werden kann.

Scenario State Machine – Szenario-Bewertung

Im Rahmen der Bewertung des Szenarioablaufs werden IST-/SOLL-Vergleiche zwischen den Vorgaben aus den konkreten Szenarienbeschreibungen mit den aufgezeichneten Messdaten des jeweiligen Szenariodurchlaufs vorgenommen. Beispielsweise wird geprüft, ob die Aktions-Trigger korrekt ausgelöst wurden und ob die darauf zu folgenden Aktionen auch so ausgeführt wurden, wie sie im Vorfeld definiert waren. Befinden sich die Vergleiche zwischen Szenario-IST und -SOLL im Rahmen der akzeptierten Parameterbereiche, wird das Szenario positiv evaluiert und es kann die Leistungsbewertung der zu prüfenden Systeme des VuT erfolgen. Wird der Szenarioablauf als ungültig bewertet, wird das Szenario neu initialisiert und erneut durchlaufen.

Scenario-Engine

Die Szenario-Engine wird während der Phase der Szenario-Ausführung verwendet. Sie entspricht einer virtuellen Repräsentation des Geschehens auf dem realen Prüffeld. In ihr werden, ähnlich wie in der Scenario State Machine, ebenfalls die konkreten Szenariodaten verarbeitet. Hier steht jedoch die Evaluierung der in der jeweiligen OpenSCENARIO-Beschreibung definierten Trigger-Bedingungen im Fokus. Mit Hilfe der Szenario-Engine lassen sich auch komplexe Verknüpfungen (inkl. AND-/OR-Beziehungen) zwischen verschiedenen Triggerbedingungen bewerten. Je nach Szenarienbeschreibung werden insbesondere die kinematischen Daten des VuT berücksichtigt, da im Rahmen der ErVast-Szenarien insbesondere auf das VuT reagiert werden soll. Werden Trigger positiv evaluiert wird eine Nachricht an die Scenario State Machine übermittelt, die daraufhin entsprechende Handlungsanweisungen an die Entitäten im Prüffeld auslöst.

Zusammenfassende Ergebnisse zum Frameworkmodul Szenarioablauf

Ein wesentliches Ziel der Entwicklung des Frameworkmoduls Szenarioablauf war die Herstellung einer Kompatibilität zu einer Vielzahl an möglichen Szenarienabläufen über harmonisierte Szenarioeingangsdaten. Die im Frameworkmodul entwickelten Funktionsmuster unterstützen die ASAM Standards OpenSCENARIO (1.1) sowie OpenDRIVE (1.4 bzw. 1.5).

Damit geht einher, dass die standardisierten Szenarioeingangsdaten auf die Gegebenheiten des jeweiligen Prüffeldes adaptiert und zur Verringerung von Möglichkeiten zur Testoptimierungen Parametervariationen vorgenommen werden können. Dennoch bleiben die Prüfzuszenarien durch die Mechanismen im Frameworkmodul weiterhin dynamisch, so dass auch etwaige Variationen im Fahrverhalten des VuT dennoch zu validen Szenarioabläufen führen können. Dies wird im Frameworkmodul bspw. durch Trigger-Action-Beziehungen implementiert, bei denen die Prüfentitäten wie Targetträger oder vernetzte LSA auf definierte Bedingungen im Zusammenhang mit dem VuT reagieren sollen.

Modul ISO Nachrichtenbindung

Das Modul ISO Nachrichtenbindung stellt die steuerungsrelevante Verbindung von Targetträger und VuT zum Prüfframework her. Es basiert auf den im Draft der ISO 22133 dargestellten Abläufen und Nachrichtenformaten. Dieser Draft stand dem Konsortium nicht direkt zur Verfügung, da kein Projektpartner Mitglied der Normungsgruppe ist. Allerdings konnte Humanetics, als Unterauftragnehmer der FSD GmbH, dem Konsortium die implementationsrelevanten Informationen in Form einer Schnittstellenbeschreibung zur Verfügung stellen. Für eine Umsetzung im Sinne eines Demonstrators war dieses Vorgehen im Projekt sehr gut geeignet. Die folgende Abbildung zeigt eine exemplarische Kommunikation zwischen dem Targetträger und dem umgesetzten Modul während der Initialisierungsphase, wie in der Schnittstellendokumentation von Humanetics beschrieben.

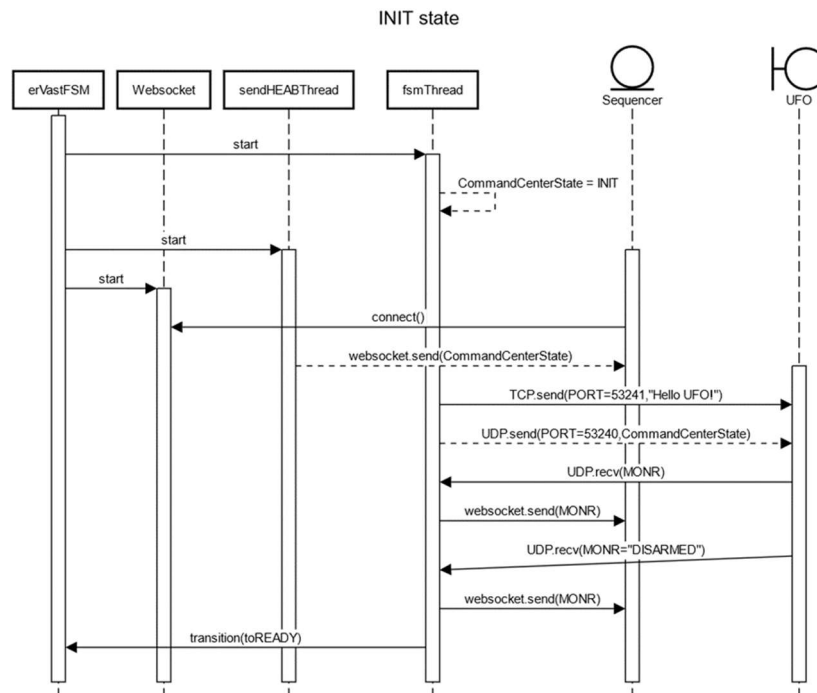


Abbildung 85: Exemplarische Kommunikation während des Initialisierungsprozesses

Im Modul erfolgt die Interpretation und Übersetzung von Steuer- und Statusnachrichten. Eingehende und ausgehende Nachrichten werden zur weiteren Verwendung im Framework in interne Formate übertragen.

Modul MQTT-Broker

Zur frameworkinternen und -externen Kommunikation zu den weiteren Entitäten des Prüfablaufs kommt ein Message-Broker auf MQTT-Basis zum Einsatz. Auf diesem Broker können die Entitäten relevante Informationen und Messwerte veröffentlichen. Das Abonnieren der entsprechenden Topics durch die Elemente, welche spezifische Informationen benötigen, ermöglicht eine zielgerichtete Informationsverteilung auch großer Datenmengen.

Modul NTP-Server

Dieses Modul dient der Zeitsynchronisation des gesamten Prüfablaufs. Dem Frameworkserver und den Entitäten kann somit die hochgenaue GPS-basierte Zeit zur Verfügung gestellt werden. Dies ist notwendig um für die Steuerung und die spätere Auswertung der Messdaten eine einheitliche Zeitbasis zu Grunde zu legen.

Modul Messdatenaufnahme

Die Aufgabe des Modul Messdatenaufnahme ist das Zwischenspeichern der über MQTT bereitgestellten Messdaten. Hierzu zählen der Status der Entitäten, Dynamik- und Lokalisierungsdaten, sowie Daten der Umfeldsensorik des Fahrzeuges. Der Status der Entitäten wird vom jeweiligen Element des Prüfablaufs zu jedem Zeitpunkt auf den Broker geschrieben und kann entsprechend abgespeichert werden. Dynamik- und Lokalisierungsdaten bzw. Positionsdaten werden vom Zigpos UWB System ermittelt und ebenfalls auf dem Broker bereitgestellt. Hierbei handelt es sich um voraggregierte Daten mit verbesserter Genauigkeit, die direkt weiterverwertet werden können. Das Versuchsfahrzeug FSD.Labcar verfügt auch über eine MQTT Schnittstelle zur Übermittlung der Objektdaten der Umfeldsensorik. Diese Daten werden in hoher Frequenz übertragen. Die im Modul Messdatenaufnahme gesammelten Daten werden in die Datenbank geschrieben.

Modul Bewertung

Für eine Beurteilung der Funktionsfähigkeit von Fahrerassistenzsystemen und automatisierten Fahrfunktionen als auch einzelnen Sensoren, anhand von Messdaten die bei der Versuchsdurchführung aufgezeichnet wurden, sicherzustellen, hat die AMFD im Rahmen des ErVast-Projekts ein objektives HU-Bewertungsmodul für das Prüfframework entwickelt.

Der Funktionsablauf des Bewertungsmoduls innerhalb des Prüfframeworks kann in vier wesentliche Schritte unterteilt werden:

1. Realfahrversuch zur Prüfung von Systemen und Sensoren inkl. Messdatenaufzeichnung
2. Generierung der Startnachricht & Datenübergabe über REST-API
3. Bewertung Fahrerassistenzsysteme & Sensoren
4. Generierung Ergebnismeldung & Ergebnisübergabe über REST-API

Die einzelnen Schritte werden im Folgenden näher betrachtet.

Versuchsdurchführung

Ein wichtiges Kriterium für die Bewertung von Fahrfunktionen und Sensoren im Rahmen der PTI ist eine reproduzierbare und transparente Versuchsdurchführung als auch Evaluierung, um eine unabhängige Systembewertung durch einen Prüflingenieur zu erhalten. Für dieses Ziel war es notwendig, dass die Versuchsdurchführung standardisiert wurde.

In Bezug auf die Versuche zur Überprüfung der Fahrerassistenzsysteme Notbremsassistent (engl.: autonomous emergency braking, AEB) und Abstandregelautomat (engl.: adaptive cruise control, ACC) wurden Versuchsvariationen bzgl. der Geschwindigkeits- und Beschleunigungsänderung vom Versuchsfahrzeug initiiert, wodurch basierend auf den Auswertungsergebnissen eine optimale Versuchsdurchführung identifiziert wurde. Bei den AEB-Versuchen wurden zusätzliche Variationen bei der Targetbewegung (stationär und dynamisch), zur Identifikation von Systemschwellen und -grenzen, unternommen und ausgewertet. Die AEB-Versuchsvariationen sind schematisch in der Abbildung 86 dargestellt. Während bei der stationären Durchführung das Target fest am Ende der Versuchsstrecke steht, beschleunigt bei der dynamischen Durchführung das Target aus dem Stillstand und verzögert nach einer Konstantfahrphase. Das zu untersuchende Fahrzeug folgt leicht verzögert gefahren vom Prüflingenieur.

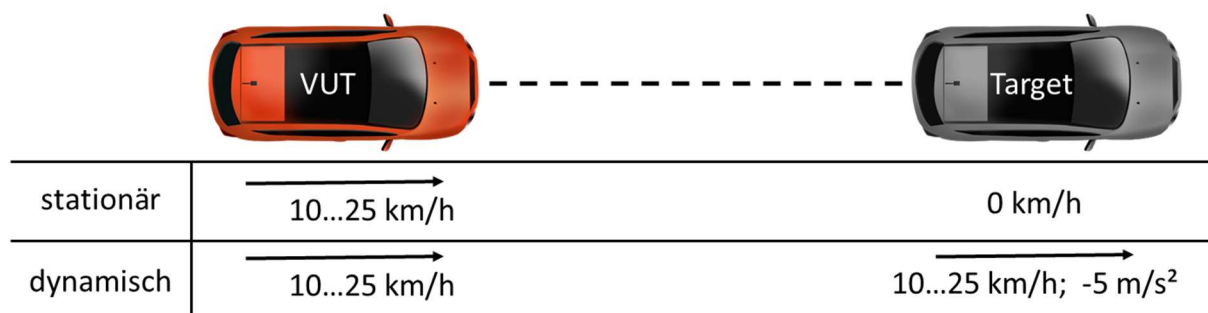


Abbildung 86: Stationäre und dynamische Versuchsdurchführung Notbremsassistent

Zur Überprüfung der Funktionstüchtigkeit einzelner Sensoren wurden diverse Konzepte erarbeitet. Zunächst waren für die Durchführung der Sensorprüfung mehrere Einzelprüfungen geplant, u.a. frontales Zufahren des Targets auf das VUT sowie Durchfahrten in unterschiedlichen Winkeln durch den Sensormessbereich. Hinsichtlich der PTI sind mehrere Einzelprüfungen aus Zeit- und Kostengründen jedoch nicht umsetzbar, daher wurde ein Szenario entwickelt bei dem das Testtarget das Fahrzeug umkreist. Dieses Komplexszenario führt die unterschiedlichen Aspekte der

Einzelprüfungen, bei deutlich geringerem Zeitaufwand, zusammen. Durch Messkampagnen konnten weiterhin sensorspezifische Werte ermittelt werden, um normale Schwankungen und Auffälligkeiten voneinander trennen zu können.

Ein weiterer wichtiger Schritt zur Standardisierung der Versuchsdurchführung war die Unterstützung bei der Validierung der UWB-Lokalisierung der Versuchsteilnehmer. Gerade bei aktuellen Serienfahrzeugen ohne zusätzliche Datenschnittstelle, können nur die von der UWB-Lokalisierung und einer im CarPc verbauten Kreiselplattform (engl.: Inertial Measuring Unit, IMU) erzeugten Messdaten ausgewertet werden. Dies umfasst Positionen, Beschleunigungen und die Ausrichtung des Fahrzeugs in Richtung Norden. Aufgrund der geringen Datenverfügbarkeit war somit eine entsprechende Absicherung notwendig.

Um dies zu gewährleisten, wurde das Vorwissen im Bereich Versuchsdurchführung zur Positionierung des Badge und des CarPc der UWB-Lokalisierung angewendet. Wie in der Abbildung 87 dargestellt, wurde das Badge (B in Abbildung 87) der UWB-Lokalisierung nach Möglichkeit immer in der geometrischen Fahrzeugmitte am Referenzpunkt 2 (engl.: point of interest , POI) positioniert. Dies vereinfacht die Bestimmung der für die Auswertung relevanten Punkte POI3 und POI4. Der CarPc mit der integrierten IMU (CPC in Abbildung 87) wird mittig in Fahrzeuglängsebene im Kofferraum positioniert. Dieser bietet bei Serienfahrzeugen die besten Befestigungsmöglichkeiten, um den CarPc fest an die Fahrzeugbewegung zu koppeln, sodass keine Beschleunigungsschwankungen durch einen lose sitzenden CarPc hervorgerufen werden. Normalerweise ist eine Befestigung der IMU nahe dem Fahrzeugschwerpunkt vorgesehen, um Längs- und Querbeschleunigungen korrekt zu erfassen. Da jedoch bei den durchgeführten AEB- und ACC-Versuchen nur Längsbeschleunigungen relevant sind, ist eine Befestigung im Kofferraum zur Erfassung der longitudinalen Beschleunigungen zulässig.

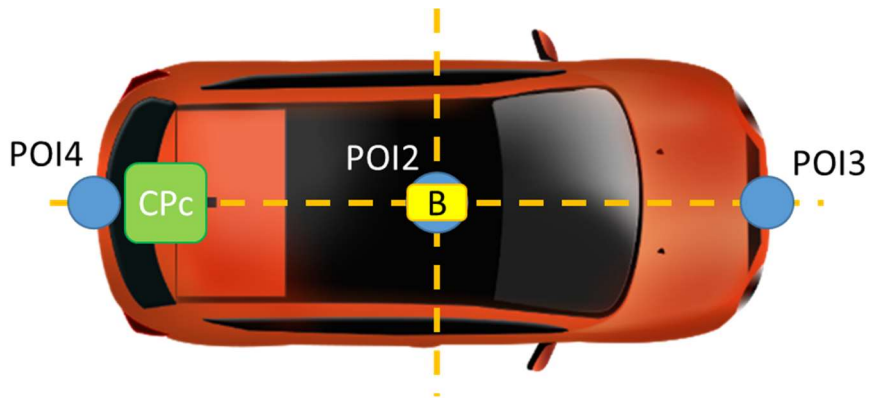


Abbildung 87: Positionierung Badge und CarPc mit IMU der UWB-Lokalisierung

Generierung Startnachricht & Datenübergabe

Die Startnachricht des Bewertungsmoduls besteht aus drei Komponenten, deren Inhalte in der nachfolgenden Tabelle 2.2.1 erläutert werden.

Tabelle 2.2.1: Inhalte Startnachricht

Inhalt Startnachricht	Beschreibung
Szenario	Information zu Szenario-Art (AEB, ACC, Sensorprüfung)
Fahrzeug-konfiguration	Konfiguration der am Versuch beteiligten beweglichen Entitäten (VuT, Target). Unter anderem sind folgende Informationen je Fahrzeug hinterlegt: <ul style="list-style-type: none"> • Rolle des Fahrzeugs beim Versuch (VuT oder Target) • Allgemeine Fahrzeug-Parameter • Informationen zur angebrachten UWB-Lokalisierung • Information zu den im Fahrzeug verbauten Sensoren
Messdaten	Nachrichten die während der Versuchsdurchführung von den Entitäten im Prüffeld an den MQTT-Broker gesendet und vom Controller-Modul gespeichert wurden. Dies umfasst alle Nachrichten von: <ul style="list-style-type: none"> • UWB-Lokalisierung & CarPc jeweils von VuT und Target • Nachrichten weiterer Entitäten im Prüffeld Zusätzlich werden vom Versuchsträger der FSD (FSD.Labcar) noch folgende fahrzeugspezifische Nachrichten gesendet: <ul style="list-style-type: none"> • Pedalstellungen • Informationen zu Fahrerassistenzsystemen • Von den Sensoren erkannte Objekte

Für nicht zugängliche Signale wurden diverse Lösungskonzepte zu deren Bewertung erarbeitet. Als Beispiel hierfür ist das FCW-Signal des Serienfahrzeuges zu nennen, welches nicht abgreifbar ist und alternativ über die Abfrage der Auslösung an den Prüfenieur nach der Versuchsdurchführung bestimmt wird.

Bewertung

Die empfangene Startnachricht wird automatisiert eingelesen und in ihre einzelnen Bestandteile zerlegt. Anhand der enthaltenen Information zum Szenario wird eine Auswertung gestartet, deren Auswertungstiefe in Abhängigkeit zu den vom VuT verfügbaren Messdaten steht.

Nachdem die entsprechende Auswertungsmethode gestartet wurde, erfolgt zunächst eine Zeitsynchronisation aller Messdaten, anhand der zu jedem Messwert verfügbaren Zeitstempel. Anschließend werden ausgewählte Datenkanäle gefiltert, um das Signalrauschen zu minimieren. Basierend auf den synchronisierten und gefilterten Messdaten werden weitere Kenngrößen zur Bewertung der System- bzw. Sensorfunktion ermittelt. Ein Beispiel hierfür ist der Zeitwert der Time-To-Collision (TTC), der sich ergibt, wenn der Längsabstand (in Fahrtrichtung des betreffenden Fahrzeugs) zwischen dem betreffenden Fahrzeug und dem Ziel durch die relative Längsgeschwindigkeit des betreffenden Fahrzeugs und des Ziels zu einem beliebigen Zeitpunkt dividiert wird (Formel 2-1). Je kleiner die TTC wird, desto kritischer ist eine Situation. Über den Längsabstand kann weiterhin die Time-Headway (THW) nach Formel 2-2 berechnet werden, die beschreibt, wie viel Zeit das betreffende Fahrzeug mit der aktuellen Geschwindigkeit benötigt, um die aktuelle Position des Ziels zu erreichen.

$$TTC = \frac{Abstand_{VuT-Target}}{Relativgeschwindigkeit_{VuT-Target}}$$

Formel 2-1

$$THW = \frac{Abstand_{VUT-Target}}{Geschwindigkeit_{VUT}}$$

Formel 2-2

Diese beiden Größen stellen zudem wichtige Parameter zur Auslegung von Fahrerassistenzsystemen dar. In Bezug auf den gesetzlichen Mindestabstand gilt die „Halber-Tachowert-Regel“ welche einer THW von 1.5 Sekunden entspricht.

Die Bewertung der Fahrerassistenzsysteme AEB und ACC wurden unter dem Ziel entwickelt, eine grundlegende Bewertung der Funktionsfähigkeit der Systeme unter Berücksichtigung der bestehenden Datenbeschränkungen zu ermöglichen. Die größte Schwierigkeit bestand darin, dass keine detaillierten Informationen zur Systemspezifikation der Assistenzsysteme vorlagen. Zur Erarbeitung der Bewertungsmethodik wurden daher u.a. geltende ISO-Normen und Bewertungsprogramme von Kommissionen wie Euro NCAP und UNECE herangezogen, analysiert und auf die Szenarien adaptiert.

In der nachfolgenden Tabelle 2.2.2 sind die erarbeiteten Bewertungsgrößen für die Bewertung der AEB-Systeme aufgelistet. Dabei ist für jede Bewertungsgröße angegeben, welche Art von Informationen dem Prüflingenieur nach Abschluss der Bewertung zur Verfügung gestellt wird. Ein N/A (engl.: not available) beim Serienfahrzeug bedeutet, dass eine Auswertung aufgrund fehlender Schnittstellen nicht möglich ist.

Tabelle 2.2.2: Systembewertung AEB Bewertungsparameter

	Versuchsträger FSD.Labcar	Serienfahrzeug
Eingriffe seitens des Prüflingenieurs oder anderer Systeme		
Betätigung von Pedalerie und damit verbundener notwendiger Verzögerung	Ja (mit Wert) / Nein	N/A
Bewertungsgrößen aus Normen und Systembeschreibungen		
Unterschreitung der Schwelle für AEB-Eingriff	Ja / Nein	
FCW-Warnung erfolgt, Δt (Warnung bis Eingriff)	Ja (mit Wert) / Nein	N/A
Geforderte Verringerung Relativgeschwindigkeit	Wert	
Erreichte Verringerung Relativgeschwindigkeit	Wert	
Informationen für den Prüflingenieur		
Stillstandsabstand	Wert	

Zur Auswertung des Eingriffs des Prüflingenieurs werden die Signale der Pedalerie über den Versuchszeitraum auf eine Betätigung untersucht. Bei der Überprüfung der Schwelle für den AEB-Eingriff wird analysiert, ob bei der Bremsung die definierte Schwelle überschritten wird. Mittels der verstrichenen Zeit zwischen der FCW-Warnung und dem darauffolgenden Bremseingriff wird untersucht, ob dies im Bereich aktuell geltender Normen liegt. Ebenfalls wird überprüft, ob die geforderte Verringerung der Relativgeschwindigkeit erreicht wurde. Der Stillstandsabstand ist ein Indiz für die Kritikalität der erfolgten Bremsung.

Im Vergleich zur AEB-Bewertung konnten zur Bewertung der ACC-Systeme auch Bewertungsgrößen zur Komfortbeurteilung herangezogen werden. Wenn bspw. die erreichten Verzögerungen beim ACC-Versuch die AEB-Schwelle überschreiten, wurde die ACC-Reaktion von einer AEB-Reaktion überlagert,

sodass die Bremsung außerhalb des komfortablen Bereichs lag. In der nachfolgenden Abbildung 88 sind die Verläufe der longitudinalen Beschleunigung des VuT mehrerer ACC-Versuche übereinandergelegt. Es ist deutlich erkennbar, dass bei allen Versuchen die longitudinale Beschleunigung nie kleiner als -3 m/s^2 war und somit die Bremsung rein durch ACC-Regelung erfolgte.

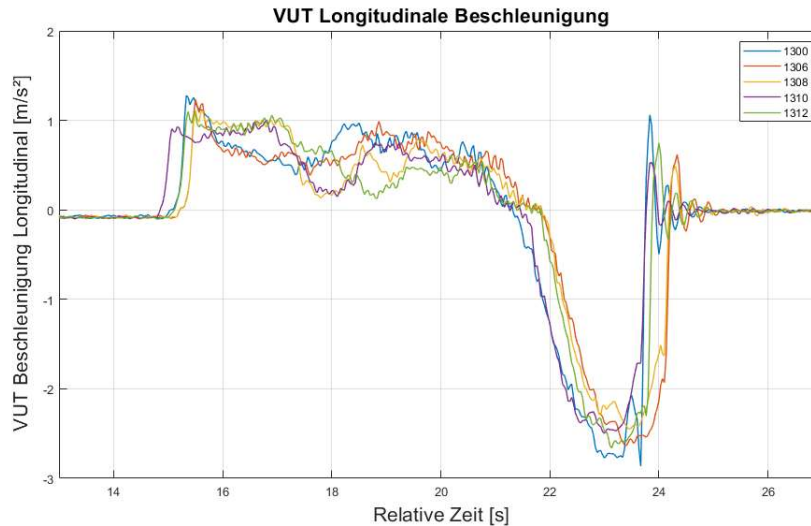


Abbildung 88: Verläufe der longitudinalen Beschleunigung des VuT mehrerer ACC-Versuche

Die Bewertungsgrößen für die Bewertung der ACC-Systeme sind in der Tabelle 2.2.3 dargestellt. Für die aus Normen abgeleiteten Bewertungsparameter werden jeweils drei Kenngrößen ermittelt. Dies sind die Dauer der Unterschreitung, die Prozentangabe der Unterschreitungs-Dauer an der Gesamtversuchszeit und die größte Abweichung (Minimalwert) vom Schwellwert. Treten mehrere Grenzwertverletzungen auf, so wird deren Dauer zur Ermittlung der Prozentangabe aufaddiert.

Tabelle 2.2.3: Systembewertung ACC Bewertungsparameter

	Versuchsträger FSD.Labcar	Serienfahrzeug
Eingriffe seitens des Prüfenieurs oder anderer System		
Betätigung von Pedalerie und damit verbundener notwendiger Verzögerung	Ja (mit Wert) / Nein	N/A
Eingriffe anderer Systeme (bspw. AEB oder LDW)		
Abfrage Systemmeldungen	Ja / Nein	N/A
Bewertungsgrößen aus Normen und Systembeschreibungen		
Unterschreitung TTC – Schwelle	Dauer Unterschreitung Prozentangabe an Gesamtzeit des Szenarios Minimalwert	
Unterschreitung THW – Schwelle		
Unterschreitung Verzögerung		
Mittelwerte Verzögerung/ Beschleunigung und Ruck		

Bewertungsgrößen aus StVO	
Unterschreitung des vorgeschriebenen Sicherheitsabstands („Halbe-Tacho-Regel“)	Dauer Unterschreitung Prozentangabe an Gesamtzeit des Szenarios Minimalwert
Informationen für den Prüflingenieur	
Stillstandsabstand	Wert

Während bei der FAS-Bewertung eine Beurteilung der gesamten Wirkkette erfolgte, stand bei der Sensorbewertung eine Überprüfung der Funktionsfähigkeit der einzelnen Sensoren am Fahrzeug im Vordergrund. Da bei aktuellen Serienfahrzeugen keine Sensordaten-Schnittstelle existiert, bezieht sich die nachfolgende Methodik allein auf das Versuchsfahrzeug FSD.Labcar. Dieses Fahrzeug verfügt über drei LiDAR-Sensoren und einen Radar-Sensor an der Front sowie einen LiDAR-Sensor und zwei Radar-Sensoren am Heck. Die LiDAR-Sensoren liefern Objektboxen, welche durch Länge, Breite, Ausrichtung und Position des Zentrums charakterisiert sind. In der nachfolgenden Abbildung 89 sind die LiDAR-Informationen schematisch dargestellt.

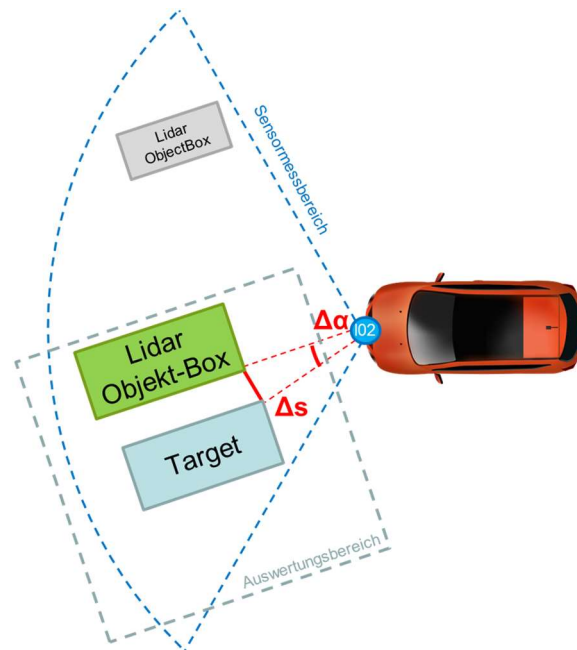


Abbildung 89: Schematische Darstellung LiDAR-Sensor-Bewertung

Um potentielle Fehldetektionen von nicht am Versuch beteiligten Objekten zu vermeiden, wurde um das Target ein Auswertungsbereich aufgespannt. Somit werden nur LiDAR-Objektboxen berücksichtigt, deren Zentrum im Auswertungsbereich liegen. Aus diesem Grund wird bspw. die graue Objektbox (siehe Abbildung 89) bei der Auswertung nicht berücksichtigt. Als Bewertungsgrundlage für die LiDAR-Sensoren dienen bei der Sensorprüfung die Positionsabweichung Δs und die Winkelabweichung $\Delta \alpha$ zwischen den Ecken der LiDAR-Objektbox und des Targets mit der jeweils kürzesten Distanz zum Sensor. Die kürzeste Ecke wurde gewählt, da hier die Wahrscheinlichkeit einer Kollision mit dem Fahrzeug am größten ist. Hierzu wurden vorab die Positionsdaten vom Target und die Objektbox-Positionsdaten miteinander synchronisiert. Die Berechnung der Positions- und Winkelabweichung erfolgt zu jedem Zeitschritt der Versuchsdurchführung, wodurch am Ende eine Vielzahl einzelner Abweichungen vorliegen. Um die Ergebnisse dem Prüflingenieur verständlich zu vermitteln, wird für

die Positions- und Winkelabweichung jeweils der Median, ein Streumaß und eine prozentuale Angabe, wie viele Messpunkte innerhalb der Sensortoleranz liegen, zur Verfügung gestellt. Unter Einbezug sensorspezifischer Werte war es somit möglich, vorgenommene Orientierungs-Dejustagen an den LiDAR-Sensoren anhand der Auswertungsergebnisse zu identifizieren.

Der Algorithmus der Radarsensoren, liefert genau eine Position zur Detektion eines Objektes, welche sich innerhalb der vom Radar-Sensor erkannten Objektgröße befindet. Dieser Sachverhalt wird in der Abbildung 90 dargestellt. Auch beim Radar-Sensor findet, äquivalent zum LiDAR-Sensor, eine reine Betrachtung der im Auswertungsbereich liegenden Daten vor.

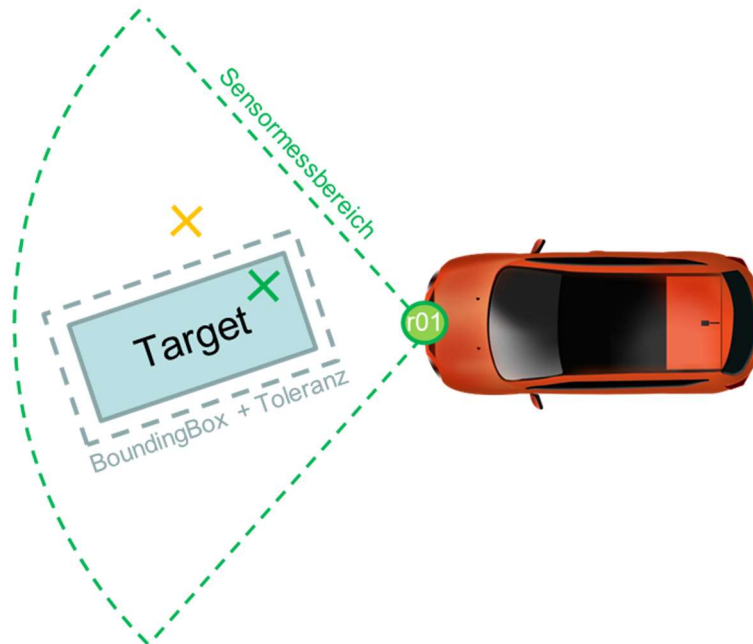


Abbildung 90: Schematische Darstellung der Radar-Sensor-Bewertung

Zur Bewertung der Radarsensoren wird zusätzlich um das Target ein Toleranzbereich aufgespannt, welcher sich aus den Target-Abmaßen und der Sensortoleranz ergibt. Für jede Radar-Objekt-Position wird bestimmt, ob diese innerhalb (siehe Abbildung 90 grünes Kreuz) oder außerhalb (siehe Abbildung 90 oranges Kreuz) des Toleranzbereichs liegt. Dem Prüfenieur wird zuletzt mitgeteilt, wie groß der Anteil der korrekt ermittelten Objekte innerhalb der Sensorprüfung war.

Generierung Ergebnismeldung & Datenübergabe

Zum Abschluss der Bewertung der Fahrerassistenzsysteme und Sensoren werden die Ergebnisse im, gemeinsam mit Partnern iterierten Nachrichtenformat über die REST-API-Schnittstelle an das ControllerModul übertragen. Die Ergebnismeldung schlüsselt die objektiven Bewertungskriterien einschließlich der Detektion von Auffälligkeiten anhand der berechneten Bewertungsgrößen auf. Somit ist eine schnelle Visualisierung anhand von Kennwerten in der Benutzeroberfläche möglich.

2.3 Zusammenfassung Inhaltliche Darstellung

Das Projekt ErVast war ein zweijähriges, durch das Bundesministerium für Digitales und Verkehr gefördertes Forschungsprojekt, das im Dezember 2021 mit der Abschlussveranstaltung erfolgreich beendet wurde. Die Zielstellung des Projektes war es ein prototypisches Prüfverfahren für szenarienbasiertes Testen von Fahrzeugen mit assistierenden und automatisierten Fahrfunktionen unter dem Einsatz von dynamischen Verkehrselementen zu entwickeln, welches erfolgreich in der HU genutzt werden kann. Dabei sollte der Fokus auf der Funktions- und Wirkungsprüfung der gesamten Wirkkette der assistierenden und automatisierten Fahrfunktionen und der hierfür benötigten Umfeldsensorik liegen. Zur Darstellung eines einfachen, effizienten und automatisierten Prüfablaufs sollte das Prüfverfahren in Form eines Demonstrators umgesetzt werden. Nur durch die Sicherstellung der korrekten Funktionsweise der Systeme über die gesamte Nutzungsdauer des Fahrzeuges kann ein Potential zur Erhöhung der Verkehrssicherheit ausgeschöpft werden. Für den Aufbau des Demonstrators waren diverse Grundlagen zu erarbeiten und eine Vielzahl von Elementen umzusetzen.

Die Umfeldsensorik ermöglicht es dem Fahrzeug seine Umgebung wahrzunehmen und Objekte über verschiedene Sensortechnologien zu detektieren. Aufbauend auf vorhandener Expertise konnten Sensoruntersuchungen bei mehreren Partnern des Konsortiums durchgeführt werden. Diese Untersuchungen bildeten die Grundlage für die Umsetzung einer Gesamtfahrzeugsimulation und die Einschätzung der Relevanz der Degradation im Sinne HU-relevanter Mängel. Es konnten durch die Erstellung eines Sensormodells Auswirkungen von Umwelteinflüssen auf die Sensorfunktion untersucht werden und Sensoren in Realversuchen einer künstlichen Alterung unterzogen werden. Die Auswirkungen der Umwelteinflüsse auf die korrekte Fahrfunktion wurde simulativ abgebildet und lieferte damit Input für die Ausgestaltung der Prüfscenarien. Bezüglich der Degradation konnten auf Grundlage der durchgeführten künstlichen Alterung nur geringe Funktionseinbußen festgestellt werden. Die Ergebnisse sind aufgrund begrenzter Prüfstandskapazitäten nur bedingt aussagekräftig. Nach aktueller Einschätzung sind die Auswirkungen von unsachgemäßer Reparatur bzw. fehlender Kalibrierung nach Bauteilaustausch auf die Fahrfunktion sicherheitskritischer und stellen so die relevanteren Untersuchungsschwerpunkte für die HU dar. Der Nachweis der Relevanz konnte mit Hilfe einer Validierung des Gesamtansatzes erbracht werden.

Das zweite wesentliche Ergebnis der Gesamtfahrzeugsimulation mittels CarMaker war die frühzeitige Beurteilung der möglichen Umsetzung von Prüfscenarien in der räumlich begrenzten Umgebung einer Prüfstelle oder eines Prüfstützpunktes. Für das Projekt wurden 30m als verfügbare Teststrecke definiert. Die aus der Szenariengenerierung abgeleiteten Szenarien konnten so zu einem frühen Projektzeitpunkt hinsichtlich ihrer realen Umsetzbarkeit bewertet werden. Die Generierung der Szenarien erfolgte unter anderem auf Grundlage von Unfalldaten, Realfahrdaten, Homologationsvorschriften, Benchmarking-Tests und vorhandenen Standards. Die detaillierte Analyse von Unfalldaten lieferte wesentliche Erkenntnisse für die Prüfung von assistierenden Fahrfunktionen. Kritische Fahrsituationen sind für diese Systeme vielfach relevante Auslegungskriterien. Aktuell im Markt befindliche Assistenzsysteme sind in ihrer konkreten Funktionsweise oft herstellereinspezifisch, sodass die Entwicklung von übergreifenden Prüfscenarien erschwert wurde. Durch die zunehmende Regulierung in Homologationsvorschriften und Standards wird sich der Funktionsrahmen zukünftig weiter vereinheitlichen, sodass die im Projekt erarbeiteten Prüfungen auch fahrzeug- und herstellerübergreifend umgesetzt werden können. Für die Verwendung der ermittelten Szenariodaten wurden Formate der ASAM OpenX Standards gewählt und erfolgreich genutzt.

Die reale Umsetzung des Demonstrators erfolgte in einer Umgebung, die die Möglichkeiten an Prüfstellen und -stützpunkten abbildet. Für die exakte Steuerung und Auswertung der Prüfungen ist die hochgenaue Ortung der Elemente auf dem Prüffeld essentiell. Für die Steuerung kommt DGPS zum Einsatz. Diese Technologie ermöglicht eine Lokalisierung im Zentimeterbereich. Da diese aus Gründen der Rüstzeiten und der Kosten nicht für den Serieneinsatz geeignet ist, wurde im Projekt die Eignung von UWB basierter Lokalisierung untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass unter Verwendung einer IMU mit entsprechender Filterung auch mit UWB eine Lokalisierungsgenauigkeit erreicht werden kann, die für die Steuerung und Bewertung der Prüfung ausreichend ist.

Als Versuchsfahrzeuge kamen im Projekt für den Demonstrator des Gesamtsystems zwei Fahrzeuge zum Einsatz. Mit Hilfe eines VW Golf VIII konnte ein Serienfahrzeug mit umfangreichem Assistenzsystempaket untersucht werden. Der verbaute Notbremsassistent, das ACC und die Verkehrszeichenerkennung können effizient mit der entwickelten Prüftechnologie geprüft werden. Als automatisiertes Fahrzeug kommt ein Versuchsträger der FSD GmbH, das FSD.Labcar, zum Einsatz. Mit diesem konnte erfolgreich die Überprüfung der Funktion und Wirkung der verbauten Umfeldsensorik, die Kommunikation mit einer Lichtsignalanlage und die Funktionalität eines eigens umgesetzten Stadtpiloten abgebildet werden. Die Bewertung der Umfeldsensorik wird möglich, da das FSD.Labcar über eine erweiterte elektronische Fahrzeugschnittstelle verfügt. Zukünftig ist es essentiell für die Wirkungsprüfung der Umfeldsensorik, dass Objektdaten der einzelnen Sensoren auf der Fahrzeugschnittstelle verfügbar sind.

Für die dynamische Nutzung von Dummies kamen im Projekt Targetträger der Firma Humanetics zum Einsatz. In Verbindung mit einem HU-angepassten Fahrzeugtarget konnte so die zielführende Umsetzung szenarienbasierten Testens im Rahmen der HU dargestellt werden. Diese Technik verursacht zum gegenwärtigen Zeitpunkt erhebliche Kosten, sodass für den späteren Einsatz in der HU durch zielgerichtete Anpassung der Leistungsparameter und Funktionsumfänge, sowie durch einen Skalierungseffekt eine Reduktion der Kosten erreicht werden muss. Die Anbindung der Targetträger erfolgte im Demonstrator in Anlehnung an den Draft der ISO 22133. Die Nutzung dieser standardisierten Schnittstelle ermöglicht die Entwicklung eines zukunftssicheren und nachhaltigen Gesamtprüfsystems. Für die Nutzung dynamischer Elemente an Prüfstellen und -stützpunkten ist das Sicherheitskonzept des Systems technologisch weiterzuentwickeln und organisatorisch zu regeln, um einen sicheren Betrieb zu garantieren.

Als weitere Entitäten kamen ein Wechselverkehrszeichen und eine Lichtsignalanlage zum Einsatz. Beide wurden über das Prüfframework angebunden und aus dem Prüfablauf heraus angesteuert. Die Lichtsignalanlage wurde zusätzlich mit V2X Technologie ausgestattet und bildet so die Grundlage zur Funktionsprüfung der V2X Kommunikation des Fahrzeuges. Der Einsatz eines Software Defined Radio ermöglichte hier die Erhöhung der Prüftiefe.

Der Prüfablauf wird vom amtlich anerkannten Sachverständigen oder Prüflingenieur mit Hilfe einer Anwendung auf einem Bedien- und Anzeigegerät gesteuert. Für den ErVast Demonstrator wurden Anwendungen für ein Tablet und eine Smartwatch entwickelt und umgesetzt. Nur durch die Nutzung solcher Anwendungen kann die Komplexität für den Sachverständigen oder Prüflingenieur soweit reduziert werden, dass der Prüfablauf effizient automatisiert werden kann. Darüber hinaus unterstützt die Anwendung den Nutzer bei der Bewertung des Versuchsfahrzeuges im Sinne der Mangelvergabe durch die automatisierte Ermittlung von Auffälligkeiten.

Die Anbindung aller Entitäten und die Steuerung des Prüfablaufs inklusive der automatisierten Ermittlung von Auffälligkeiten erfolgt im zentralen Prüfframework. Dieses Framework ist ein

wesentliches Projektergebnis und zentrales Element des Demonstrators. Alle Funktionalitäten und Informationsflüsse zur Steuerung und Auswertung der Prüfung wurden hier im Rahmen des Projektes entwickelt und implementiert. Das Framework ist in seiner Architektur aus verschiedenen Softwaremodulen aufgebaut, sodass die Entwicklung der einzelnen Bestandteile dezentral unter Verwendung partnerspezifischer Entwicklungsrandbedingungen erfolgen konnte. Das Zusammenspiel der einzelnen Bestandteile ist komplex und bedingte in der Entwicklung einen hohen Aufwand an Implementierungs- und Integrationstests die erfolgreich durchgeführt werden konnten.

Mit dem Projekt ErVast konnte nachgewiesen werden, dass szenarienbasiertes Testen im Rahmen der HU notwendig und sinnvoll umsetzbar ist. Die Funktions- und Wirkungsprüfung assistierender und automatisierter Fahrfunktionen und der dafür benötigten Umfeldsensorik kann zielgerichtet, effizient mit dem beschriebenen System durchgeführt werden. Die entwickelte Prüftechnologie würde dem amtlich anerkannten Sachverständigen eine deutlich detailliertere Prüfung ermöglichen, sodass ein erheblicher Mehrwert für die Verkehrssicherheit generiert werden kann.

2.4 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele - Vertraulich

2.5 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises - Vertraulich

2.6 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit - Vertraulich

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

FSD Fahrzeugsystemdaten GmbH

Tabelle 2.7.1: Verwertung Teilvorhaben ErVast.FSD

Projektergebnis/ Inhalt	Nutzen/ Verwertung
Prüfkonzept	Einbringung des Gesamtkonzeptes der Prüfung, inklusive Prüfframework, in die PTI
Spezifikation Entitäten des Prüfablaufes, z.B. Targetträger	Verwertung durch Weiterentwicklung der Rechtsgrundlage national durch Mitarbeit in Gremien bei der Erstellung nationaler Rechtsvorschriften z.B. Ausstattungsrichtlinie HU
Spezifikation Entitäten des Prüfablaufes, z.B. Targetträger	Verwertung durch Weiterentwicklung der Rechtsgrundlage international durch Mitarbeit in Gremien bei der Erstellung internationaler Rechtsvorschriften z.B. Ausstattungsrichtlinie HU
Erkenntnisse zur V2X Kommunikation	Mitarbeit in Standardisierungsgremien oder Einbringung über Partner

ITVS - Prof. Informationstechnik für Verkehrssysteme (TU Dresden)

Tabelle 2.7.2: Verwertung Teilvorhaben ErVast.TU Dresden ITVS

Projektergebnis/ Inhalt	Nutzen/ Verwertung
Sensorspezifisches Prüfkonzept	Inhalte der Vorlesungen an der Professur ITVS sowie Verwertung durch FSD und Dekra für zukünftige PTI
Methoden zur generischen protokollkonformen Generierung von synthetischen Fahrzeugumfeldsignalen	Bestandteil der Vorlesungen an der Professur ITVS in Hinblick auf die universitäre Lehre / Ausbildung Verkehringenieurwesen sowie mögliche Nachnutzung in Folgeprojekten
Szenarien-Analyse/Daten-analyse aus realen Unfall- und Verkehrssituationen	Empfehlungen an Politik/Kommunen/Gesetzgeber Inhalte der Vorlesungen an der Professur ITVS Kooperation mit anderen Forschungseinrichtungen
Ableitung von Prüfscenarien aus realen Unfallsituationen	Empfehlungen an Politik/Kommunen/Gesetzgeber Inhalte der Vorlesungen an der Professur ITVS Kooperation mit anderen Forschungseinrichtungen
Umsetzung / Validierung V2X	Wissenschaftliche Verwertung hinsichtlich eines Verkehrstelematischen Labors für vernetzte Mobilität mit Langzeitversuchsträgern

Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme IVI

Tabelle 2.7.3: Verwertung Teilvorhaben ErVast.IVI

Projektergebnis/ Inhalt	Nutzen/ Verwertung
Vernetzte LSA	Infrastrukturelement zum Testen von vernetzten automatisierten Fahren
Prüfframeworkmodul Szenarioablauf	Vorbereitung, Orchestrierung, Monitoring und Bewertung von Szenario-basierten Testabläufen im geschlossenen Feld auf Grundlage von standardisierten Szenariobeschreibungen – zur Anwendung auf Prüf- und Testgeländen

HORIBA Europe GmbH

Tabelle 2.7.4: Verwertung Teilvorhaben ErVast.Horiba

Projektergebnis/ Inhalt	Nutzen/ Verwertung
Erarbeitung des Prüfkonzepts	Erweiterung des Applikationsportfolios für die Homologation, Typprüfung und PTI für die Bereiche Fahrassistenzsysteme (ADAS) und autonomes Fahren
Verknüpfung des Simulationsframeworks mit der Echtzeitsimulation und dem Prüfstand	Ermöglicht die Durchführungen von Tests und Prüfungen von Fahrassistenzsystemen und (teil-)autonomen Fahrzeugen innerhalb einer virtuellen Umgebung auf einem Fahrzeugprüfstand. Entwicklung und Vermarktung von ViL Systemen für die oben genannten Applikationen in den Bereichen Homologation, Typprüfung und PTI
Evaluierung von Echtzeitsystemen	Generation von Daten und geeigneten Stimuli für die Bedatung/Stimulation von Fahrzeugumfeldsensoren innerhalb von ViL Tests Entwicklung und Vermarktung von Echtzeit Simulationssystemen
Umsetzung der Schnittstellen zu den Prüfstandssystemen	Vermarktung der Anbindung von ViL Systemen zum Testen und Prüfen von ADAS/AD Funktionalitäten auf neuen aber auch bereits bestehenden Fahrzeugprüfständen.

DEKRA Automobil GmbH, Automobil Test Center

Tabelle 2.7.5: Verwertung Teilvorhaben ErVast.DEKRA

Projektergebnis/ Inhalt	Nutzen/ Verwertung
Entwicklung einer Prüfroutine mit Backend	Bildet die Grundlage für schwarmbasierte Tests und die damit verbundene Koordination von mehreren Versuchsteilnehmern und der eingebundenen Infrastruktur
Gesamtergebnis Fahrzeugprüfung	Wird in der Arbeitsgruppe HU 2030 der DEKRA weiter vertieft um diesen vielversprechenden Ansatz zu einer Praxistauglichen Lösung zu überführen
Kommunikation innerhalb des Prüfframeworks und Anbindung des Targetmovers	Stellt die erste Umsetzung der ISO 22133 dar und der daraus resultierenden Möglichkeit der Trajektorien Planung über eine definierte Schnittstelle, welche die dynamische Anpassung des Fahrmanövers realisieren kann,

ZIGPOS GmbH

Tabelle 2.7.6: Verwertung Teilvorhaben ErVast.ZIGPOS

Projektergebnis/ Inhalt	Nutzen/ Verwertung
Prototyp CarPC	Der Prototyp basierend auf dem RaspberryPi dient der Ortung von dynamischen Objekten und wird zu einem eigenen Produkt weiterentwickelt. Die Komponenten ermöglichen es eine Funkortung mit Inertialsensorik zu unterstützen und somit robuste Ortsinformationen mit sehr hoher Zuverlässigkeit zur Verfügung zu stellen. Dies ermöglicht den Einsatz im Automotive und somit ein neuen Anwendungsbereich von ZIGPOS
Funkkommunikation	Die Anpassungen innerhalb der Funkkommunikation, die notwendig waren, um die Daten der Tags zum RTLS-Server und die dynamischen Anforderungen der Lokalisierung zu erfüllen werden in die Standardprodukte von ZIGPOS einfließen und somit bessere Performance im Gesamtsystem für alle Anwendungen bringen. ZIGPOS arbeitet aktiv an einem weltweiten Standard für Lokalisierungssysteme (OMLOX) und bringt die gesammelten Erkenntnisse dort mit ein
Datenfusionierung Inertialsensorik, Funkortung	Während der Projektlaufzeit wurde intensiv an den Algorithmen zur Datenfusion gearbeitet. Erkenntnisse daraus fließen direkt in vorhanden Produkte mit ein
Mitarbeiter	Während der Projektlaufzeit wurde ein neuer Mitarbeiter zur Datenfusion speziell für dieses Projekt eingestellt. Dieser Mitarbeiter wird unbefristet weiter am Thema innerhalb des Unternehmens arbeiten. ZIGPOS plant weitere 4 Arbeitsplätze zu schaffen, um die

	Projektergebnisse in Produkte und neue Anwendungsfelder zu überführen.
--	------------------------------------------------------------------------

Automobil Forschung Dresden GmbH

Tabelle 2.7.7: Verwertung Teilvorhaben ErVast.AMFD

Projektergebnis/ Inhalt	Nutzen/ Verwertung
Interaktiver Demonstrator	Vermittelt Interessierten Projekthinhalte der einzelnen Partner einfach und verständlich mittels Bildern, Videos, Animationen und kurzen Texten. Weiterhin wird eine Einbindung in die Projekt-Website angestrebt. Bei zukünftigen öffentlichen Auftritten kann der interaktive Demonstrator auch auf Touch-Bildschirmen verwendet werden.
Bewertungsmodul zur Auswertung von Sensor- und Aktordaten von automatisierten Fahrfunktionen & Einzelsensoren	Es ist eine Weiterentwicklung und Erweiterung der bisherigen Inhalte um neue Fahrfunktionen und Sensoren geplant (z.B. Spurhalteassistent). Da der Spurhalteassistent erst bei höheren Geschwindigkeiten aktiviert werden kann, war eine Betrachtung im Rahmen des Projektes nicht möglich. In Bezug auf die Sensoren ist eine Bewertung von Ultraschall- und Kameradaten geplant, welche aufgrund fehlender Spezifikationen und Schnittstellen nicht verwendbar waren. Dabei wird ein Bewertungsalgorithmus bis hin zur Marktreife im Rahmen der PTI angestrebt.
Methode zur Bewertung des fahrzeugspezifischen Systemverhaltens in assistierten Fahrmanövern	Die Bewertungsmethodik soll zukünftig zur Durchführung von Studien genutzt werden, um die Systemperformance gleicher Funktionen unterschiedlicher Hersteller miteinander zu vergleichen. Dadurch ist es möglich eine Bewertung anhand objektiver Bewertungskriterien bereitzustellen und die Wirksamkeit der Fahrfunktionen zu steigern.
Methode zur Bewertung des sensorspezifischen Verhaltens	Mit der Erweiterung der Bewertungsmethodik zur Sensorbewertung, sollen Kernkompetenzen im Bereich der Datenerfassung und Algorithmen von Sensoren aufgebaut werden, welche heute bei den Sensorherstellern liegen. Es gilt zu prüfen, ob die dadurch gewonnenen Erkenntnisse anschließend in einer Potentialanalyse vereint und so nutzbar gemacht werden können.

Verkehrsunfallforschung an der TU Dresden GmbH

Tabelle 2.7.8: Verwertung Teilvorhaben ErVast.VUF

Projektergebnis/ Inhalt	Nutzen/ Verwertung
Unfall- und Realfahrdaten in Standard-Simulationsformaten	<ul style="list-style-type: none"> - Verkauf aufbereiteter Einzeldatensätze in Standardformaten - Beratungsdienstleistungen für andere Unfallforschungsprojekte - Wissenstransfer - Stärkung der Zusammenarbeit im internationalen Umfeld
Parametrierter Szenarienkatalog	<ul style="list-style-type: none"> - Verkauf repräsentativer Prüfszenarien inkl. zugehörigem, beschreibendem Parameterraum
Expertise im Bereich Szenarien-Clusterung, Manöverbeschreibung und szenarien-basiertem Testen	<ul style="list-style-type: none"> - Verkauf von Entwicklungsdienstleistungen im Rahmen der Entwicklung, Absicherung und Testvorbereitung automatisierter Fahrfunktionen - Stärkung des wissenschaftlichen Renommées der VUFO, Möglichkeiten von Publikationen

TU Dresden – Professur Fahrzeugmechatronik (FZM)

Tabelle 2.7.9: Verwertung Teilvorhaben ErVast.TU Dresden FZM

Projektergebnis/ Inhalt	Nutzen/ Verwertung
datenbasiertes, phänomenologisches LiDAR-Sensormodell	<p>Ist wichtige Grundlage für zukünftige Forschungsprojekte im Kontext der Entwicklung und Test automatisierter Fahrfunktionen</p> <p>Bestandteil der Lehrveranstaltung Automatisiertes Fahren</p>
synthetischer Prüfszenarien	<p>Ist wichtige Grundlage für zukünftige Forschungsprojekte im Kontext der Entwicklung und Test automatisierter Fahrfunktionen</p> <p>Nutzung im Prüffeld für automatisierte Fahrfunktionen im Fahrzeugtechnischen Versuchszentrum</p> <p>Verwertung durch FSD und Dekra für zukünftige PTI</p> <p>Bestandteil der Lehrveranstaltung Automatisiertes Fahren</p>

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

FSD Fahrzeugsystemdaten GmbH

Die Entwicklung eines neuen ISO Standards wurde im Projektverlauf bekannt und konnte durch die Zuarbeiten des Unterauftragnehmers Humanetics im Projekt für die Anbindung von Targetträger und Versuchsfahrzeug an das Prüfframework genutzt werden. Dieser Standard befindet sich derzeit weiter in Entwicklung. Die Berücksichtigung dieses Standards wird auch zukünftig relevant für die nachhaltige Weiterentwicklung des ErVast Ansatzes sein.

Im Januar 2021 trat die UNECE Regelung R 157 in Kraft. Hierin wird erstmals die Homologation eines Level 3 Systems für den Straßenverkehr beschrieben. Es ist davon auszugehen, dass in den kommenden Jahren weitere Regelungen in diesem Kontext folgen werden. Das Themengebiet automatisiertes Fahren hat aktuell eine hohe Dynamik, wobei die Potentiale zur Erhöhung der Verkehrssicherheit nur durch die Überprüfung der korrekten Funktionsweise über die Lebensdauer genutzt werden können.

ITVS - Prof. Informationstechnik für Verkehrssysteme (TU Dresden)

Das Weltforum für die Harmonisierung von Fahrzeugregelungen (WP.29), eine Arbeitsgruppe der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UNECE), hat die Notwendigkeit von Cybersicherheitsstandards für vernetzte, digitalisierte und autonome Fahrzeuge erkannt und neue Vorschriften erlassen, um diesen wachsenden Risiken zu begegnen. Die UN-Regelung Nr. 155 über Cybersicherheit und Cybersicherheitsmanagementsysteme ist die erste internationale Regelung für die Cybersicherheit moderner Fahrzeuge. Sie sieht unter anderem vor, dass Automobilhersteller verpflichtet sind, Risikobewertungen für die Cybersicherheit (bspw. GNSS-Spoofing) von Fahrzeugen durchzuführen und Sicherheitsvorfälle zu überwachen und zu melden.

Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme IVI

Während der Projektlaufzeit wurde eine Weiterentwicklung des ASAM-Standards OpenSCENARIO (1.1) veröffentlicht, mit dem wesentliche Funktionserweiterungen hinsichtlich der Einbindung von Verteilung zur Parametervariation implementiert wurden. Zudem wurden die Entwicklungen zu einem neuen ISO-Standard bekannt, ISO/AWI TS 22133, der eine standardisierte Kommunikation mit Targetträgern ermöglichen wird, um szenarienbasiertes Testen auf dem Prüfgelände signifikant zu verbessern.

HORIBA Europe GmbH

Nicht zutreffend

DEKRA Automobil GmbH, Automobil Test Center

Während des Vorhabens wurden verschiedene andere Lösungsansätze an die DEKRA herangetragen. Hierbei ist speziell ein Prüfstand der Firma Horiba zu erwähnen. Bei diesem Versuchsaufbau wird ein Fahrzeug statisch geprüft oder auf einen Rollenprüfstand verankert. Die Sensorik wird dann über unterschiedliche Verfahren stimuliert. Hierbei ergab sich für die DEKRA jedoch keine Nutzungsperspektive im Rahmen der HU, da dieses Verfahren zu zeitaufwendig und somit wirtschaftlich nicht umsetzbar ist. Diese Lösung hat für entwicklungsbegleitende Tests und Homologationsumfänge jedoch durchaus Potenzial und wird weiter betrachtet.

ZIGPOS GmbH

Nicht zutreffend

Automobil Forschung Dresden GmbH

Nicht zutreffend

Verkehrsunfallforschung an der TU Dresden GmbH

Nicht zutreffend

TU Dresden – Professur Fahrzeugmechatronik (FZM)

Nicht zutreffend

2.9 Erfolgte oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses

FSD Fahrzeugsystemdaten GmbH

Tabelle 2.9.1: Veröffentlichungen Teilvorhaben ErVast.FSD

Titel	Datum	Ort (Zeitungsname, ISBN, ggf. Link etc.)	Inhalt (kurz)
ErVast (Einsatz dynamischer Verkehrselemente für die Prüfung automatisierter Fahrfunktionen)	01/2020	Projektsteckbrief	Projektvorstellung: https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/AVF-projekte/ervast.html
Projekthomepage	08/2020	https://www.ervast-projekt.de/projekt.html	Projektvorstellung, Projektfortschritt
Vorstellung des ErVast-Projektes zur Prüfung automatisierter Fahrfunktionen im Rahmen der Hauptuntersuchung	10/21	Zeitschrift für Verkehrssicherheit	Projektvorstellung, Ankündigung Teilnahme am ITS WC Hamburg
Stand des BMVI	10/21	ITS WC Hamburg	Projektvorstellung, Präsentation HU-taugliches Target
Virtueller Messestand	05/21	Diagnosetagung	Projektkurzvorstellung
Safety Week	05/22	Würzburg	Vortrag: Präsentation Projektergebnisse
TÜV Mobility Conference	05/22	Berlin	Projektvorstellung, Präsentation HU-taugliches Target

ITVS - Prof. Informationstechnik für Verkehrssysteme (TU Dresden)

Tabelle 2.9.2: Veröffentlichungen Teilvorhaben ErVast.TU Dresden ITVS

Titel	Datum	Ort (Zeitungsname, ISBN, ggf. Link etc.)	Inhalt (kurz)
Laborgestützte Evaluierung von Fahrzeugkommunikationssystemen auf Grundlage der Generierung protokollkonformer Fahrzeugumfeldsignale	2022	Geplant, noch nicht bestimmt	Darstellung einer Möglichkeit zur Evaluierung und Validierung ortungs- und kommunikationsbezogener technisch verkehrlich relevanter

			<p>Systeme. Diese umfassen insbesondere im Automotive Bereich die globalen satellitengestützten Navigationssysteme (z.B. GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU) und die sogenannten Car2X Kommunikationssysteme (z.B. WLANp ITS-G5) unter den Aspekten der Reproduzierbarkeit und einer maßlichen messbaren Realitätstreue. Darauf aufbauend lassen sich beliebige Verkehrsumfeldszenarien erzeugen, welche diverse verkehrlich anwendungsorientierte Untersuchungen ermöglichen. Diese Ziele lassen sich mit dem Einsatz von sogenannten Software Defined Radios (SDR) erreichen.</p>
--	--	--	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme IVI

Tabelle 2.9.3: Veröffentlichungen Teilvorhaben ErVast.IVI

Titel	Datum	Ort (Zeitungsname, ISBN, ggf. Link etc.)	Inhalt (kurz)
A Hybrid Real and Virtual Testing Framework for V2X Applications	04.05.2020	VEHITS 2020 Proceedings, https://doi.org/10.1007/978-3-030-89170-1_10	Entwurf eines Testframeworks für V2X-Applikationen, welches neben dynamischen Elementen auch weitere virtuelle (simulierte Elemente) enthält
Evaluating message size of the Collective Perception Message in real live settings	30.04.2021	VEHITS 2021 Proceedings, https://doi.org/10.5220/0010459005540561	Nutzung des ErVast Frameworks zur Erfassung der potenziellen Größe der Collective Perception Message während realer Fahrten

HORIBA Europe GmbH

Tabelle 2.9.4: Veröffentlichungen Teilvorhaben ErVast.Horiba

Titel	Datum	Ort (Zeitungsnamen, ISBN, ggf. Link etc.)	Inhalt (kurz)
Sensor Stimulation Systems for Testing Autonomous Driving Functions in the Laboratory	06.10.2020	Aachen Colloquium 2020	<p>To support the left-shift in the development V cycle, the transfer of testing of advanced driver assistance Systems (ADAS) and autonomous driving (AD) scenarios from road to rig is essential to serve the demand for increased reproducibility, cost savings and reduction of time to market.</p> <p>To increase functional robustness and safety an increasing number of environmental sensors is de rigueur like a concerted use of camera, RADAR and LIDAR. Because of the importance of these sensors for safety and security it is necessary to test those on different stages according to state-of-the-art development processes. Until now there is a lack of methods for testing of ADAS/AD sensor embedded in the real vehicle. Current methods foresee the testing in real world and proving ground scenarios. This leads to non-reproducibility and higher costs for development. A new digital platform and its dedicated software application for Connected and Autonomous Vehicle (CAV) takes the control of test scenarios and manages the test systems.</p> <p>Together, HORIBA and DEKRA will show a technical approach of a Vehicle-in-the-Loop (ViL) test, setup and methodology usable for development, homologation and technical inspection. Vehicle testing is transferred into the laboratory without manipulation of internal vehicle systems. In this Road to Rig setup the embedded LIDAR Sensor and potential sensor fusions with camera or RADAR are stimulated by the virtual environment.</p>

DEKRA Automobil GmbH, Automobil Test Center

Tabelle 2.9.5: Veröffentlichungen ErVast.DEKRA

Titel	Datum	Ort (Zeitungsnamen, ISBN, ggf. Link etc.)	Inhalt (kurz)
-------	-------	-------------------------------------------------	---------------

Strategische Arbeitsgruppe HU 2030		DEKRA Arbeitsgruppe	Vorstellung und Bewertung von Technologien für PTI Umfänge der Zukunft
PTI Prüfkonzepte der Zukunft		DEKRA Niederlassungsleitertagung	Vorstellung von Prüfkonzepten im Rahmen einer PTI für automatisierte Fahrzeuge
PTI Prüfkonzepte der Zukunft		CITA Arbeitsgruppe	Vorstellung von Prüfkonzepten im Rahmen einer PTI für automatisierte Fahrzeuge

ZIGPOS GmbH

keine

Automobil Forschung Dresden GmbH

Mit Hilfe der Zuarbeit von Konsortialpartnern hat die AMFD einen interaktiven Demonstrator entwickelt, mit dessen Hilfe sich Interessierte mit Bildern, Videos, Animationen und kurzen Texten über die wesentlichen Inhalte der Projektpartner eigenständig informieren können. Letztendlich ist der Demonstrator mit einer App vergleichbar. Die Nutzer können sich durch die einzelnen Projektinhalte durchklicken und mit Hilfe von „Zurück“- oder „Home“-Buttons navigieren.

Weiterhin wurde durch die Zusammenarbeit aller Konsortialpartner eine Projekt-Website erstellt, die eine Vorstellung des Projekts, aktuelle Inhalte während der Projektlaufzeit, die wesentlichen Projektziele und eine Vorstellung der am Projekt beteiligten Partner enthält. Da sich die Inhalte der Website und des Demonstrators ideal ergänzen, soll dieser zukünftig auf der Website eingebunden werden.

Nach Abklingen der pandemischen Lage sind wissenschaftliche Beiträge auf öffentlichen Tagungen zur Vorstellung der aktuellen bzw. fortgeführten Erkenntnisse eingeplant.

Verkehrsunfallforschung an der TU Dresden GmbH

Tabelle 2.9.6: Veröffentlichungen Teilvorhaben ErVast.VUF

Titel	Datum	Ort (Zeitungsname, ISBN, ggf. Link etc.)	Inhalt (kurz)
Derivation of Scenario-based Test and Inspection Catalogs based on real Accident Data	01.-02.09.2021	Carhs SafetyUpdate, Würzburg	<ul style="list-style-type: none"> - Kurzvorstellung ErVast - Methodik zur Ableitung von szenarienbasierten Test- und Prüfkatalogen auf Basis realer Unfalldaten - Variationen / Parametrierung Szenarien - Anwendung des Manöverkatalogs - Identifikation von Corner cases

Simulation als Werkzeug zur Analyse von realen (Unfall-) Szenarien	28.09.2021	FSD Verkehrs-sicherheitsforum, Radeberg	<ul style="list-style-type: none"> - Kurzvorstellung ErVast - Methodik zur Ableitung von szenarienbasierten Test- und Prüfkatalogen auf Basis realer Unfalldaten - Variationen / Parametrierung Szenarien - Anwendung des Manöverkatlogs - Identifikation von Corner cases
--------------------------------------------------------------------	------------	-----------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

TU Dresden – Professur Fahrzeugmechatronik (FZM)

Tabelle 2.9.7: Veröffentlichungen Teilvorhaben ErVast.TU Dresden FZM

Titel	Datum	Ort (Zeitungsnamen, ISBN, ggf. Link etc.)	Inhalt (kurz)
Möglichkeiten zur Nachbildung von Störeinflüssen auf die Erkennungsleistung von Umgebungssensorik für automatisierte Fahrfunktionen	07.02.2020	Oberseminar Technische Universität Dresden, Dresden	Erarbeitung von allgemeinen (atmosphärischen) und sensorbedingten (physikalischen, technischen) Störgrößen
Simulationsbasierte Untersuchung der Erkennungsleistung von Umgebungssensoren	30.06.2020	Studienarbeit Technische Universität Dresden, Dresden	Entwicklung eines durch Messdaten parametrierbaren phänomenologischen Sensormodells zur Generierung von Eingangsdaten für einen Notbremsassistenten und einen Abstandsregeltempomaten
Bewertung von LiDAR-Sensoren	11.12.2020	Oberseminar Technische Universität Dresden, Dresden	Identifizierung von Kriterien (bspw. Reichweite, Genauigkeit) zur Bewertbarkeit von LiDAR-Sensoren
Phenomenological, measurement based LiDAR sensor model	30.03.2021	Beitrag zum 21. Internationalen Stuttgarter Symposium, Stuttgart	Entwicklung eines phänomenologischen LiDAR-Sensormodells, welches die tatsächliche Erfassungsfähigkeit von realen LiDAR-Sensoren abbildet
Entwicklung eines messdatenbasierten phänomenologischen LiDAR-Sensormodells	03.06.2021	Diplomarbeit Technische Universität Dresden, Dresden	Entwicklung und Implementierung eines phänomenologischen Sensormodells, welches das tatsächliche Sensordetektionsvermögen unter

			Berücksichtigung von Umgebungseinflüssen abbildet
Künstliche Degradation von LiDAR-Sensoren	11.10.2021	Oberseminar Technische Universität Dresden, Dresden	Identifizierung von alterungsbeeinflussenden Faktoren zur gezielten Degradation von LiDAR-Sensoren (DIN EN 60068-2-27, DIN EN 60068-2-29, DIN EN 60068-2-64)
Konstruktion einer externen Prüfkammer zur kombinierten Schwing- und Klimabeanspruchung von Prüfobjekten	geplant	Studienarbeit Technische Universität Dresden, Dresden	Entwurf und vollständige CAD-Konstruktion einer externen Prüfkammer, um Umfoldsensoren im Allgemeinen und LIDAR-Sensoren im Speziellen einer kombinierten Schwing- und Klimabeanspruchung auszusetzen

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN geplant	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel ErVast – Einsatz dynamischer Verkehrselemente für die Prüfung automatisierter Fahrfunktionen	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Stoller, André Lotze, Martin Bahnert, Christoph Auerswald, Rico Zäper, Andreas Richter, Robert Engelbert, André Unger, Thomas Balzer, Paul	5. Abschlussdatum des Vorhabens Dezember 2021
	6. Veröffentlichungsdatum 29.07.2022
	7. Form der Publikation Broschüre
8. Durchführende Institution(en) (Name , Adresse) FSD Fahrzeugsystemdaten GmbH – Zentrale Stelle nach StVG Wintergartenstraße 4, 01307 Dresden AMFD Auto Mobil Forschung Dresden GmbH Freiberger Str. 37, 01067 Dresden DEKRA Automobil GmbH - Automobil Test Center Senftenberger Str. 30, 01998 Klettwitz Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme IVI Zeunerstraße 38, 01069 Dresden Technische Universität Dresden Professur Fahrzeugmechanik Professur für Informationstechnik für Verkehrssysteme Helmholtzstr. 10, 01069 Dresden HORIBA Europe GmbH Landwehrstrasse 55, 64293 Darmstadt Verkehrsunfallforschung an der TU Dresden GmbH Semperstraße 2A, 01069 Dresden ZIGPOS GmbH Räcknitzhöhe 35A, 01217 Dresden	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen FKZ 01MM19003
	11. Seitenzahl 108
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) Invalidenstraße 44 10115 Berlin	13. Literaturangaben 38
	14. Tabellen 22
	15. Abbildungen 90
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	
18. Kurzfassung Das Projekt ErVast war ein zweijähriges, durch das Bundesministerium für Digitales und Verkehr gefördertes Forschungsprojekt, welches im Dezember 2021 mit der Abschlussveranstaltung erfolgreich beendet wurde. Die Zielstellung des Projektes war es ein prototypisches Prüfverfahren für szenarienbasiertes Testen von Fahrzeugen mit assistierenden und automatisierten Fahrfunktionen unter dem Einsatz von dynamischen Verkehrselementen zu entwickeln, welches erfolgreich in der Hauptuntersuchung (HU) genutzt werden kann. Dabei sollte der Fokus auf der Funktions- und Wirkungsprüfung der gesamten Wirkkette der assistierenden und automatisierten Fahrfunktionen und der hierfür benötigten Umfeldsensorik liegen. Zur Darstellung eines einfachen, effizienten und automatisierten Prüfablaufs wurde das Prüfverfahren in Form eines Demonstrators umgesetzt. Für den Aufbau des Demonstrators waren benötigte Grundlagen zu erarbeiten und die technischen Elemente umzusetzen. Mit dem Projekt ErVast konnte nachgewiesen werden, dass szenarienbasiertes Testen im Rahmen der HU notwendig und sinnvoll umsetzbar ist. Die Funktions- und Wirkungsprüfung assistierender und automatisierter Fahrfunktionen und der dafür benötigten Umfeldsensorik kann zielgerichtet und effizient mit dem beschriebenen System durchgeführt werden. Die entwickelte Prüftechnologie würde dem amtlich anerkannten Sachverständigen eine deutlich tiefgreifendere Prüfung ermöglichen, sodass ein erheblicher Mehrwert für die Verkehrssicherheit generiert werden kann.	
19. Schlagwörter Fahrerassistenzsystemen (ADAS), hochautomatisierte Fahrfunktionen (HAF), Hauptuntersuchung (HU), Periodische Technische Inspektion (PTI), HU-Adapter, dynamische Verkehrselemente, szenarienbasiertes Testen, Funktionsprüfung ADAS und HAF, Wirkungsprüfung ADAS und HAF, Prüftechnologie, Prüfscenarien, Umfeldsensorik, amtlich anerkannter Sachverständiger, Prüfingenieur, Sensorprüfung, (dynamisches) Target, Fahrzeugdummy, Targetträger	
20. Verlag	21. Preis