Automatisiertes Fahren in der Stadt

Versuchsträger

@CITY-Abschlussveranstaltung

22. und 23. Juni 2022
Aldenhoven Testing Center

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

@CITY kurz erklärt

@CITY steht für „Automated Cars and Intelligent Traffic in the City“. In der Initiative haben sich 15 Partner aus Wirtschaft und Wissenschaft zusammengeschlossen und entwickeln in verschiedenen Teilprojekten Konzepte, Technologien und prototypische Anwendungen für automatisiertes Fahren in der Stadt. Das Verbundprojekt lief 2017 an und wird Mitte 2022 abgeschlossen sein. Das Gesamtbudget beträgt rund 45 Millionen Euro, etwa 20 davon trägt das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).

Willkommen zur @CITY-Abschlussveranstaltung

Im Namen der 15 Projektpartner heiße ich Sie zur Abschlussveranstaltung der Forschungsinitiative @CITY im Aldenhoven Testing Center herzlich willkommen. Nach rund viereinhalbjähriger Forschungstätigkeit stellen Ihnen die Partner aus Industrie, Forschungseinrichtungen und Universitäten heute die Projektergebnisse detailliert vor.

Auf dem Testgelände werden in Fahrdemos mit zehn Versuchsfahrzeugen vielfältige Szenarien des automatisierten Stadtverkehrs demonstriert. Gezeigt werden beispielsweise verschiedene Interaktionssituationen mit Fußgängern und Radfahrern. Dabei sind die in @CITY entwickelten Systeme etwa in der Lage, das Verhalten dieser Verkehrsteilnehmer unter Berücksichtigung von Kopf- und Körperhaltung, von Gesten sowie aufgrund ihrer Bewegungsrichtung vorauszusehen. Fahrzeugsensorik fusioniert mit der hochaufgelösten, digitalen Karte ermöglicht den Fahrzeugen eine robuste Eigenlokalisierung. An den Ampel- und Verkehrszeichen-geregelten Kreuzungen, im Kreisverkehr, beim Passieren einer Engstelle und an der Bushaltestelle erleben Sie automatisierte Fahrfunktionen unter Berücksichtigung anderer Verkehrsteilnehmer.

Auf rund 1.200 Quadratmetern Ausstellungsfläche erwarten Sie unter anderem Virtual Reality-Demonstrationen, Simulationen, statische Fahrzeugdemos sowie Video-, Poster- und Bildschirmpräsentationen.

Das vorliegende Demonstratorbuch beschreibt unsere @CITY-Versuchsfahrzeuge, gibt Ihnen einen Überblick über unsere Ausstellung und soll Sie auf Ihrem Weg durch die Präsentationen und Demonstrationen begleiten. Ich wünsche Ihnen einen interessanten Tag mit @CITY im Aldenhoven Testing Center – auch wenn die automatisierten Versuchsträger ‚auffällig unauffällig‘ sind, wie unser Filmteam bei den letzten Testfahrten bemerkte.

Ihr
Dr. Ulrich Kreßel
@CITY-Projektkoordination
Mercedes-Benz AG

Die Teilprojekte

TP 1
Umfelderfassung und Situationsverstehen

TP 2
Digitale Karte und Lokalisation

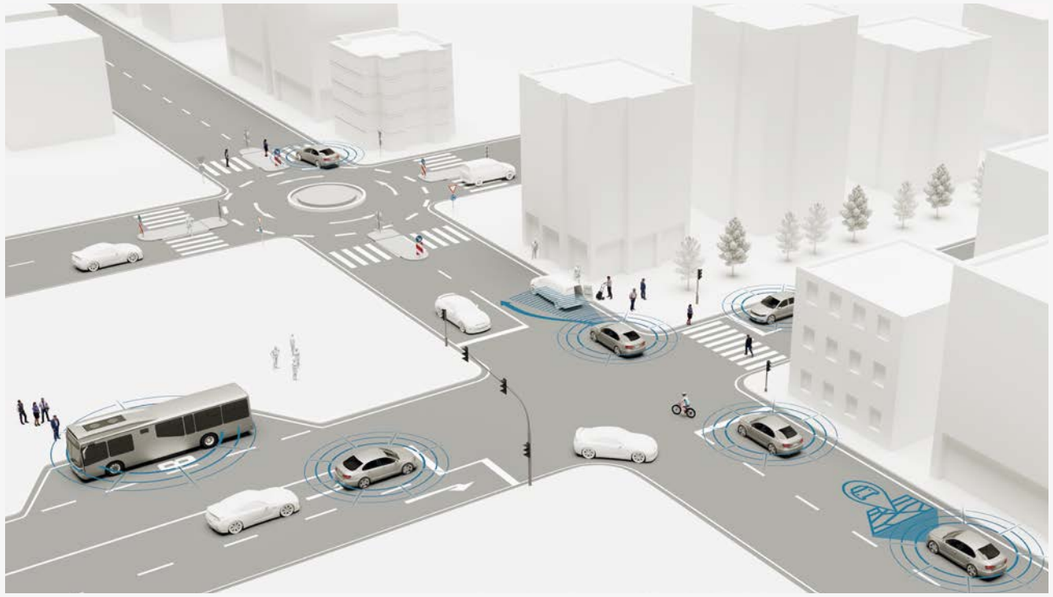
TP 3
Konzepte und Pilotanwendungen

TP 4
Mensch-Fahrzeug-Interaktion

TP 5
Automatisiertes Fahren über urbane Knotenpunkte

TP 6
Automatisiertes Fahren auf urbanen Straßen

TP 7
Interaktion mit schwächeren Verkehrsteilnehmern



Partner

- Aptiv Services Deutschland GmbH
- AUDI AG
- Continental Automotive GmbH
- Continental Safety Engineering International GmbH
- Continental Teves AG & Co. oHG
- Mercedes-Benz AG
- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
- MAN Truck & Bus SE
- Robert Bosch GmbH
- Technische Universität Chemnitz
- Technische Universität Darmstadt
- Technische Universität München
- Valeo Schalter und Sensoren GmbH
- ZF Group
- 3D Mapping Solutions GmbH

Inhaltsverzeichnis

Grußwort **3**
Geländeplan ATC Aldenhoven **6**
Lagepläne **8**

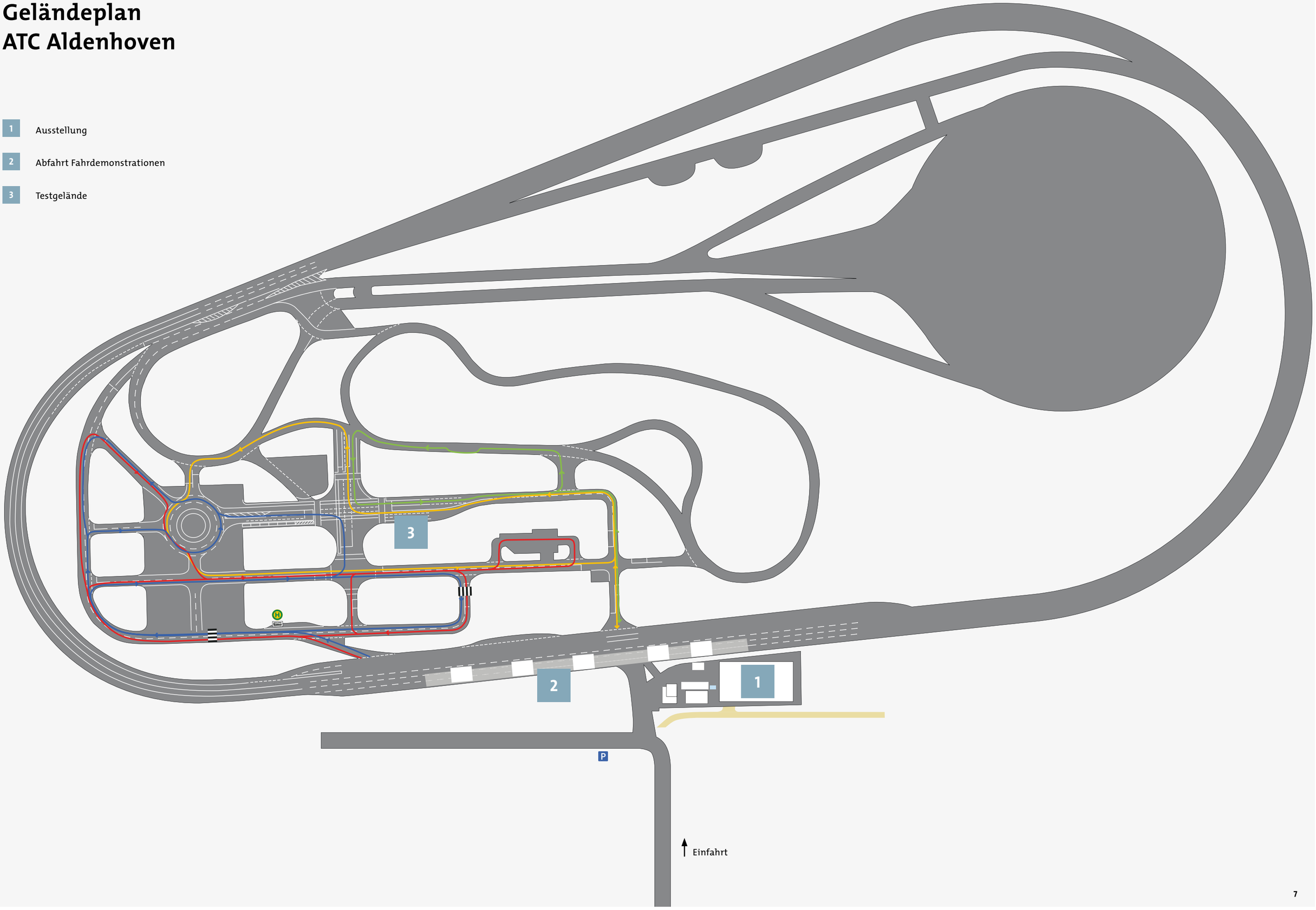
2. Fahrdemonstrationen **11**
Beschreibungen der Fahrdemonstrationen 12
Aptiv Services Deutschland GmbH 14
AUDI AG 15
Continental AG 16
MAN Truck & Bus SE 17
Mercedes-Benz AG 18
Universität Ulm mit Mercedes-Benz AG 19
Robert Bosch GmbH 20
Valeo Schalter und Sensoren GmbH 22
ZF Group 23
2. Standdemonstrationen **25**
AUDI AG 26
Continental AG 27
Mercedes-Benz AG 28
Universität Ulm mit Mercedes-Benz AG 29
3D Mapping Solutions GmbH 30
Technische Universität Darmstadt 31

Geländeplan
ATC Aldenhoven

1 Ausstellung

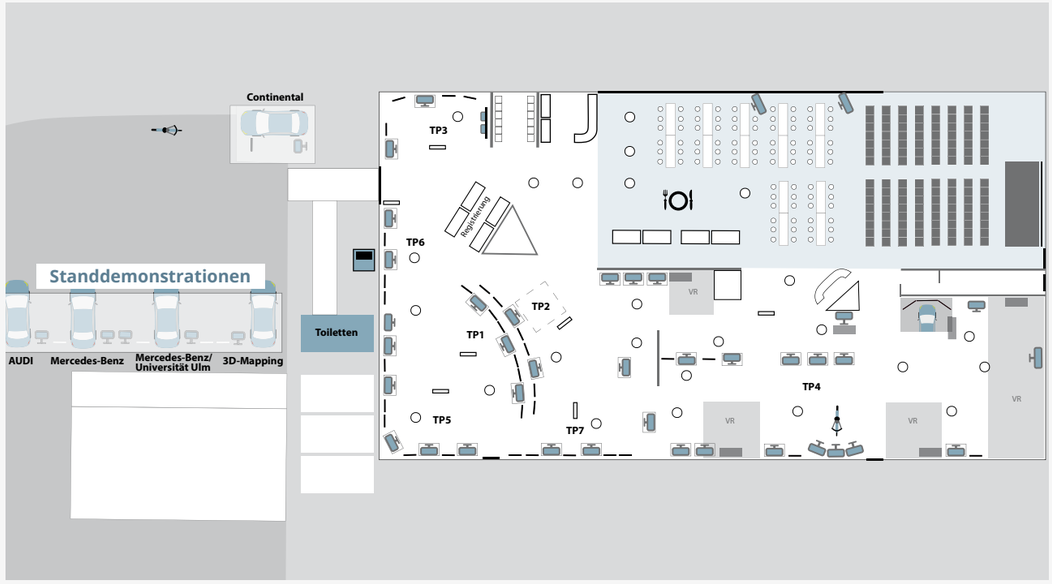
2 Abfahrt Fahrdemonstrationen

3 Testgelände



Lagepläne

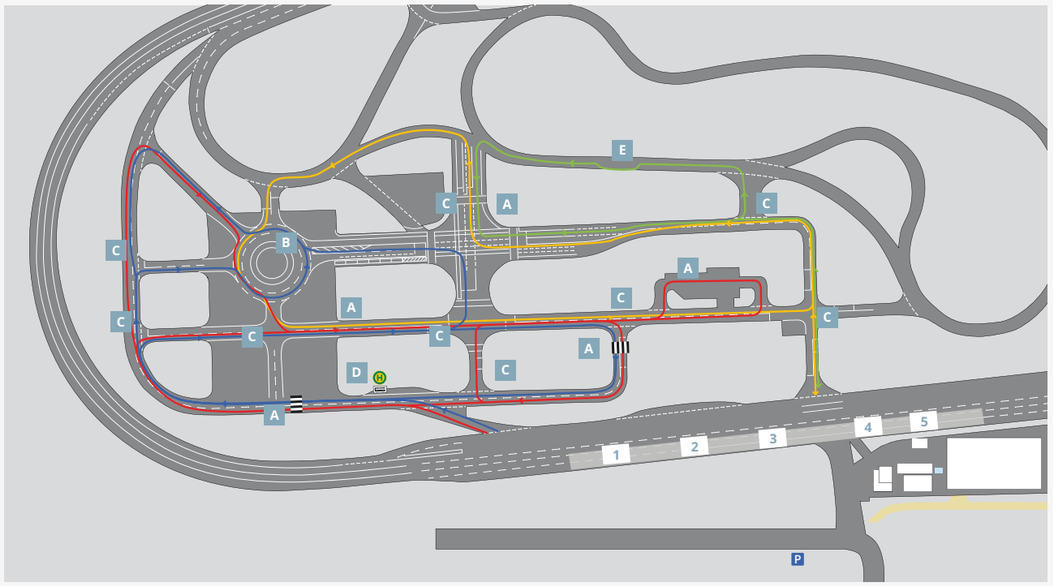
1 Ausstellung



Teilprojekte

TP 1 Umfelderfassung und Situationsverstehen, **TP 2** Digitale Karte und Lokalisation, **TP 3** Konzepte und Pilotanwendungen, **TP 4** Mensch-Fahrzeug-Interaktion, **TP 5** Automatisiertes Fahren über urbane Knotenpunkte, **TP 6** Automatisiertes Fahren auf urbanen Straßen, **TP 7** Interaktion mit schwächeren Verkehrsteilnehmern

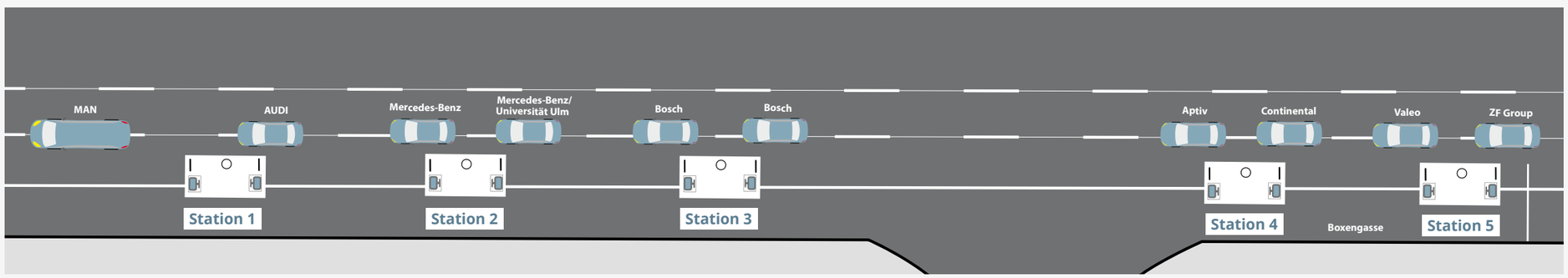
3 Testgelände



Streckenplan, Aktionspunkte

- **A** Interaktion mit schwächeren Verkehrsteilnehmern
- **B** verschiedene Szenarien am Kreisverkehr
- **C** Fahren über Ampel- und Verkehrszeichen-geregelte Kreuzungen
- **D** Einfahrt in Haltebucht
- **E** Passieren einer Engstelle

2 Abfahrt Fahrdemonstrationen



Demonstrationsfahrten

Station 1	MAN, AUDI
Station 2	Mercedes-Benz, Universität Ulm
Station 3	Bosch
Station 4	Aptiv, Continental
Station 5	Valeo, ZF Group

1. Versuchsfahrzeuge Fahrdemonstrationen

Aptiv Services Deutschland GmbH	Fußgängerprädiktion und Selbstlokalisierung
AUDI AG	Kreuzung, Kreisverkehr, Bushaltestelle
Continental AG	Urbane Knotenpunkte
MAN Truck & Bus SE	Automatisierte Einfahrt in Haltebucht
Mercedes-Benz AG	Ampel- und Fußgängererkennung
Universität Ulm mit Mercedes-Benz AG	Urbane Kreuzung
Robert Bosch GmbH	Erkennung von Verkehrsteilnehmern und Freiräumen, Interaktion mit schwächeren Verkehrsteilnehmern
Valeo Schalter und Sensoren GmbH	Engstellen- und Kreuzungsassistent
ZF Group	Kreuzungsassistent

Beschreibungen der Fahrdemonstrationen

AUDI

Automatisiertes Fahren durch Kreisverkehr und über Ampel-geregelte Kreuzung; Interaktionen mit anderen Fahrzeugen an Bushaltestelle sowie am Kreisverkehr

Aptiv

Autonomes Fahren im urbanem Umfeld, Radar-basierte Selbstlokalisierung, Situationsverstehen durch Detektion und kontextabhängige Prädiktion anderer Verkehrsteilnehmer

Bosch

Umgebungserfassung mit Video, Deep Learning-basierte semantische Segmentierung und Fahrzeugerkennung für die Front-Kamera.

Bosch

Umgebungserfassung mit Video und Lidar, Deep Learning--basierte Verhaltensvorhersage und situationsangepasste Systemreaktion bei der Interaktion mit Fußgängern

Continental

Automatisches Befahren urbaner Szenen: Ampelkreuzung, Kreisverkehr sowie Verbindungsstrecken unter Berücksichtigung von Fußgängern und Fahrradfahrern

MAN

Automatisierte längs- und quergeführte Einfahrt in Haltebucht, Kamera- und ultraschallbasierte Nahfeldüberwachung

Mercedes-Benz

Kamera-basierte Umgebungserfassung: Detektion, Orientierungs- und Posenschätzung von VRUs; Detektion und Attributklassifikation von Ampeln

Universität Ulm mit Mercedes-Benz

automatisierte Fahrfunktionen für Kreuzungen mit Fußgängerüberwegen, Erkennung von Lichtsignalanlagen und verletzlichen Verkehrsteilnehmern

Valeo

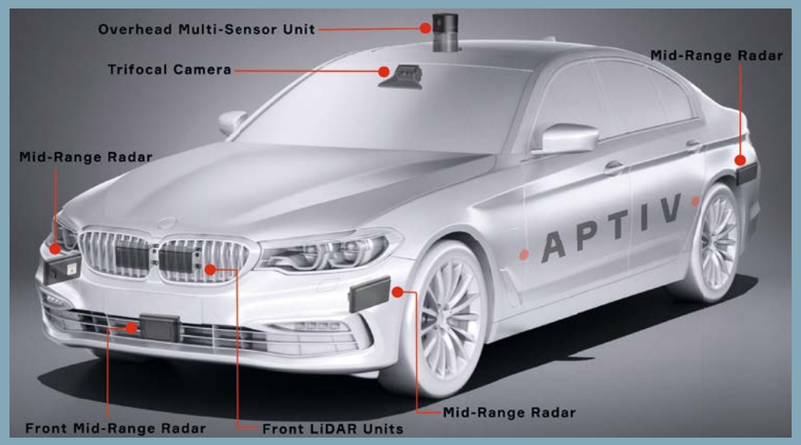
Es wird das Linksabbiegen mit LSA, das Passieren einer Engstelle, die Visualisierung der HD-Karte, die Erkennung und das Tracking von Objekten, sowie ein ansprechendes HMI demonstriert

ZF Group

Automatisiertes Halten und Abbiegen an Ampel- und Verkehrszeichen-geregelten Kreuzungen unter Berücksichtigung anderer Verkehrsteilnehmer

Fußgängerprädiktion und Selbstlokalisierung

Versuchsträger Aptiv Services Deutschland GmbH



Demonstrationsschwerpunkte

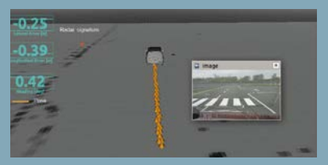
- Fußgängerdetektion und -prädiktion
- Fahrfunktion im geschlossenen Regelkreis
- Radar-basierte Selbstlokalisierung

Fußgängerprädiktion

1. Detektion des Fußgängers
2. Maschinell trainierte Prädiktion von Intention und Trajektorie unter Berücksichtigung des Kontexts
3. Anpassung der Fahrstrategie

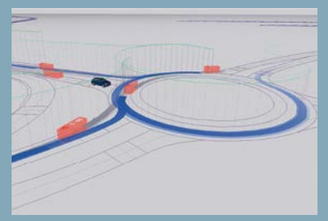
Radar-basierte Selbstlokalisierung

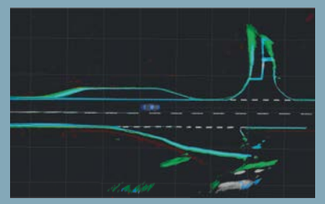
1. Kartierung: Generierung einer Radar-basierten Referenzkarte mit vier Seitenradaren und einem dGPS Sensor
2. Selbstlokalisierung: Abgleich der Radardaten mit der Referenzkarte

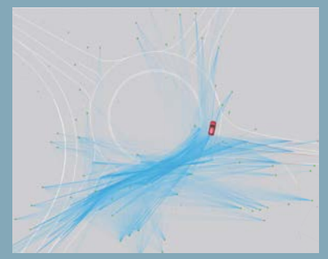


Fahrdemo-Versuchsträger

Versuchsträger AUDI AG







Nutzungsschwerpunkt

- Automatisiertes Fahren entlang einer urbanen Strecke mit Kreisverkehr, Kreuzung und Bus an einer Bushaltestelle
- Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern durch Berücksichtigung der Prognose bei der Planung der Ego-Trajektorie
- Testen der automatisierten Fahrstrategien in herausfordernden urbanen Szenarien wie beim Einfahren in einen Kreisverkehr oder an Ampel-geregelter Kreuzung oder Vorfahrt an dynamischen Engstellen (z. B. Bushaltestelle)
- Lokalisation mittels Landmarken und Fahrbahninfrastruktur relativ zu digitaler Karte

Was ist hier am Versuchsträger live zu sehen?

- Closed Loop automatisiertes Fahren entlang einer urbanen Strecke mit Ampel-geregelter Kreuzung und Interaktion an Bushaltestelle sowie am Kreisverkehr.
- Visualisierung der Lokalisation und der Umfelderfassung und des Zusammenspiels zwischen Prognose und Planer
- Erleben der Fahrfunktion

Urbane Knotenpunkte

Versuchsträger Continental AG

Sensoren, Verarbeitungsschritte und Aktuatorik

MsXPro (V2X) | ARS Radar

Mono Kamera | Lidar

OpenDrive HD Karte | Lokalisierung (Radar)

Manöver und Trajektorienplanung

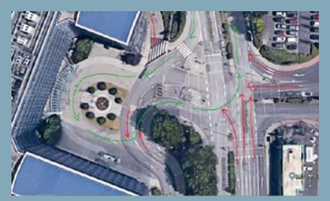
EPS Lenkung

MK100

Sense | Plan | Act

Entwicklungsschwerpunkt

Automatisches Durchqueren urbaner Knotenpunkte unter Berücksichtigung von Fußgängern und Fahrradfahrern. Analyse und Entwicklung anhand eines ausgewählten Referenz-Knotenpunktes (Guerickestraße Hauptgebäude Frankfurt).



Automatisierte Einfahrt in Haltebucht

Versuchsträger MAN Truck & Bus SE

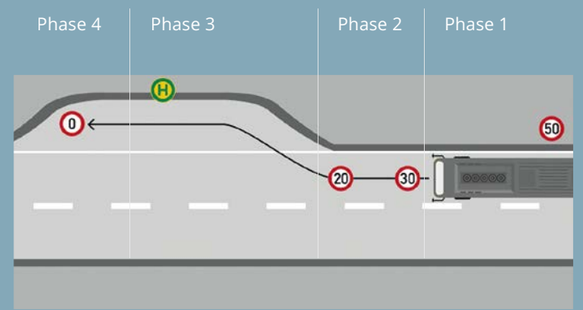
Versuchsträger

MAN Lion's City 12 EfficientHybrid, Motor D1556 LOH 280PS 1200Nm Euro 6d
L/B/H: 12.185 mm / 2.550 mm / 3.060 mm, Radstand: 6.005 mm

Demonstrationsschwerpunkt

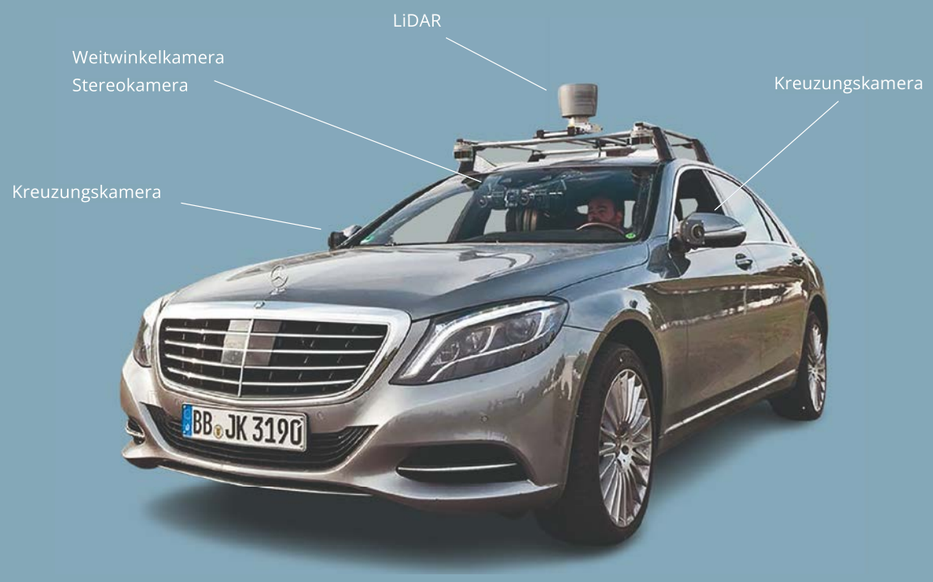
Einfahrt in Haltebucht:

1. Freie Fahrt und Vorbereitung
2. Übergabe an Automatisierung
3. Automatisierte Einfahrt in Bucht
4. Anhalten an finaler Position



Ampel- und Fußgängererkennung

Versuchsträger Mercedes-Benz AG



Demonstrationsschwerpunkte:

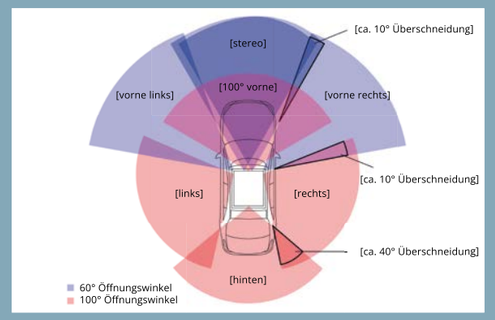
- Kamera-basierte **Detektion und Orientierungsschätzung von Fußgängern und Radfahrern**
- Kamera-basierte Gelenkpunkt-Extraktion von Fußgängern **(Skeletons)**
- Kamera-basierte **Detektion und Attributklassifikation von Ampeln**
- Klassifizierte Ampel-Attribute:
  - Ausrichtung
  - Phase
  - Piktogramm

Urbane Kreuzung

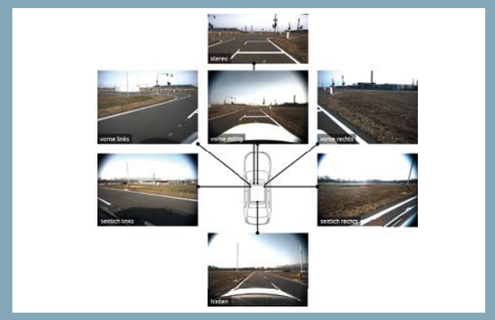
Versuchsträger Universität Ulm mit Mercedes-Benz AG

Automatisiertes Überqueren von Kreuzungen

Closed-Loop Demonstration von automatisierten Fahrfunktionen zum **Rechtsabbiegen an Kreuzungen mit Fußgängerüberwegen**. Dabei werden **Lichtsignalanlagen** (LSAs) und **verletzliche Verkehrsteilnehmer** (VRUs) erkannt und entsprechend beachtet.



Kamera-Konfiguration



Sichtbereiche des Fahrzeug

Umsetzung

Lokalisierung über hochgenaues **dGPS System**, Referenzierung mit **HD-Karte**, **Erkennung von LSAs und VRUs** mit Modulen aus TP 5 und TP 7, angepasste **Trajektorienplanung mit Model Predictive Control** (MPC)

Erkennung von Verkehrsteilnehmern und Freiräumen

Versuchsträger Robert Bosch GmbH

Zielsetzung

- Erkennung von Fahrzeugen & Fußgängern mit Orientierung und Entfernung
- Erkennung von Freiräumen und der Straßentopologie

Demonstration im Fahrzeug

Fahrzeugerkennung und Semantische Segmentierung für Front-Kamera

- Fahrzeugerkennung mit Orientierungs-schätzung und Heck-, Front-, Seiten-ansicht Unterscheidung, integriert in einem Multi-Task DNN.
- Semantische Segmentierung als Teil des Multi-Task DNN.

Multi-Task SemSeg and Vehicle detection

Multi-Task Vehicle and Person detection

Demonstration Offline

Personenerkennung und Monokulare Tiefenschätzung für Front-Kamera

- DNN basierte, monokulare Tiefen-erkennung auch von bewegten Objekten.
- Multi-Task DNN SemSeg, Fahrzeuge und Personen.

Interaktion mit schwächeren Verkehrsteilnehmern

Versuchsträger Robert Bosch GmbH

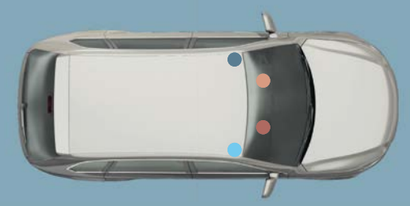
Zielsetzung

- Robuste Fußgängererkennung, auch unter herausfordernden Bedingungen (ungünstige Beleuchtungsverhältnisse, teilweise Verdeckung, große Distanz)
- Erkennung von erscheinungsbasierten Merkmalen von Fußgängern
- Verhaltensvorhersage von Fußgängern unter Berücksichtigung des Szenenkontexts
- Situationsangepasste Systemreaktion bei der Interaktion mit Fußgängern

Fahrdemonstration

Umgebungserfassung mit tiefen neuronalen Netzen

- Video- und lidarbasierte Fußgängererkennung
- Erkennung der Körperorientierung von Fußgängern
- Fusion von video- und lidarbasierten Objekthypothesen



Laserscanner
- Fernbereich
- Nahbereich

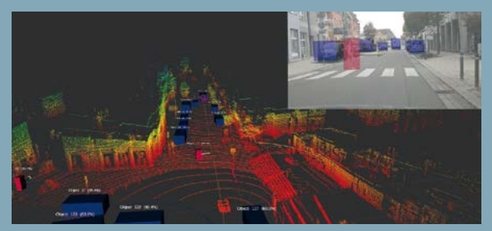
Videokameras
- Fernbereich
- Nahbereich

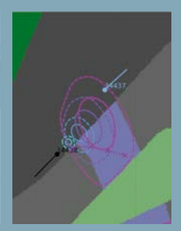
Verhaltensvorhersage von Fußgängern unter Berücksichtigung des Szenenkontexts

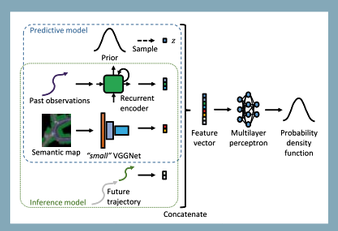
- Deep-Learning basiertes Prädiktionsmodell
- Berücksichtigung von Szenenkontext bei der Verhaltensvorhersage
  - Statischer Kontext: Repräsentation durch semantische Karte
  - Dynamischer Kontext: Interaktion mit dem automatisierten Fahrzeug
  - Erscheinungsbasierte Kommunikation: Körperorientierung von Fußgängern

Situationsangepasste Systemreaktion

- Realisieren einer situationsangepassten Systemreaktion bei der Interaktion mit Fußgängern







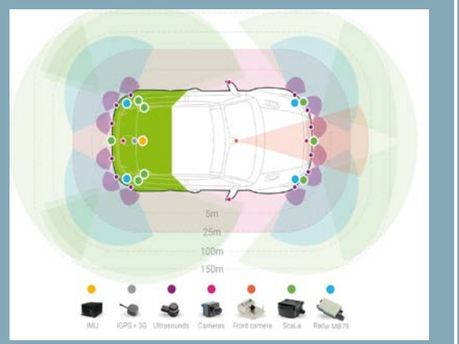
Engstellen- und Kreuzungsassistent

Versuchsträger Valeo Schalter und Sensoren GmbH

Versuchsträger

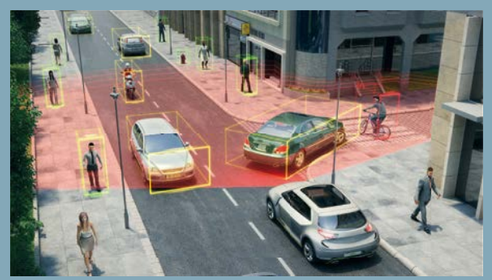
Range Rover Evoque 2.0 4WD Automatik (SD4 BVA Dynamic), Baujahr 2018, 1999 ccm, Benzin, 177 kW, 1746 kg, Radstand 2660 mm, Länge 4370 mm, dGPS

Verbaute Sensorik

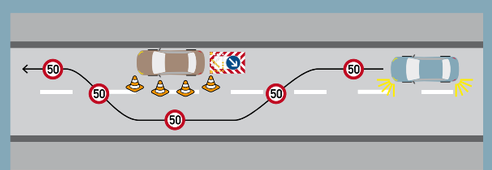


Besonderheiten

- Kamera- und Lidarbasierte 3D-Objekterkennung, sowie Objekttracking

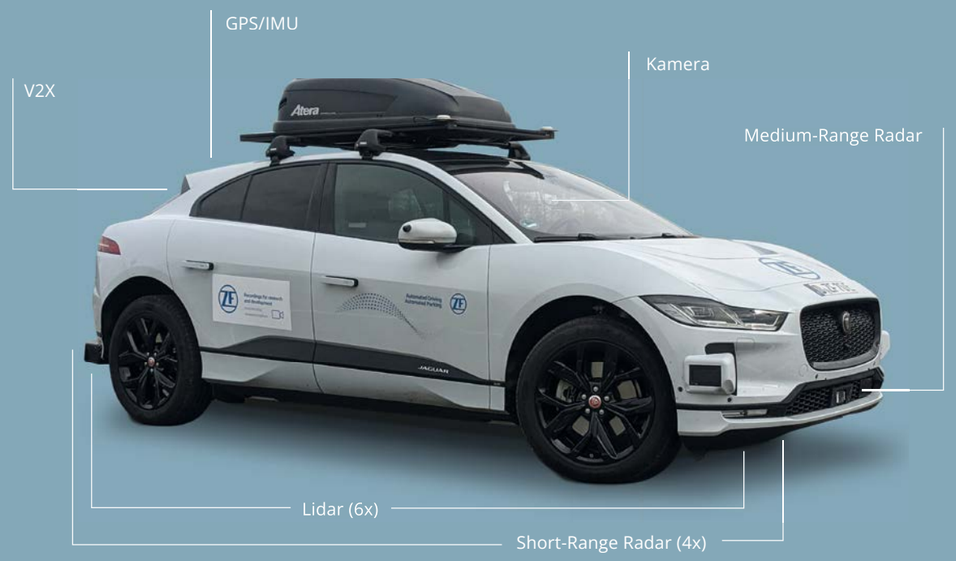


- Engstellen- und Kreuzungsassistent



Kreuzungsassistent

Versuchsträger ZF Group

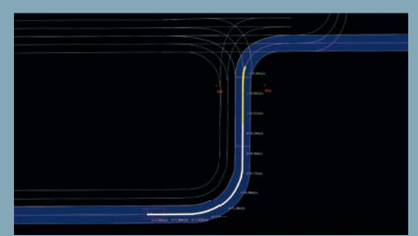


Demonstrationsschwerpunkte

- Automatisiertes Fahren auf einer urbanen Route mit Kreuzungen
- Automatisiertes Halten und Abbiegen an Kreuzungen unter Berücksichtigung und Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern
- Situationsverstehen und Interpretation durch Fusion von fahrzeugseitigen Sensordaten und HD-Karteninformationen

Halten an roter Ampel in der Simulation

Halten an Stoppschild in der Simulation



Planung des Manövers im Fahrzeug

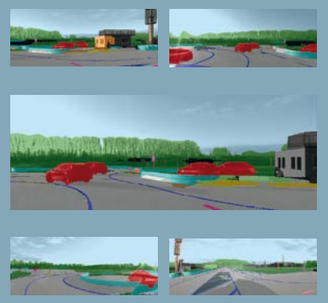
2. Versuchsfahrzeuge Standdemonstrationen

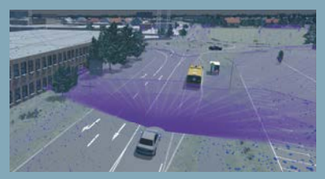
AUDI AG	Sensor-Versuchsträger
Continental AG	Detektion von VRUs, Gestenerkennung
Mercedes-Benz AG	Polarimetrisches Radar
Universität Ulm mit Mercedes-Benz AG	Urbane Kreuzung, Lokalisierung
3D Mapping Solutions GmbH	Mobile Mapping System
Technische Universität Darmstadt	Demonstration externes HMI

Sensor-Versuchsträger

Versuchsträger AUDI AG

Sensorik





Nutzungsschwerpunkt

- Evaluierung von Sensorsets für urbane Szenarien
- Testen der Erfassungsbereiche für Fahrstrategien in herausfordernden urbanen Szenarien wie Kreisverkehren, Kreuzungen oder dynamischen Engstellen (z. B. Bushaltestelle)

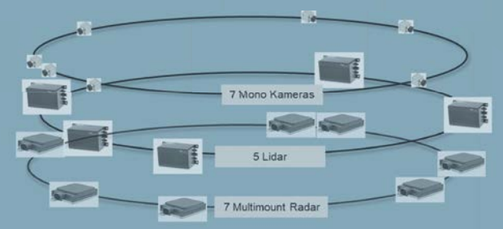
Was ist hier am Versuchsträger live zu sehen?

- Visualisierung einer Semantischen Segmentierung zur Klassifikation von Objekten mittels ML auf den Frontkameras
- Visualisierung von Laserrohdaten
- Visualisierung der Radarrohdaten

Detektion von VRUs, Gestenerkennung

Versuchsträger Continental AG

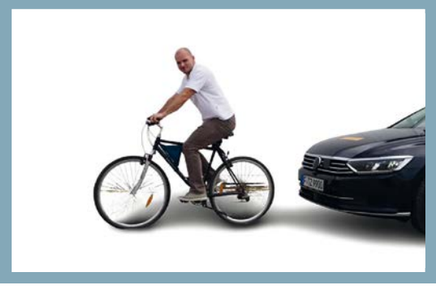
Sensorik



Fahrzeug mit Front- und Surround-View-Kameras

Demonstrationsschwerpunkte

- Kamerabasierte Detektion von VRUs (Vulnerable Road Users).
- Bildbasierte Extraktion der Gelenkpunkte von Personen (“Skelett-Pose”).
- Posen basierte Gestenerkennung. Z. B. Handgeste eines Radfahrers oder Radfahrerin.



Demonstrationsschwerpunkte

- Schätzung der Pose des Radfahrers
- Detektion von fahrradspezifischen Gesten
- Abbiegen nach links oder rechts

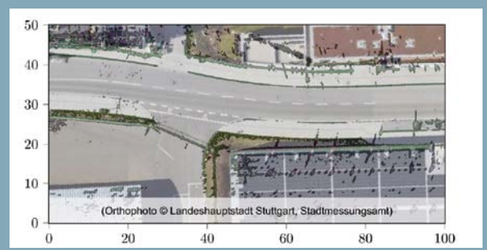
Polarimetrisches Radar

Versuchsträger Mercedes-Benz AG

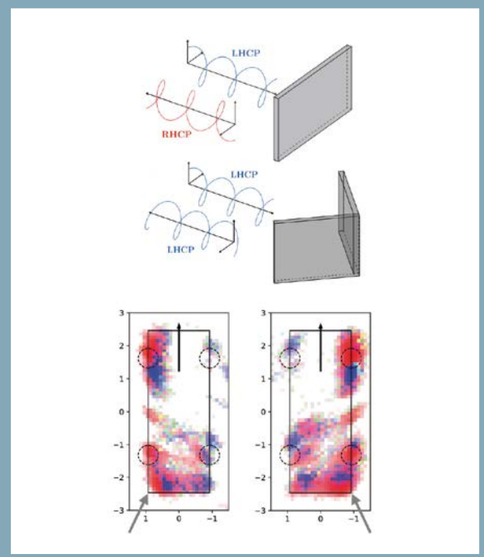
Sensorik

Demonstrationsschwerpunkte

- Demonstration und Visualisierung der polarimetrischen Radar-Signatur von mehreren Beispielzielen
- Veranschaulichung des Mehrwerts der Streuinformationen in potentiellen Anwendungen von polarimetrischen Automobilradarsensoren



Amplituden-Gridmap mit polarimetrischen Informationen



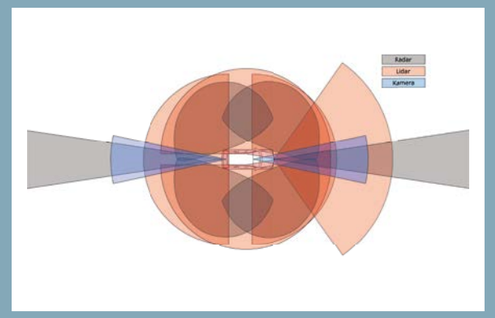
Polarimetrische Fahrzeug-Signaturen

Urbane Kreuzung

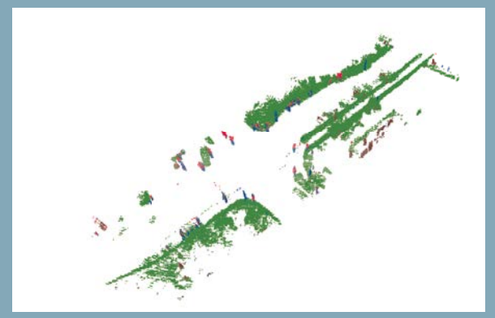
Versuchsträger Universität Ulm mit Mercedes-Benz AG

Lokalisierung mit hochgenauen digitalen Karten

Schätzung der Ego-Pose (Position und Orientierung) mit tiefen neuronalen Netzwerken, unter Berücksichtigung von unsortierten Punktmengen aus Lidar-Punkwolken und semantisch segmentierter HD-Karte.



Sensor Setup



Segmentierte HD Lidar Karte

Umsetzung

Das tiefe neuronale Netzwerk verwendet die Point Transformer Architektur um Beziehung zwischen Lidar-Scan und hochgenauer digitaler Karte herzustellen. Dabei werden nur statische Objektklassen berücksichtigt, die durch ein weiteres Neuronales Netzwerk in einem Vorverarbeitungsschritt klassifiziert werden.

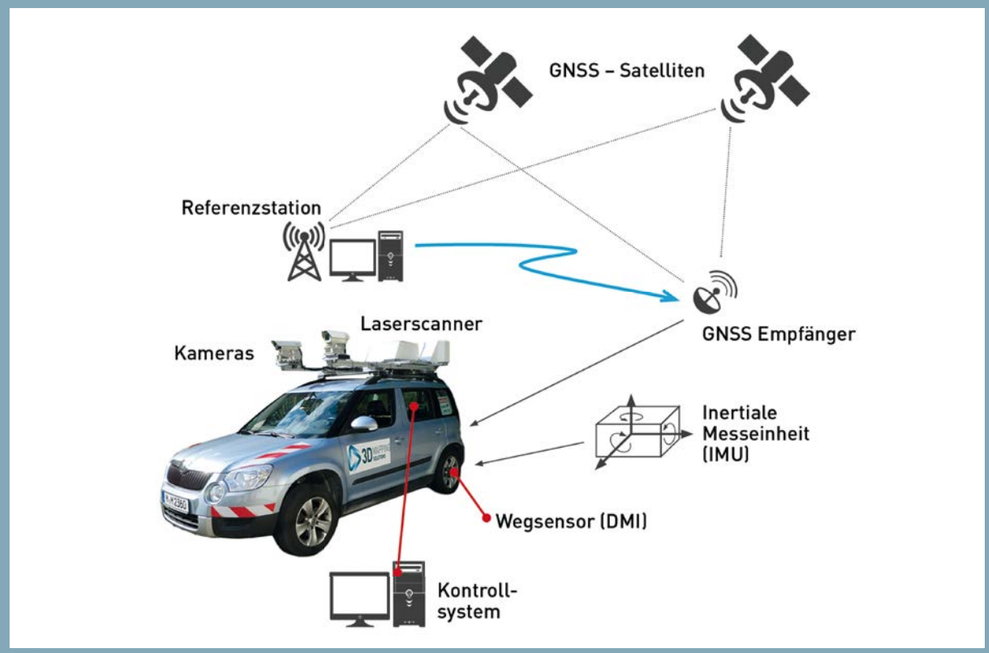
Mobile Mapping System

3D Mapping Solutions GmbH

Messfahrzeug und Messaufbau

Die Befahrung der Testgebiete für das Forschungsprojekt @CITY erfolgt mit den Mobile Mapping Systemen von 3D Mapping Solutions. Aufbau, Konzept und Software der Messsysteme sind Eigenentwicklungen der Firma 3D Mapping Solutions mit besonderer Leistungsfähigkeit. Mehrere dieser Messfahrzeuge sind international im Einsatz.

Hauptkomponenten eines Mobile Mapping Systems



- Der Fahrbahnkorridor wird mit Hilfe eines Multisensor-Messsystems hochauflösend digitalisiert, insbesondere mit **Laserscannern, Messkameras in Farbe oder Infrarot und Radar**. Hauptsensoren sind zwei Hochleistungs-Laserscanner mit 100 m Reichweite, Messgenauigkeit < 1 mm und zusammen zwei Millionen Messpunkten pro Sekunde. Alle Eigenbewegungen des Fahrzeuges werden mit Hilfe eines high-end Positionierungssystems präzise bestimmt. Dieses besteht aus einem hochgenauen 3D Laserkreisel – Inertialsystem, hochgenauem GPS und einem Wegsensor.

- Aus den hochauflösenden Aufnahmedaten werden Ergebnisse für vielfältige Anwendungsfelder abgeleitet, z. B. **hochauflösende Referenzkarten (Ultra HD Maps), Fahrszenarien, Analyse der Güte bestehender Kartendaten, präzise Straßenoberflächenmodelle, 3D-Umgebungsmodelle** usw.

Demonstrationen externes HMI

Technische Universität Darmstadt

Externes HMI für die Kommunikation automatisierter Fahrzeuge mit anderen Verkehrsteilnehmenden

Hintergrund

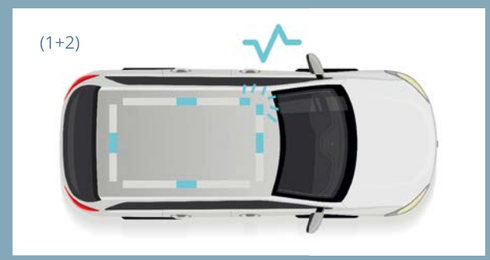
- Entwicklung nach dem menschzentrierten Entwicklungsprozess (DIN EN ISO 9241:210)
- Rundum-Lichtband in der Farbe Cyan
- Lichtmuster zur Kommunikation verschiedener Botschaften an andere Verkehrsteilnehmende

(1)

Demonstrationsschwerpunkte

- Kommunikation des Automationsstatus (1) über ein statisches Lichtmuster
- Kommunikation der Botschaft “Ich gewähre Vorrang” (2) über ein statisches und ein pulsierendes Lichtmuster, das in die Richtung des Empfängers des Signals zeigt

(1+2)



www.atcity-online.de

@CITY-Projektbüro:
WES Office
Telefon +49 7021 9781-81
info@wes-office.de