

## Individueller Schlussbericht zum Verbundprojekt

# „@CITY“

Des Projektpartners „Valeo Schalter und Sensoren GmbH“

Verbundprojekt: @CITY - Automatisierte Fahrzeuge und Intelligenter Verkehr in der Stadt; Teilvorhaben: Bahnplanung, Lokalisation, digitale Karte, Testfahrzeug, Umfelderfassung



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

FKZ: 19A17015H

### **Kontakt Projektpartner Valeo:**

Dr. Alexander Nagel (Valeo Schalter und Sensoren GmbH)

Tel.: +49 (0) 9261-407-5833

E-Mail: alexander.nagel@valeo.com

### **Weitere am Verbundprojekt beteiligte Projektpartner:**

- Audi AG
- Mercedes Benz AG (Verbundprojektkoordinator, ehemals DAIMLER AG)
- Continental Safety Engineering International GmbH
- Continental Teves AG & Co. oHG
- Aptiv plc (ehemals Delphi)
- ZF Automotive Germany
- Robert Bosch GmbH
- 3D Mapping Solutions GmbH
- Technische Universität München,
  - Lehrstuhl für Ergonomie (TUM LfE)
  - Lehrstuhl für Verkehrstechnik (TUM VT)

Laufzeit des Vorhabens:

von: 01.09.2017 bis: 30.06.2022

Berichtsdatum

19.09.2022

## Inhalt

1.	Kurzdarstellung.....	7
1.1.	Aufgabenstellung.....	7
1.2.	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde .....	11
1.3.	Planung und Ablauf des Vorhabens .....	12
1.4.	Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde.....	26
	Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden.....	28
	Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste .....	28
1.5.	Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	29
2.	Eingehende Darstellung .....	30
	Teilprojekt 1: Umfelderkennung und Situationsverstehen.....	30
	Teilprojekt 2: Digitale Karte und Lokalisation .....	40
	Teilprojekt 3: Konzepte und Pilotanwendungen.....	59
2.1.	Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele .....	134
2.2.	Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.....	135
2.3.	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	136
2.4.	Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans.....	137
2.5.	Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen.....	138
2.6.	Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses .....	140
	Anlage 01: Literaturverzeichnis.....	146

Hinweis: Sämtliche Fotos und Grafiken sind – sofern nicht anders angegeben – i.R. des Projekts durch die Projektbeteiligten oder Valeo entstanden.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Automatisierungsgrade.....	7
Abbildung 2: Übersicht über benötigte Technologien für automatisiertes und vernetztes Fahren.....	8
Abbildung 3: Einbettung von @CITY in die Forschungslandkarte .....	26
Abbildung 4: Struktur des Teilprojekt 1 zum Zeitpunkt der Antragstellung (Firmennamen haben sich bei Delphi (jetzt: Aptiv) und Daimler (jetzt: Mercedes Benz) zwischenzeitlich geändert.).....	30
Abbildung 5: Definierte und verbaute Sensorik im Valeo Versuchsträger Range Rover Evoque .....	31
Abbildung 6: Im Versuchsträger verwendete Ethernet-Schnittstellen .....	32
Abbildung 7: Funktionale Architektur für das Fahren im urbanen Raum .....	33
Abbildung 8: Auszug aus dem Flussdiagramm zur Beschreibung von Engstellen auf urbanen Straßen. ....	33
Abbildung 9: Segmentation based SLAM .....	35
Abbildung 10: Segmentiertes Bild eines Kamerasensors .....	36
Abbildung 11: Erkannter und in orange markierter Freiraum .....	37
Abbildung 12: LKW als Objekt erkannt und im Trackingverfahren plausibilisiert. Links, die 3D-Darstellung basierend auf Lidar-Punktwolken, sowie segmentierter und klassifizierter Objekte; Rechts, das Kamerabild; In der LKW 3D-Bounding Box wird mit einem roten Pfeil zudem die Fahrtrichtung angegeben. Weitere Informationen können als Text neben dem Objekt eingeblendet werden.....	38
Abbildung 13: Ego Fahrzeug an einer gewinkelten T-Kreuzung; herannahendes Fahrzeug (Box cyan) mit gemessenen Aufenthaltsorten (große Punkte cyan) sowie den als am wahrscheinlichsten prognostizierten Aufenthaltsorten für die nahe Zukunft (kleine Punkte cyan). Entsprechende Darstellung für ein Fahrzeug das den Kreuzungsbereich bereits verlassen hat (dunkelgelb). In rot sind die berücksichtigten Fahrspuren dargestellt, in schwarz die des Ego Fahrzeuges. ....	39
Abbildung 14: Struktur des Teilprojekt 2 zum Zeitpunkt der Antragstellung (Firmennamen haben sich bei Delphi (jetzt: Aptiv) und Daimler (jetzt: Mercedes Benz) zwischenzeitlich geändert.).....	40
Abbildung 15: Ausschnitt der kartierten Bereich der HD-Karte Kronach.....	41
Abbildung 16: In IPG Car Maker importierte HD-Karte von Kronach.....	44
Abbildung 17: Akkumulierte 3D Punktwolkenkarte durch Anwendung der Posen der Referenzelektronik auf Aufnahmen des SCALA® 2 Cocoons in Kronach mit überlagerten HD Kartenelementen (gelb, grau) .....	45
Abbildung 18: Netzwerkarchitektur zur Posenbestimmung zwischen der aktuellen LiDAR-Messung eines Fahrzeugs und einer vorher erstellen, lokalen Merkmalskarte .....	47
Abbildung 19: Durchschnittliche Laufzeit der betrachteten Methoden zur Egoposen Schätzung eines Scans innerhalb der lokalen Karte.....	49
Abbildung 20: Prozesspipeline zur Lokalisation anhand extrahierter Objekte in der HD Karte durch semantische Punktwolkensegmentierung und anschließendem Objektclustering.....	51
Abbildung 21: Verlauf der Plausibilisierungsmetriken über die Testsequenz in der Innenstadt von Kronach unter dem Einfluss unterschiedlicher simulierter Störfaktoren (links) und für reale Messdaten (rechts) .....	54
Abbildung 22: Verlauf des resultierenden durchschnittlichen Translationsfehlers bei Anwendung der betrachteten Plausibilisierungsmethoden für Schwellwerte zwischen 0 und 1 auf der Testsequenz der Kronacher Innenstadt.....	55
Abbildung 23: Zwischenstand (2021) des Visualisierungstools zur fusionierten Darstellung von HD-Karte, Posen und Sensormessungen .....	57

Abbildung 24: Erweiterungen des Visualisierungstools durch (v.o.n.u.): 1) Farblich kodierte Darstellung der semantischen Objektklassen, 2) Filterung der Punktwolken nach Objektklassen, 3) Darstellung von geclusterten Objekten, 4) 3D Modellierung einzelner HD Kartenelemente.....	58
Abbildung 25: Struktur des Teilprojekt 3 zum Zeitpunkt der Antragstellung (Firmennamen hat sich bei Daimler (jetzt: Mercedes Benz) zwischenzeitlich geändert.) .....	59
Abbildung 26: Vierarmige, mehrspurige Kreuzung mit zahlreichen statischen Spezifikationsmerkmalen .....	62
Abbildung 27: Gleiche Kreuzung wie in Abbildung 1, erweitert um dynamische Merkmale.....	62
Abbildung 28: Unterteilung der dynamischen Merkmale .....	65
Abbildung 29: Beispielhaftes Phasenmodell eines Linksabbiegevorgangs .....	66
Abbildung 30: Exemplarische Darstellung der Attribute zur Grobklassifikation.....	68
Abbildung 31: Exemplarische Darstellung der Attribute zur statischen Situationsbeschreibung .....	69
Abbildung 32: Exemplarische Darstellung der Attribute zur dynamischen Situationsbeschreibung und Integration des Phasenmodells .....	70
Abbildung 33: Exemplarische Darstellung der Attribute zur Fahrerbeschreibung .....	71
Abbildung 34: Exemplarische Darstellung der Attribute zur Systemausprägung .....	72
Abbildung 35: 5 grundlegende Typen von Kreisverkehren mit (a) Kleiner Kreisverkehr, (b) Minikreisverkehr, (c) Zweistreifig befahrbarer Kreisverkehr, (d) Großer Kreisverkehr, und, (e) Fünfarmiger Kreisverkehr, aus FGSV (2006a).....	83
Abbildung 36: (a) Definition von Kreisverkehren als Folge von Einmündungen, (b) Räumliche Ausweisung als „Kreisverkehrsplatz“ (bzw. als „JunctionGroup“) .....	83
Abbildung 37: Übersicht der wichtigen statischen Infrastrukturelemente für eine beispielhafte Anwendung des Phasenmodells an Kreisverkehren .....	85
Abbildung 38: Fahrmanöver an einem Kreisverkehr mit dem Phasenmodell mit Chronologie und Phasen .....	85
Abbildung 39: Auflistung der zur Anwendung kommenden Phasen für Hierarchisierung eines Fahrmanövers an einem <i>Kreisverkehr</i> .....	86
Abbildung 40: Darstellung einer speziellen Situation an einem Kreisverkehr mit drei PKW, dem EGO-Fahrzeug und einem Fußgänger .....	88
Abbildung 41: Klassifikation von schwächeren Verkehrsteilnehmern.....	105
Abbildung 42: Kreuzungsbereich mit einer Valeo-SV-Kamera mit Fischaugenobjektiv erfasst.....	107
Abbildung 43: Entsprechende Erfassung der in Abbildung 16 gezeigten Umgebung mittels Lidar....	108
Abbildung 44: Deep Manta Netzstruktur zur Detektion sich überlappender Objekte .....	109
Abbildung 45: Beispiel eines 2D/3D Fahrzeugmodells. (a) 2D Bounding Box, (b) 2D Teilekoordinaten und Teilsichtbarkeit (rot: sichtbar, grün: verdeckt, blau: durch eigenes Objekt verdeckt), (c) 3D Bounding Box, (d) Detaillierte 3D Form .....	109
Abbildung 46: Ablaufdiagramm Linksabbiegen an Kreuzung.....	111
Abbildung 47: Auf Kreuzungsbeispiel angewandtes Phasenmodell .....	111
Abbildung 48: Vorgang Einordnen im Ablaufdiagramm .....	112
Abbildung 49: Vorfahrtsregelung gem. Ablaufdiagramm .....	113
Abbildung 50: Vorgang Ausfahrt aus Kreuzung gem. Ablaufdiagramm.....	113
Abbildung 51: Versuchsträger PKW 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 .....	122
Abbildung 52: Im Versuchsträger Range Rover Evoque verbaute Sensorik und Darstellung der Erfassungsbereiche.....	122



Abbildung 53: Testmethodik, Übersichtsgrafik .....	123
Abbildung 54: Surround-View-Ansicht während der Vorbeifahrt an einer Engstelle durch einen liegen gebliebenem PKW .....	124
Abbildung 55: Lidar SCALA® Verbaupositionen.....	125
Abbildung 56: Verwendung und Abgleich mit der HD-Karte .....	125
Abbildung 57: Lidar-Rohdaten, Objektclustering- und tracking.....	126
Abbildung 58: Erprobung des Engstellen Szenarios in der Simulationsumgebung IPG Car Maker ....	126
Abbildung 59: Simulation des Vorgangs Links-Abbiegen an einer Kreuzung mit Gegenverkehr ohne separater Abbiegespur unter Verwendung der von 3D-Mapping generierten HD-Karte von Kronach .....	127
Abbildung 60: Erprobung der Lokalisierung mittels Lidar und GPS (dGPS/RTK).....	127
Abbildung 61: Messung der Abweichung zwischen Lidar basierter und GNSS basierter Lokalisierung .....	128
Abbildung 62: Erprobung des Lateralcontrollers und Messung des lateralen offset.....	128
Abbildung 63: Erprobung der Segmentierung und Klassifizierung .....	129
Abbildung 64: Erprobung der Lidar-Umfelderfassung und Visualisierung im urbanen Umfeld von Kronach.....	129
Abbildung 65: Erprobung der Objekterkennung via Radar mit der Valeo eigenen Sensor Development Suite (SDS) .....	130
Abbildung 66: Systemerprobung des Versuchsträgers im urbanen Umfeld von Kronach.....	130
Abbildung 67: Erprobung des Manöverplaners an der Kreuzung Siechenangerstraße / Rodacher Straße in Kronach im realen urbanen Umfeld und nach vorheriger Simulation in IPG Car Maker .....	131
Abbildung 68: Erprobung und Visualisierung der LSA-Erkennung; links Aufnahme aus dem Versuchsträger heraus; rechts Bird-View-Darstellung des Umfeldes .....	131
Abbildung 69: Erprobung der LSA-Erkennung auf dem Valeo eigenen Testgelände mit eigens individuell programmierbaren mobilen Lichtsignalanlagen .....	132
Abbildung 70: Erprobung des „SAWA“- HMI zur Darstellung von „Kerninformationen“ .....	132
Abbildung 71: Erprobung der NOT-Aus und Emergency-Buttons und Fahrverhaltens .....	133
Abbildung 72: Beitrag auf der Conference on computer vision and pattern recognition (CVPR).....	139
Abbildung 73: Erfindung zur Erkennung von verdeckten Objekten.....	144
Abbildung 74: Beispiel für eine HD-Karte.....	144
Abbildung 75: Beispiel für eine 3D generierte Karte mit Visual SLAM.....	145

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Arbeitsschwerpunkte der Teilprojekte TP 1-3 und zugehöriger Arbeitspakete des Projektpartners VALEO.....	12
Tabelle 2: Detaillierte Planung der Arbeiten auf Unterarbeitspaketebene im TP 1-3 des Projektpartners VALEO .....	15
Tabelle 3: Übersicht Versuchsträger .....	24
Tabelle 4: Planung der Ergebnispräsentation der Meilensteine 2+3 .....	25
Tabelle 5: Übersicht benötigter Schnittstellen.....	31
Tabelle 6: Anforderungen an die digitale Karte – Auszug der Objektliste .....	42
Tabelle 7: Transformationsfehler für Translation (t in m) und Rotation (r in rad) der berücksichtigten Methoden auf dem NuScenes Testdatensatz .....	48
Tabelle 8: Quantitative Analyse des Einflusses der Merkmalsvorselektion auf die Performanz der entwickelten Methode zur Lokalisation im Rahmen vierer Vergleichsvarianten .....	49
Tabelle 9: Verbesserung des durchschnittlichen Translationsfehlers auf der Testsequenz durch Filtern ungültiger Frames für bestimmte Schwellwerte der untersuchten Plausibilisierungsmetriken .....	56
Tabelle 10: Auflistung der statischen Merkmale der Spezifikationsmethodik.....	62
Tabelle 11: Weitere Merkmale und Attribute zum übergeordneten Merkmal „Entwurfselemente“ ..	63
Tabelle 12: Auflistung der dynamischen Merkmale samt Kreuzungsbeispiele.....	63
Tabelle 13: Spezifikation der Phasen des Modell.....	66
Tabelle 14: Nominalverhalten beim Linksabbiegen an einer mehrspurigen Kreuzung .....	74
Tabelle 15: Phasen des Linksabbiegens an einer mehrspurigen Kreuzung mit LSA.....	76
Tabelle 16: Beispiele für Kreuzungssituationen in @CITY bzw. @CITY-AF .....	78
Tabelle 17: Detaillierte Beschreibung des Merkmals Objekte- und Landmarken.....	84
Tabelle 18: Auflistung möglicher Nominalverhalten an einem zweistreifig befahrbaren Kreisverkehr	87
Tabelle 19: Situationskatalog für Kreisverkehre .....	90
Tabelle 20: Phasenmodell für das Passieren eines Hindernisses .....	93
Tabelle 21: Hierarchisierung der Attribute für Urbane Straßen .....	94
Tabelle 22: Nominalverhalten an einer zweispurigen Verbindungsstraße mit Fußgängerüberweg (Zebrastrifen).....	94
Tabelle 23: Situationskatalog für Urbane Straßen .....	96
Tabelle 24: Hardware- und funktionale Ausstattung des Versuchsträgers.....	115
Tabelle 25: HMI-Content .....	116
Tabelle 26: Art und Zweck des Valeo Versuchsträgers .....	120
Tabelle 27: Übersicht über die Hardware-Ausstattung des Versuchsträgers von Valeo .....	121
Tabelle 28: Verwendung-Valeo .....	134
Tabelle 29: zahlenmäßiger Nachweis – Valeo.....	135
Tabelle 30: Verwertung – Valeo .....	137
Tabelle 31: Veröffentlichungen – Gemeinsame Veröffentlichungen.....	140
Tabelle 32: Veröffentlichungen – Valeo .....	143

# 1. Kurzdarstellung

## 1.1. Aufgabenstellung

Ziel des Verbundprojektes ist das automatisierte Fahren in der Stadt bzw. im urbanen Umfeld bis Automatisierungslevel 3, um beispielsweise zur Reduktion des Kraftstoffverbrauchs beizutragen, Staus zu vermeiden, die Demokratisierung der Mobilität voranzutreiben und v.a. die Erhöhung der Verkehrssicherheit und die Reduktion von Unfallzahlen zu erreichen.

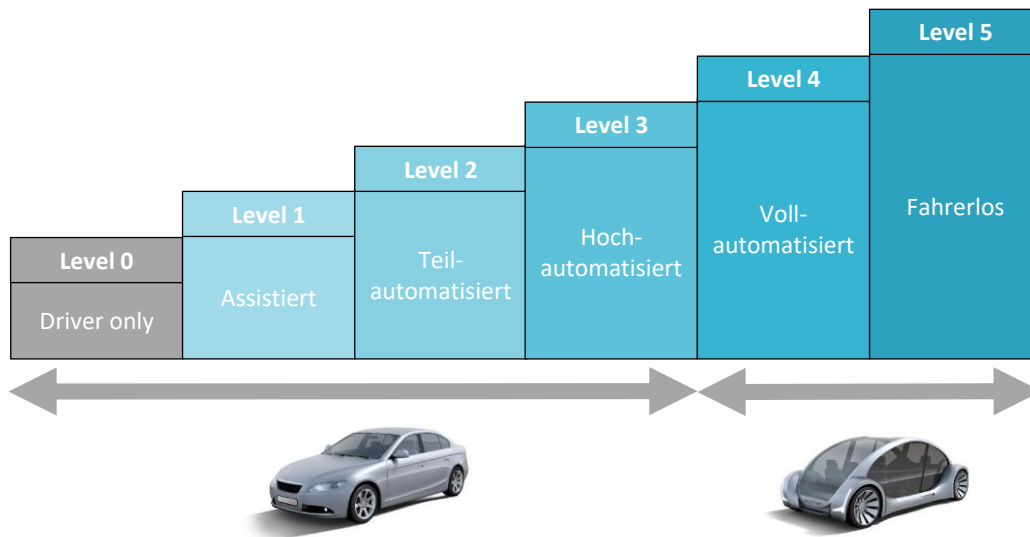


Abbildung 1: Automatisierungsgrade

Zur Erreichung der Ziele galt es eine Vielzahl an Herausforderungen zu meistern. Ausgehend von der Vielzahl innovativer Assistenz- und Automatisierungssysteme rückt der Weg zum automatisierten Fahren in greifbare Nähe<sup>1,2</sup>. In den Roadmaps der OEMs werden zukünftige Fahrzeugfunktionen definiert, welche die Fahraufgabe auch in komplexen Situationen automatisiert übernehmen sollen. Um nicht nur auf Autobahnen die Vorteile des automatisierten Fahrens nutzen zu können, sondern automatisiert bis in die Stadt zu fahren, ist eine Reihe von Herausforderungen entlang der gesamten Palette benötigter Technologien (s. Abbildung 2) zu bewältigen.

<sup>1</sup> „Das Auto-Auto, Freiheit ohne Lenkrad: Das selbststeuernde Fahrzeug verändert unser Leben“, Der Spiegel, Nr. 9, 27.02.2016, S. 12-20

<sup>2</sup> <http://www.sueddeutsche.de/auto/autonomes-fahren-mehr-hirn-fuer-den-autonomen-chauffeur-1.2909300-2>



Abbildung 2: Übersicht über benötigte Technologien für automatisiertes und vernetztes Fahren

Die Fahrzeugumgebung muss extrem robust in allen Use Cases und Szenarien erfasst werden. Für präzise Lokalisierung werden stets aktuelle hochgenaue Karten benötigt. Die Informationen der Umgebungssensorik und der digitalen Karte müssen fusioniert werden. Im Vergleich zum Stand der Technik (Erfassung von Freiräumen sowie von statischen und dynamischen Objekten) ist eine deutlich leistungsfähigere Systemintelligenz erforderlich, die es gestattet, die gesamte Situation zu verstehen, Prognosen über deren weitere Entwicklung zu treffen, und auf dieser Basis geeignete Strategien und Manöver zu entwickeln, sich für das optimale Manöver zu entscheiden und dieses dann autonom umzusetzen.

Dies erfordert im Vergleich zum heutigen Stand Erweiterungen der Systemarchitektur. So müssen Redundanzen bei der Umfelderkennung, aber auch von Steuergeräten und Aktoren vorgesehen werden. Automatisierte Systeme müssen zumindest in elementaren Funktionen (etwa dem Minimum Risk Maneuver) fail-operational Funktionalität besitzen. Zuverlässigkeit und Sicherheit, auch der Kommunikation mit anderen Fahrzeugen bzw. der Umwelt, muss garantiert werden.

Auf die im städtischen Umfeld besonders hohen Herausforderungen wird zur besseren Veranschaulichung in den folgenden Abschnitten näher eingegangen.

Herausforderung: Umfelderkennung und Situationsverstehen

Automatisiertes Fahren erfordert sicheres Situationsverstehen. Voraussetzungen hierfür sind z.B. das Verständnis von Topologie, Verkehrsführung, Intentionen, Verkehrsregeln, Verhaltensmustern sowie Wechselwirkungen zwischen Verkehrsteilnehmern.

Die Entwicklungen für teil- und hochautomatisierte Fahrfunktionen hatten bisher i.d.R. ihren Fokus auf Autobahnen und autobahnähnlichen Straßen mit baulich getrennten Richtungsfahrbahnen (Stand 2017). In diesen Szenarien ist die Komplexität und Anzahl der typischen Fahrmanöver noch gering. Die Wechselwirkung zwischen den Verkehrsteilnehmern kann in Form von regelbasierten Verhaltensstrategien häufig explizit abgebildet werden. Zur sensorischen Erfassung der Fahrbahninfrastruktur und anderer Verkehrsteilnehmer, z.B. durch Kamera-, Radar- und Lidarsysteme, ist für Autobahnszenarien inzwischen ein technisch fortgeschrittener Stand erreicht. Im Gegensatz dazu hat die sensorische Umfelderkennung für automatisiertes Fahren im urbanen Umfeld noch große Herausforderungen zu meistern.

Die Variabilität von häufig historisch gewachsenen Verkehrsführungen ist im städtischen Bereich sehr groß und der Zustand der Verkehrsinfrastruktur ist nicht immer gut. Zudem ist die Diversität der

Verkehrsteilnehmer im Vergleich zur Autobahn sehr groß und die verfolgten Ziele und Intentionen der Verkehrsteilnehmer sind mannigfaltig. Aus diesen Gründen weist auch deren Verhalten ein großes Spektrum auf.

Um ein vorausschauendes und kooperatives Fahrverhalten des automatisierten Fahrzeugs im Zusammenspiel mit anderen Verkehrsteilnehmern - etwa nicht automatisierten Fahrzeugen, Fußgängern, Radfahrern - generieren zu können, muss das automatisierte Fahrzeug in der Lage sein, das Verhalten der anderen Verkehrsteilnehmer für die nächsten Sekunden vorherzusagen und die Wechselwirkungen des eigenen Handelns auf die anderen Verkehrsteilnehmer und umgekehrt zu bewerten. Diese Prognose erfordert es, den Situationskontext mit entsprechenden Randbedingungen im Vergleich zum Stand der Technik detaillierter zu erfassen.

So muss das automatisierte Fahrzeug die Verkehrsführung erkennen, was insbesondere in Kreuzungsszenarien aktuell sensorisch nicht überall lösbar ist, weshalb die Ergänzung mit präziser digitaler Karteninformation notwendig wird. Das System muss auf Basis der Verkehrsregeln und insbesondere der gültigen Vorfahrtsregelungen mit anderen Verkehrsteilnehmern interagieren. In der Stadt reicht dabei beim Rangieren auf engem Raum häufig der Detaillierungsgrad der aktuellen Objektmodelle bzw. die Modellierung des statischen Umfelds noch nicht aus. Insbesondere inhomogene Fahrbahnoberflächen und Begrenzungsverläufe erschweren die Bestimmung des befahrbaren Fahrkorridors rein aus Sensordaten. Auch hier soll die Umfelderkennung mittels plausibilisierter digitaler Karteninformation ergänzt werden.

Selbst bei Regelverstößen, wie z.B. Parken in zweiter Reihe, muss das Fahrzeug ein risikominimierendes Verhalten an den Tag legen. Es muss mit Verdeckungen und temporär fehlendem Wissen bezüglich eigentlich relevanter Information umgehen können und dennoch ein sicheres kooperatives Fahren ermöglichen. Die Abbildung der situativ relevanten Information und dazu das Verständnis des Systems dafür, dass relevante Information, z.B. in einer Kreuzungssituation aufgrund von Verdeckung, fehlt, ist dabei sowohl eine Herausforderung an die Repräsentation im System als auch an die nachgelagerte funktionale Verhaltensstrategie.

### Herausforderung: Präzise digitale Karte und Lokalisation

Selbstfahrende Autos werden ihre Position in der Verkehrsumgebung bestimmen müssen. Autonome Fahrzeuge können mittels digitaler Umgebungskarten a priori Informationen der realen Umgebung in die Umfelderkennung einbinden. Diese ist in Kooperation mit Fahrzeugsensoren der Schlüssel zu zuverlässigen selbstfahrenden Autos. Die Plausibilität der digitalen Umgebungskarten muss jederzeit anhand der Daten der fahrzeugeigenen Sensoren bewertet werden. Für hoch- und vollautomatisiertes Fahren ist die Notwendigkeit der Integration von „high-definition“ Karten substantiell in Bezug auf die Herausforderungen der Fahrszenarien im urbanen Bereich mit multiplen Verkehrselementen.

Die reale Welt ist ständiger Veränderung unterworfen. Autonom fahrende Autos werden deshalb Anforderungen an digitale Karten stellen, die von heutigen Karten noch nicht erfüllt werden. Solche Karten werden sich in Bezug auf viele wichtige Eigenschaften von heutigen Karten unterscheiden, welche hauptsächlich für die korrekte Navigation gedacht sind. Automatisiertes Fahren erfordert Karten, welche z. B. die Lage eines Bordsteins mit der Genauigkeit von wenigen Zentimetern angeben können. Solche „high-definition“ Karten können als ein weiterer Sensor (zusätzlich zu den im Fahrzeug integrierten Sensoren zur Umfelderkennung) betrachtet werden, welcher die Daten mit einer praktisch uneingeschränkten Reichweite liefern kann. Abschließend kann die Karte als ein „natürliches“ Format zur Speicherung aller eingehenden Daten betrachtet werden, welche von den Umfelderkennungssensoren des Fahrzeugs oder aus der Cloud (Back-End Ansatz) geliefert werden. Durch dieses Format stehen alle Umgebungsdaten den Algorithmen des selbstfahrenden Fahrzeugs zur Verfügung – es könnte somit das Interface zwischen realer Welt und autonom fahrendem Auto sein. Eine wesentliche Herausforderung liegt darin, die Gültigkeit und Qualität der Daten vor der Nutzung mit ausreichender Genauigkeit zu quantifizieren.

### Herausforderung: Einbindung des Fahrers in die Automation

Die veränderte Rolle des Fahrers bei Automatisierungs-Level 3 führt zu einer neuen Aufgabenverteilung zwischen Fahrer und Fahrzeug und einem veränderten Nutzungserlebnis. Dadurch werden neue ganzheitliche Konzepte der Interaktion erforderlich, die das Wechselspiel zwischen Fahr- und Nebenaufgaben geeignet berücksichtigen. Entsprechende Forschungsfragen sind in Runder Tisch Automatisiertes Fahren 2015<sup>3</sup> im Detail formuliert. Drei Aspekte müssen in dem Konzept zur Mensch-Fahrzeug Interaktion aufeinander abgestimmt werden:

*Der Nutzer interagiert gezielt mit der Automatisierung:* Das Human Machine Interface (HMI) muss den Systemzustand für den Fahrer transparent abbilden („mode awareness“ garantieren), Wechsel der Automatisierungsstufe erlauben und sich an Verkehrskontext und Fahrerzustand anpassen.

*Der Fahrer darf mit fahrfremden Tätigkeiten interagieren:* Um Akzeptanz für die Automatisierung zu erzielen, wird neben der sicheren Fahrzeugführung ein zusätzlicher Nutzen für den Fahrer dadurch erzeugt, dass fahrfremde Tätigkeiten ausgeführt werden dürfen. Anwenderrelevante Aufgaben wie Telefonieren, Internetzugang und Medienkonsum sind eine Erwartung an Level 3 und 4 Systeme und werden unter Berücksichtigung der städtischen Anforderungen in das Gesamtkonzept integriert. Hierbei ist zu vermeiden, dass die Durchführung von fahrfremden Tätigkeiten ohne Beachtung der Kinästhetik der Fahrbewegung zu Übelkeit beim Fahrer führt („Motion Sickness“).

*Fahrer und Fahrzeug interagieren/kooperieren mit anderen Verkehrsteilnehmern:* Gerade in den Situationen des urbanen Verkehrs ist häufige Interaktion mit Fußgängern, Radfahrern und anderen motorisierten Fahrzeugen nötig. Diese Interaktion wird heute durch den Fahrer nach allgemein

---

<sup>3</sup>[http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/Digitales/bericht-zum-forschungsbedarf-runder-tisch-automatisiertes-fahren.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/Digitales/bericht-zum-forschungsbedarf-runder-tisch-automatisiertes-fahren.pdf?__blob=publicationFile)



akzeptierten, allerdings teilweise nicht festgeschriebenen Regeln durchgeführt. Beispiele sind etwa Handzeichen, die der Fahrer anderen Verkehrsteilnehmern gibt, um z.B. den Verzicht auf das eigene Vorfahrtsrecht anzuzeigen. Bei automatisierten Fahrzeugen müssen diese Kommunikationskonzepte zumindest teilweise vom Fahrzeug übernommen werden, und dürfen nicht mit eventuell noch zusätzlich durch den Fahrer gegebenen Signalen (z.B. Handzeichen) in Konflikt geraten.

Die Komplexität des urbanen Verkehrs erfordert für die Automatisierung differenziertere Fahrstrategien mit neuartigen Ansätzen in der Verhaltensplanung des automatisierten Fahrzeugs (unter Einbeziehung des prognostizierten Verhaltens der anderen Verkehrsteilnehmer) und Entscheidungsfindung. Fahrer bewältigen diese komplexen Aufgaben heute bei manueller Fahrt in der Regel durchaus in hoher Qualität. Insofern kann ihr Fahrverhalten als Vorbild für die Automatisierung dienen, wenn eine Nachbildung gelingt und die vorhandenen menschlichen Fehler vermieden werden. Darüber hinaus sind durch die veränderten Anforderungen an den Fahrer auch andere Facetten des Fahrerzustandes relevant als beim manuellen oder assistierten Fahren. Ließ sich bei Fahrerassistenz der Fahrerzustand am beobachtbaren Verhalten festmachen, so muss nunmehr die Qualität der Überwachungsaufgabe eingeschätzt werden, und die Fähigkeit die Fahraufgabe bei Übernahmeaufforderung wieder zu übernehmen.

Drei weitere Herausforderungen wurden im Rahmen von @CITY als Pilotanwendungen bearbeitet und vertieft in dem Verbundvorhaben @CITY-AF behandelt. Es sind dies:

- Automatisiertes Fahren über Knotenpunkte
- Automatisiertes Fahren auf urbanen Straßen
- Interaktion mit schwächeren Verkehrsteilnehmern

### **Zusammenfassung Aufgabenstellung**

Ziel von @CITY ist es, gemeinsam Lösungsansätze für die vorgenannten Herausforderungen zu erforschen, erstmalig automatisierte Funktionen für das urbane Umfeld prototypisch in Versuchsträgern umzusetzen und unter realitätsnahen Bedingungen zu erproben. Dafür wird folgende Strategie verfolgt: Ausgehend von ersten Pilotanwendungen (z.B. automatisiertes Durchfahren urbaner Engstellen), können sukzessive weitere Anwendungsszenarien erschlossen werden. Am Ende wird auf diese Weise ein gemeinsames Verständnis zum automatisierten Fahren in der Stadt einschließlich der dafür erforderlichen Architekturen, Schnittstellen, Technologien und Rahmenbedingungen gewonnen und zwischen allen Beteiligten – Automobilherstellern und Zulieferern – abgestimmt sein. Dieses gemeinsame Verständnis repräsentiert die ideale Basis für eine rasche Umsetzung der Projektergebnisse im Rahmen der sich an das Forschungsprojekt anschließenden Produktentwicklung.

## **1.2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde**

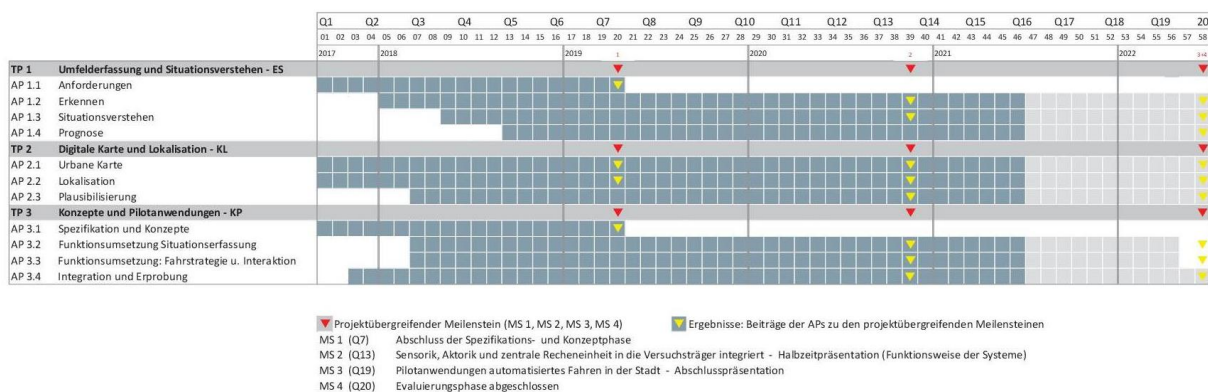
Die Valeo Schalter und Sensoren GmbH (kurz: VALEO) hat zum Zeitpunkt der Projektplanung bereits Erfahrungen im Bereich des automatisierten Fahrens im ländlichen Umfeld (Landstraßen, Bundesstraßen, Schnellstraßen, Autobahn) gesammelt und dabei auf Sensorik und Algorithmen aus eigenem Haus gesetzt. So hat VALEO eigene Lidar-, Kamera- Radar- und Ultraschallsensoren im Produktportfolio, die im Rahmen von @CITY in einem eigens für das autonome Fahren in der Stadt geplanten Versuchsträger zum Einsatz kommen sollten. Weiterhin hat VALEO für das Vorhaben Ingenieure unterschiedlicher Disziplinen und Techniker bereitgestellt. Die Bearbeitung erfolgte hauptsächlich am Forschungsstandort Kronach (Comfort and Driving Assistance Systems (CDA), Driving Assistance Research (DAR Germany) ). Hier hat VALEO auch eine eigene Testumgebung in der urbane Szenarien nachgestellt werden können. Weiterhin kamen Simulations-Tools wie IPG Car Maker zum



Einsatz. Die Präsentation der Arbeitsergebnisse erfolgte in Aldenhoven auf dem Testgelände des ATC-Aldenhoven, wo eine urbane Testumgebung aufgebaut wurde. VALEO diente insbesondere die Stadt Kronach als Testgelände für Realerprobungen. Für alle Teststandorte wurden HD-Karten durch den Projektpartner 3D-Mapping zur Verfügung gestellt.

### 1.3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Vorhaben startete am 01.09.2017 und endete am 30.06.2022. Valeo hat im Projekt ca. 29.000 Arbeitsstunden in den Personalkategorien Ingenieur und Techniker eingeplant. Das Projekt war unterteilt in drei Teilprojekte und vier Meilensteinen.



VALEO selbst war in allen 3 Teilprojekten und allen Arbeitspaketen beteiligt; jedoch nicht in allen Unterarbeitspaketen. Die Arbeitsschwerpunkte und detaillierten Arbeiten gem. Planung werden in den folgenden Tabellen beschrieben.

**Tabelle 1: Arbeitsschwerpunkte der Teilprojekte TP 1-3 und zugehöriger Arbeitspakete des Projektpartners VALEO**

<p>TP1</p>	<p>VALEO beteiligt sich umfassend an fast allen Aspekten des TP 1. Diese reichen von der Erstellung von Anforderungen und Use Cases bis hin zum Fahren in der Stadt. VALEO wird einen Fokus auf die Erstellung von Anforderungen an Genauigkeit der ausgewählten Sensoren legen. Insbesondere sollen Anforderungen an Genauigkeit der Informationen, deren Vollständigkeit sowie eine Bewertungsmetrik für Signalverarbeitung und Sensoren abgeleitet werden sowie Anforderungen an Schnittstellen der beteiligten Sensoren und Softwarekomponenten. VALEO bringt sich ebenfalls bei der Erkennung von Objekten, die in innerstädtischen Szenarien auftreten ein. Dabei wird ein Fokus auf neuartige Erkennungsverfahren für Laser Scanner, basierend auf Deep Learning gelegt. Des Weiteren wird zum Zweck der Erkennung von Freiräumen eine Fahrbahnmarkierungserkennung umgesetzt. Diese Erkennungsfunktionen dienen als Input für eine durch VALEO bereitgestellte Sensorfusion.</p> <p>VALEO wird für diese Sensorfusion Verfahren zum Situationsverstehen heranziehen und sich insbesondere mit probabilistischen Ansätzen beschäftigen. Es werden dann Verfahren untersucht, um basierend darauf eine optimale Bahnplanung bei Berücksichtigung des voraussichtlichen Verhaltens der anderen</p>
------------	---

	dynamischen Verkehrsteilnehmer in der Zukunft zu erhalten. VALEO übernimmt die Leitung des AP1.4.
AP1.1	Erstellung von Anforderungen und Use Cases für andere TPs. Erstellung von Anforderungen an Genauigkeit der ausgewählten Sensoren. Insbesondere sollen Anforderungen an Genauigkeit der Informationen, deren Vollständigkeit sowie einer Bewertungsmetrik für Signalverarbeitung und Sensoren abgeleitet werden. Anforderungen an Schnittstellen aller beteiligten Sensoren. Definition von Protokollen und Software Architekturen für Fusionseinheiten.
AP1.2	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Erkennung komplexer innerstädtischer Szenarien.</li> <li>▪ Schwerpunktmäßig untersucht werden Fahrbahnbegrenzungen und Erkennung der Umgebung basierend auf Laserscanner-Daten Sensorbasierte Lokalisierung und Sensorfusion</li> </ul>
AP1.3	Erarbeitet werden Konzepte zum Situationsverstehen basierend auf den in AP 1.2. erkannten Objekten und fusionierten Daten. Untersucht dabei wird auch die Repräsentation des Verhaltens in Umfeldmodell und Karte.
AP1.4	Es erfolgt die Prognose der Ziele über den aktuellen Zeitschritt hinaus unter Berücksichtigung von Interaktionen und der Intentionserkennung zwischen den verschiedenen Verkehrsteilnehmern. Zudem soll untersucht werden, welche Faktoren die Prognose beeinflussen und welche Auswirkung dies rückwirkend auf die Anforderungen an Umfelderkennung, Situationsverstehen und digitale Karte hat.
TP2	VALEO wird bei der Definition von Anforderungen an eine digitale Karte mitwirken. Der Fokus liegt auf der für die Lokalisation notwendigen Landmarken. Man wird sich intensiv mit Anforderungen auseinandersetzen, die sich aus Erkennungsverfahren und Funktionen ergeben. Ein Fokus von VALEO wird auf dem Thema Lokalisierung liegen. Daher hat VALEO die AP Leitung übernommen. Es sind in diesem Rahmen intensive Untersuchungen zu SLAM Verfahren geplant. Diese bedürfen einer Fusion und Korrektur mit den HD Maps. Schließlich werden die in der HD Map abgelegten Daten praktisch auf deren Einsetzbarkeit untersucht. Valeo wird sich in diesem Arbeitspaket auch mit den für ein Kartenupdate erforderlichen Schnittstellen beschäftigen.
AP2.1	Valeo wird bei der Definition von Anforderungen an eine digitale Karte mitwirken. Der Fokus liegt hierbei auf der Definition von a-priori Wissen zur Unterstützung der Umfelderkennung für das autonome Fahren in der Stadt sowie der für die Lokalisation notwendigen Landmarken. Man wird sich intensiv mit Anforderungen auseinandersetzen, die sich aus Erkennungsverfahren und Funktionen ergeben. Ein Fokus wird auf dem Thema Ego Lokalisierung liegen, weshalb intensive Untersuchungen zu neuartigen SLAM (Simultaneous Localisation And Mapping) Verfahren geplant sind, die wiederum einer Fusion und Korrektur durch die HD Map bedürfen. Schließlich werden die in der HD Map abgelegten Daten praktisch auf deren Einsetzbarkeit untersucht. Entsprechende Softwarekomponenten und eine erweiterte lokale Map implementiert und im Fahrzeug getestet.
AP2.2	In AP 2.2 beschäftigt sich Valeo mit dem Aufbau einer robusten Lokalisation mittels HD Maps und Kameras im städtischen Raum. Die Lokalisation wird über das untersuchte SLAM (Simultaneous Localization And Mapping) Verfahren durchgeführt. Es werden Aussagen zu benötigten Attributen in der HD Map geliefert. Insbesondere auch die Güte der Karte und Fusion aus Karte des Kamera SLAMs mit der HD Map untersucht. Ein Hauptziel ist die Entwicklung und Umsetzung einer robusten und genauen Lokalisation in einem nicht-statischen sowie störungsanfälligen Umfeld.

AP2.3	Valeo wird zur Definition von Gütemaßen des a-priori Wissens digitaler Karten beitragen. Das Ziel liegt hier auf dem Lösen von Konflikten zwischen Kartendaten und Sensordaten, die in einem wie in AP 2.2 beschriebenen Umfeld zu erwarten sind. Dies geschieht im Rahmen eines Fusionssystems welches a-priori Kartenwissen mit Sensordaten kombiniert. Darüber hinaus wird sich Valeo in UAP 2.3.4 mit den für ein Kartenupdate erforderlichen Schnittstellen beschäftigen.
TP3	VALEO ist die Spezifikation und praktische Umsetzung sehr wichtig und daher hat man die Rolle des TP3 Leiters übernommen. VALEO beteiligt sich gemeinsam mit den Partnern an der Definition und Spezifikation von Anforderungsfällen sowie Anforderungen an die Erkennungsfunktionen und digitale Karte. Eine Simulation der Use Cases ist hierfür unumgänglich. VALEO wird ein eigenes Prototypenfahrzeug aufbauen. Darin werden neben den Erkennungsfunktionen und VALEO Sensoren auch die HD Map und entwickelten 3D SLAM Verfahren integriert. Sie werden gemeinsam mit den Verfahren zum Situationsverständnis im Gesamtkontext eingesetzt, also praktischen Use Cases für die prototypische Umsetzung. VALEO fokussiert sich hier auf das Szenario in zweiter Reihe parkender Fahrzeuge. Weitere Aktivitäten sind Komponententests, Inbetriebnahmetests und Optimierung des Gesamtsystems.
AP3.1	Valeo beteiligt sich im Rahmen dieses AP an der Definition und Spezifikation der Anforderung und Anforderungsfälle aller Punkte (Knotenpunkte, Verbindungsstrecken, Interaktion mit der VRU). Sie stellen eine Basis dar für sämtliche Fahrsituationen innerhalb der Stadt und können nicht komplett getrennt betrachtet werden. Damit wird Input geliefert, der in TP 1 und TP 2 benötigt wird.
AP3.2	Valeo wird die in TP 1 entwickelten Erkennungsfunktionen in ein im Prototypenfahrzeug einsetzbares Framework integrieren. Desgleichen die HD Maps Informationen mit entwickelten 3D SLAM Verfahren und statischen und dynamischen Maps gemeinsam integrieren und basierend darauf die Verfahren zum Situationsverständnis aus AP1.4 im Gesamtkontext einsetzen. Es wird damit eine Basis für die Inbetriebnahme des Fahrzeugs in TP 3 geschaffen.
AP3.3	In diesem Arbeitspaket wird das Soll-Verhalten in den Szenarien definiert und umgesetzt. Valeo fokussiert sich hier auf das Szenario in zweiter Reihe parkender Fahrzeuge. Diese erfordern erhöhte Vorsicht. Will man ihnen ausweichen und an ihnen vorbeifahren, ist typischerweise ein Wechsel auf die Gegenfahrbahn unausweichlich. Auch muss man darauf achten, dass diese Fahrzeuge nicht während des Vorbeifahrens gleichzeitig wieder anfahren.
AP3.4	Valeo baut ein Erprobungsfahrzeug (PKW) auf. Neben der Integration der Sensorik und der Funktionen aus TP 1 und TP 2 erfolgen auch Modifikation, Einbau und Inbetriebnahme der übrigen notwendigen Systemkomponenten (z.B. elektr. Lenksystem, Displays, Rechneinheiten, etc.). Weitere Aktivitäten sind Komponententests, Inbetriebnahmetests und Optimierung des Gesamtsystems. Eine in allen Aspekten redundante Architektur wird nicht umgesetzt; für den Versuchsbetrieb bedeutet dies, dass auch in hochautomatisierten Anwendungen stets ein Fahrer das System überwachen muss.

Die detaillierte Beschreibung der Arbeiten und Aufwände ist den nachfolgenden Tabellen zu entnehmen.

Tabelle 2: Detaillierte Planung der Arbeiten auf Unterarbeitspaketebene im TP 1-3 des Projektpartners VALEO

UAP 1.1.1 Anforderungen an die Sensorik und das Umfeldmodell		
Partner	PMs	Detaillierte Beschreibung der Arbeiten der beteiligten Partner
Valeo	6	<p>In diesem Unterarbeitspaket erarbeitet VALEO die Anforderungen an die TPs 1,2 und 3 und es erfolgt die Abstimmung der Schnittstellen und Umfänge mit den anderen Projektpartnern. Anschließend werden Systemkonzepte (in Abstimmung mit den anderen Projektpartnern) definiert. Dies umfasst die Architektur und Aufbau der enthaltenen Sensoren, Recheneinheiten sowie den Schnittstellen dazwischen. Es umfasst auch die Erstellung von Anforderungen zur geeigneten Datenverarbeitung der ausgewählten Sensoren.</p> <p>Insbesondere sollen hier Anforderungen an Genauigkeit der Informationen, deren Vollständigkeit sowie eine Bewertungsmetrik für Signalverarbeitung und Sensoren abgeleitet werden.</p> <p>Des Weiteren erfolgt eine detaillierte Definition der Use Cases von Valeo, u.a. die konkrete Definition, welche Ereignisse beim Überqueren komplexer Kreuzungen oder auf Verbindungsstrecken auftreten können.</p>

UAP 1.1.2 Anforderungen an Situationsverstehen und Prognose		
Partner	PMs	Detaillierte Beschreibung der Arbeiten der beteiligten Partner
Valeo	2	<p>In diesem UAP werden die Anforderungen für den Punkt Situationsverstehen im AP 3 festgelegt und die Abstimmung gewährleistet. Es wird festgelegt, welche Merkmale und Attribute durch die beteiligten Verfahren zu ermitteln sind und wie diese bereitgestellt werden. Damit wird wichtiger Input für AP 1.3 und AP 1.4 geliefert.</p>

UAP 1.1.3 Anforderungen an die Schnittstellen		
Partner	PMs	Detaillierte Beschreibung der Arbeiten der beteiligten Partner
Valeo	4	<p>VALEO nimmt eine detaillierte Definition der Anforderungen an Schnittstellen zwischen Sensoren, Steuergeräten, Car PC's und Gateways vor. Dies umfasst neben der Festlegung der Bussysteme auch die Definition von Kommunikationsprotokollen. Auf logischer Ebene müssen Inhalte für 3D-Strukturen der Umgebung, Objektlisten und Features der einzelnen Sensoren definiert werden. Schließlich muss eine Software-Architektur für die einzelnen Fusionseinheiten festgelegt werden.</p>

UAP 1.2.1 Erkennungsverfahren		
Partner	PMs	Detaillierte Beschreibung der Arbeiten der beteiligten Partner
Valeo	10	<p>Laser Scanner sind neu im Automotive Serenumfeld. In der Projektlaufzeit werden Systeme mit wesentlich verbesserter Auflösung für die Untersuchungen zur Verfügung stehen und so auch die Entwicklung neuartiger Algorithmen ermöglichen.</p> <p>Im Rahmen dieses Projektes untersucht VALEO die deutlich erhöhten Möglichkeiten der Algorithmik, um so den sehr anspruchsvollen Use Cases im städtischen Umfeld gerecht zu werden. Man muss ein Verständnis erarbeiten,</p>

	<p>welche Funktionen schließlich mit diesen Algorithmen umgesetzt werden. Hierzu muss eine Vielzahl von Algorithmen entwickelt werden.</p> <p>Zuerst muss untersucht werden, wie die 3D Punktwolken künftiger Sensoren aussehen. Dies wird zunächst auf Basis von Sensorsimulation erfolgen. Im weiteren Verlauf wird dann entschieden, welche Features und Auswertungen auf Basis dieser Daten möglich sind.</p> <p>VALEO wird Lösungen für verschiedene Funktionen und Algorithmen auf Laserscanner Punktwolken mit neuronalen Netzen untersuchen. Es ist sowohl Ziel Objekte zu finden in Position und Abmessungen als auch semantische Informationen zu ermitteln. Dazu werden zunächst Daten analysiert und im folgenden Prototypennetzwerke und Trainingsmechanismen erstellt. Auf diesen wird dann ein Training durchgeführt. Die trainierten Netze werden schließlich mit weiteren Testdaten geprüft. Am Ende erfolgt eine Auswahl geeigneter Netztypen.</p> <p>Die Funktionen und Algorithmen umfassen unter anderem Simultaneous Localisation And Mapping (SLAM), Classification und Clustering von Objekten.</p>
--	---

UAP 1.2.2		Infrastrukturerkennung, Detektion und Verfolgung
Partner	PMS	Detaillierte Beschreibung der Arbeiten der beteiligten Partner
Valeo	8	<p>In diesem UAP legt VALEO den Fokus darauf, Fahrbahnbegrenzungen zuverlässig zu erkennen. VALEO wird sich zuerst mit der Erkennung von Fahrbahnbegrenzungen wie Leitplanken und Bordsteinen beschäftigen. Dies ist bisher nicht zuverlässig gelöst. Es sollte zumindest eine durchgängige Erkennung im Rahmen der Use Cases des TP 3 bei Projektende erzielt werden.</p> <p>Es wird hier eine Kombination verschiedener Kameraalgorithmen – ggf. mit Ultraschall und Laser-Scanner-Daten untersucht. Es erfolgt die Untersuchung mittels der aufgezeichneten Daten. Bei Laser-Scannern sind verschiedene Einbaupositionen zu testen, um eine Eignung für die im @CITY-Umfeld relevanten Szenarien feststellen zu können.</p> <p>Während heutige Generationen von Laserscannern vermutlich aufgrund der Einbauposition und des geringen vertikalen Öffnungswinkels ausscheiden, dürfte die hier verwendete neue Generation über Möglichkeiten verfügen.</p> <p>Auch an der Erkennung weiterer Fahrbahnbegrenzungen wie z.B. Leitplanken, Begrenzungspfosten oder Mauern wird gearbeitet. Hierzu werden ebenfalls entsprechende Verfahren auf Basis von Surround View Kameras, Laser Scannern und ggf. Ultraschallsensoren untersucht und implementiert.</p> <p>Eventuell liefern vorhandene Implementierungen von 3D Rekonstruktionsverfahren wie SfM für Kameras ausreichend gute Ergebnisse, typischerweise funktionieren diese bei fehlender Struktur z.B. auf Mauern aber eher schlecht. Vielversprechender scheint die Detektion mit seitlich angeordneten Laser Scannern. Um eine möglichst günstige und auch für Sensor Redundanz einsetzbare Lösung zu finden, wird schließlich noch die Eignung von Ultraschall untersucht. Es werden mögliche Verfahren gesichtet und analysiert. Vielversprechende Sensoren-Verfahren werden ausgewählt und weiter analysiert.</p> <p>Die Erkennung der Fahrbahnbegrenzungen wird im Rahmen der Zwischen- und Endpräsentation im Valeo Testfahrzeug dem Fördergeber präsentiert.</p>

UAP 1.2.3	Hindernisse, Belegt-, Frei- und Unbekanntträume
-----------	---

Partner	PMS	Detaillierte Beschreibung der Arbeiten der beteiligten Partner
Valeo	8	<p>Im Rahmen dieses UAPs wird intensiv an Fusionskonzepten geforscht, die die erforderlichen Genauigkeiten für den innerstädtischen Bereich bereithalten. Sie sollten ein eigenes Tracking von Objekten ermöglichen und ihre Eignung für Bahnplanungsverfahren muss sichergestellt werden. Des Weiteren müssen verschiedene Sensorkonzepte erstellt und deren Datenformate berücksichtigt werden. Weiter ist eine effiziente Umsetzbarkeit zu untersuchen im Hinblick auf verfügbare Hardware und möglichst geringen Speicherverbrauch. Ein zusätzlicher wichtiger Punkt, der untersucht wird, ist die Skalierbarkeit: Sensorsysteme skalieren vom Nur-Ultraschallsystem bis zum voll autonomen System mit bis zu 20 verschiedenen Sensoren.</p> <p>Heute sind im bei VALEO im Wesentlichen 2 verschiedene Klassen von Fusionsansätzen im Einsatz. Auf der einen Seite vektorbasierte Ansätze, auf deren Seite Grid-basierte Ansätze mit 2D oder 3D Konzepten. Beide werden für den Einsatz im @CITY-Umfeld untersucht. Da Einschränkungen zu erwarten sind, werden im folgenden Optimierungen durchgeführt.</p>

UAP 1.3.4 Repräsentation von relevantem Wissen zum Situationsverstehen		
Partner	PMS	Detaillierte Beschreibung der Arbeiten der beteiligten Partner
Valeo	5	<p>Es werden nacheinander Architektur, Konzept und eine Lösung zum Thema Situationsverstehen implementiert. Dafür werden die Fusion Maps und Bahnplanungskomponenten erweitert. Das in den Verfahren der vorigen APs erworbene Situationsverstehen muss effizient abgelegt und verwaltet werden. Insbesondere der Umgang mit den dynamischen Verkehrsteilnehmern, deren zeitlichem Verhalten und deren Aufenthaltswahrscheinlichkeit müssen in einem solchen Modell abbildbar sein. Entsprechende Funktionen werden implementiert. Es muss auch ein Mitführen der mit dem Model verbundenen Karte bedacht werden. Da Speicher begrenzt ist, müssen Objekte und Infos wieder vergessen werden können. Es ist auch eine Verknüpfung mit den Karten aus TP 2 zu prüfen.</p>

UAP 1.4.1 Generierung von Verhaltenshypothesen		
Partner	PMS	Detaillierte Beschreibung der Arbeiten der beteiligten Partner
Valeo	5	<p>Speziell im Bereich der Fahrbahnplanung und des Situationsverstehens ist es notwendig, Aussagen über die Position anderer Verkehrsteilnehmer innerhalb der nächsten Sekunden zu treffen und deren Aufenthaltswahrscheinlichkeit zu bestimmen. Eine Möglichkeit ist der sogenannte SPARC-Ansatz (Situation Prediction and Reaction Control). Dieser berücksichtigt bei der Bahnplanung die Aufenthaltswahrscheinlichkeit der um das eigene Fahrzeug detektierten Verkehrsteilnehmer innerhalb der nächsten Sekunden.</p> <p>Zunächst wird durch VALEO theoretisch untersucht, welche Mechanismen des SPARC-Ansatzes bezüglich Verhaltenshypothesen zur Umsetzung der @CITY Use Cases notwendig sind und ob diese ausreichend sind. Dies erfolgt durch Erhebung von Daten an einer repräsentativen Kreuzung.</p> <p>Dann werden die Daten auch für das Trainings des Algorithmus herangezogen um anhand der enthaltenen Fahrmanöver Rückschlüsse auf wahrscheinliche künftige Fahrmanöver ziehen zu können. Anschließend wird der Ansatz prototypisch umgesetzt und mit den erzielten Daten getestet.</p>



UAP 1.4.2 Prognose von dynamischen Szenen, deren Wechselwirkungen und Einflussfaktoren		
Partner	PMs	Detaillierte Beschreibung der Arbeiten der beteiligten Partner
Valeo	7	Dynamischen Verkehrsteilnehmern kann man eine Aufenthaltswahrscheinlichkeit zuordnen. Es werden probabilistische Verfahren auf ihre Anwendbarkeit in den @CITY Use Cases untersucht. Die Aufenthaltswahrscheinlichkeit wird durch Analysen des Verkehrs an den jeweiligen Straßen und Kreuzungen durch Feldstudien erhoben. Die Daten werden synchron in den HD maps abgelegt. Daher ist eine Abstimmung mit TP 2 hier erforderlich. Es werden Auswertungen erstellt, die die Güte der Voraussagen des SPARC-Ansatzes beleuchten. Damit wird hier ein erster Versuch der Umsetzung SPARC ähnlicher Ansätze im Stadt-Umfeld unternommen.

UAP 1.4.3 Zeitliche Prognose zur Verbesserung des Situationsverstehens		
Partner	PMs	Detaillierte Beschreibung der Arbeiten der beteiligten Partner
Valeo	7	Die in den beiden vorigen UAPs prognostizierten Aufenthaltswahrscheinlichkeiten werden nun herangezogen, um eine dynamische Bahnplanung zu definieren. Es werden Mechanismen umgesetzt, die die Trajektorien der prädizierten anderen Verkehrsteilnehmer sowie des eigenen Fahrzeuges berechnen. Beide werden mit der Trajektorie des Ego-Fahrzeuges verrechnet. Somit wird ein Verfahren definiert, das eine zeitlich mit höchster Wahrscheinlichkeit freie Bahn definiert. Im Rahmen dieses Arbeitspaketes werden auch Anforderungen an die entsprechenden Bahnplanungsanteile in TP 3 definiert. Diese Verfahren werden in die Fusionssoftware und Bahnplanungsalgorithmen integriert.

UAP 2.1.1 Anforderungen an die digitale Karte		
Partner	PMs	Detaillierte Beschreibung der Arbeiten der beteiligten Partner
Valeo	3	VALEO beteiligt sich an der Definition des Inhaltes und der Datenformate der urbanen Karte. Diese muss als HD Map ausgeführt werden. Eine Vielzahl zusätzlicher Informationen wie Features, Positionen von Infrastrukturelementen sowie genaue Positionen der Fahrspuren mehrspuriger Straßen müssen in der Karte enthalten sein und werden demzufolge definiert. Daher erfolgt eine intensive Abstimmung mit Funktionsprojekten wie TP 3 aber auch mit AP 1.1.

UAP 2.1.2 Definition des Kartenformates		
Partner	PMs	Detaillierte Beschreibung der Arbeiten der beteiligten Partner
Valeo	3	In diesem UAP unterstützt VALEO eine weitest gehende Standardisierung eines HD Map Formates. VALEO wird insbesondere Anforderungen für das Kartenformat einbringen, die sich aus zukünftigen Sensoren und Erkennungsverfahren ergeben. Es erfolgen Abstimmungswshops und entsprechende Spezifikationsdokumente werden erstellt. In diesen Dokumenten wird dann auch die Funktionssicht eingearbeitet, aus der sich Anforderungen ergeben wie z.B. Features für eine Selbstlokalisierung.



UAP 2.1.3 Erzeugung der hochgenauen Grundkarte		
Partner	PMs	Detaillierte Beschreibung der Arbeiten der beteiligten Partner
Valeo	3	<p>Ein wesentliches 3D Mapping Verfahren ist das SLAM. Mit Simultaneous Localisation And Mapping (SLAM) werden Verfahren bezeichnet die eine gleichzeitige Kartierung der 3D Umgebung eines Sensors und die Bestimmung der Lage des Sensors selbst im gleichen Koordinatensystem ermöglichen.</p> <p>Insbesondere bei Verfahren wie Kamera-basierten SLAM ist es von hoher Bedeutung, eine Skalierung von gemessenen 3D Umgebungen mit der Realität zu erzielen und auch Fehler auszugleichen, die sich aus fehlerhafter Ortsbestimmung des eigenen Fahrzeuges ergeben. Auch im SLAM wird eine Umgebungskarte ermittelt, die wiederum mit der HD Map kompatibel ist.</p> <p>Valeo wird hierbei untersuchen, wie die hochgenaue, hier generierte Karte erlaubt, Korrelation mit 3D Objektdaten und Punktwolken aus Sensor-basierenden Erkennungsverfahren zu ermitteln. Darüber hinaus vergleicht VALEO die erhaltenen HD Karten mit den aus SLAM erzeugten 3D Informationen, um Fehler im Kartenformat zu finden. Es wird geprüft, wie gut sich beide für eine Selbstlokalisierung eignen.</p>

UAP 2.2.1 Anforderungen an die Lokalisation		
Partner	PMs	Detaillierte Beschreibung der Arbeiten der beteiligten Partner
Valeo	3	<p>VALEO beteiligt sich dabei, Messkriterien für die Güte der urbanen Karte zu finden. Hierbei sind Genauigkeiten vorhandener Sensoren sowie der Referenzsensorik zu berücksichtigen. Außerdem beteiligt sich VALEO daran, Konzepte für die urbane Karte zu definieren. Dabei handelt es sich zum Beispiel um Schnittstellen sowie Datenformate, die aus den entsprechenden Softwarekomponenten zur Verfügung gestellt werden.</p>

UAP 2.2.2 Selbstlokalisierung und Map-Matching		
Partner	PMs	Detaillierte Beschreibung der Arbeiten der beteiligten Partner
Valeo	3	<p>In diesem UAP wird die Selbstlokalisierung untersucht. Insbesondere wird ein Fokus auf kamerabasierende Lokalisation gelegt.</p> <p>Zuerst wird durch VALEO der Stand der Technik bezüglich SLAM Verfahren (Simultaneous Localisation And Mapping) ermittelt, deren theoretische Hintergründe herausgearbeitet und verstanden. Danach wird entschieden welche Verfahren als Basis herangezogen werden und VALEO wird eigenständige, neuartige Ansätze untersuchen. Ziel ist es, eine halbdichte oder dichte 3D Repräsentation der Umgebung aus Fisheye Kamerabildern zu erhalten. Im Anschluss daran wird auch ein Cocoon aus 4 Fisheye Kameras untersucht. Geprüft wird hierbei ebenso die Einbeziehung der Überlappungsbereiche zwischen den Kameras. Dafür muss im Folgenden eine Bestimmung der Skalierungsfaktoren der ermittelten 3D Punktwolke durch Einbeziehung aller Kameras erarbeitet werden.</p> <p>Ansätze des VISUAL SLAMS werden unter Verwendung von Surround View Kameras betrachtet. Bei Problemen könnten alternativ auch Lokalisierungsansätze basierend auf Laser Scanner Punktwolken untersucht werden. Als zielführend werden Feature-basierte Ansätze angesehen. Somit könnte teilweise auf das Vorhandensein dichter Daten verzichtet werden. Es werden Verfahren entwickelt, die erkannte visuelle Features in der Karte abspeichern,</p>

		<p>um sie dem Fahrzeug später zur Verfügung zu stellen. VALEO hat in diesem Bereich bereits Voruntersuchungen durchgeführt. Aufgrund dieser Erkenntnisse werden im Folgenden insbesondere Anforderungen an die digitale Karte herausgearbeitet.</p> <p>Das System soll sowohl bei kleineren Szenen im Bereich &lt; 100m funktionieren, aber auch in der Lage sein, große Szenen von mehreren Kilometern zu vermessen. Damit sollte es möglich sein, diese Daten zu einer sehr präzisen Ego-Lokalisierung, basierend auf vorhanden Karten, Daten oder vorhandenen 3D Daten durchzuführen. Die Ergebnisse werden bei den jeweiligen Zwischen- und Endberichten des Projektes vorgestellt.</p>
--	--	---

<b>UAP 2.3.1</b>		
<b>Definition der relevanten Kartenattribute</b>		
<i>Partner</i>	<i>PMs</i>	<i>Detaillierte Beschreibung der Arbeiten der beteiligten Partner</i>
Valeo	4	<p>Entsprechend seinem Fokus auf abzuspeichernde Daten aus Sensorik und Erfassungsverfahren erfolgt eine intensive Untersuchung und Abstimmung mit Parteien verschiedenster Erkennungsverfahren und Funktionen.</p> <p>VALEO analysiert und bewertet gemeinsam mit den Partnern Merkmale, Features, Infrastrukturelemente und Modelle aus diesen Verfahren, die zum Zweck der Korrelation oder Verwendung in den entsprechenden Verfahren mit in der Karte abgespeichert werden müssen.</p>

<b>UAP 2.3.2</b>		
<b>Gütemaß der Karte</b>		
<i>Partner</i>	<i>PMs</i>	<i>Detaillierte Beschreibung der Arbeiten der beteiligten Partner</i>
Valeo	4	<p>In diesem UAP wird die Qualität der in der Map abgespeicherten Daten untersucht. VALEO wird dies im Detail auf Basis des in vorherigen UAPs intensiv untersuchten LSD SLAM Verfahrens tun. Entwickelt werden Verfahren, die abgespeicherte Features sowie aus der HD-Map abgeleitete 3D Strukturen mit den Strukturen aus der SLAM-Implementierung vergleichen. Dann wird evaluiert, wie gut sich der Loop Closure des LSD SLAM unter Zuhilfenahme der HD Map verbessern lässt.</p>

<b>UAP 2.3.3</b>		
<b>Fusion aus Karte und Sensorik</b>		
<i>Partner</i>	<i>PMs</i>	<i>Detaillierte Beschreibung der Arbeiten der beteiligten Partner</i>
Valeo	5	<p>Bei der Fusion der verschiedenen Sensordaten treten permanent Konflikte auf. So kann ein Sensor ggf. Daten an Stellen erkennen, die ein anderer Sensor explizit als frei erkennt. Daher wird in diesem UAP eine Fusionslösung prototypisch untersucht. Diese liegt bei VALEO, basierend auf vorhergehenden Arbeiten, bereits vor. Anhand dieser werden nun Strategien untersucht, wie diese Konflikte in Fusionsansätzen und Fusionskarten gelöst werden können. Vielversprechend erscheinen hier probabilistische Ansätze wie Dempster-Shafer Grid, der im Folgenden untersucht wird. Diese Ansätze enthalten heute aber keine Interaktion mit realen Navigationskarten.</p> <p>Bei HD Maps liegen erhebliche Informationen über die Lage von Gebäuden und Infrastrukturelementen vor, die für eine korrekte Fusion und Alignment von MAP und Sensor Karte verwendet werden können. Auch die im LSD SLAM UAP 2.2.2 untersuchten Verfahren enthalten derartige Alignment-Ansätze, die im nächsten Schritt weiter untersucht werden müssen. Am Ende sollte eine</p>

		Fusionskomponente vorliegen, die sich im TP3 zur Integration in das Testfahrzeug verwenden lässt.
	6	Virtuelle Objekte: Valeo wird die Arbeitsumfänge hinsichtlich der Fusion aus Karte und Sensorik um virtuelle Objekte erweitern. Virtuelle Objekte werden bei Bedarf erzeugt und in die HD-Karte eingeblendet. Die virtuellen Objekte können zum Test des Gesamtsystems herangezogen werden. So können beispielsweise in die HD-Karte plötzlich kreuzender Verkehr eingeblendet werden, die für das System als echt erscheinen aber in der Realität nicht vorhanden sind. Das System müsste in diesem Fall dem virtuellen Objekt ausweichen oder das EGO-Fahrzeug anhalten. Die virtuellen Objekte können auch auf Verkehrszeichen und LSA angewendet werden.

<b>UAP 2.3.4</b>	<b>Datenaggregation</b>	
<i>Partner</i>	<i>PMs</i>	<i>Detaillierte Beschreibung der Arbeiten der beteiligten Partner</i>
	5	Parallel mit den Arbeiten in den anderen APs und UAPs in TP 2 und basierend auf deren Ergebnissen wird Valeo eine aggregierte Karte erstellen, welche die Daten aus der Navigationskarte und den aktuellen Informationen aus den Sensorkarten zusammenfasst. Hierzu werden geeignete Algorithmen nach einer umfassenden Literaturrecherche ausgewählt und implementiert. Des Weiteren wird eine geeignete Visualisierung für die einzelnen Informationen der Sensoren, der einzelnen Kartentypen (Sensor-/Navigationskarte) und einer fusionierten Karte (UAP 2.3.3) implementiert.
	4	Hier soll untersucht werden, wie eine fahrzeuglokale digitale Karte mit zusätzlichen Datenlayern um Erfahrungswissen ergänzt werden kann. Die relevanten Informationen können dabei z.B. Fahrzeugdaten, Umfeldmerkmale und abgeleitete situative Größen sein.

<b>UAP 3.1.1</b>	<b>Knotenpunkte</b>	
<i>Partner</i>	<i>PMs</i>	<i>Detaillierte Beschreibung der Arbeiten der beteiligten Partner</i>
Valeo	4	Valeo beteiligt sich an der Erarbeitung der Spezifikationen für innerstädtische Kreuzungen und Kreisverkehre. Dabei werden insbesondere auch Use Cases abgeleitet und somit Anforderungen an TP 1 und TP 2 gegeben. Die daraus resultierenden Funktionsanforderungen, Forschungsfragen und Kriterien sowie die daraus abzuleitenden spezifischen Szenarien sind mit den anderen Projektpartnern abzustimmen.

<b>UAP 3.1.2</b>	<b>Urbane Straße</b>	
<i>Partner</i>	<i>PMs</i>	<i>Detaillierte Beschreibung der Arbeiten der beteiligten Partner</i>
Valeo	2	Valeo beteiligt sich an der Erarbeitung der Spezifikationen und Anforderungen für Verbindungsstraßen analog zum vorigen UAP.

<b>UAP 3.1.3</b>	<b>Interaktion mit schwächeren Verkehrsteilnehmern</b>	
<i>Partner</i>	<i>PMs</i>	<i>Detaillierte Beschreibung der Arbeiten der beteiligten Partner</i>
Valeo	2	Valeo beteiligt sich an der Erarbeitung der Spezifikationen und Anforderungen für Interaktion mit der VRU analog zum vorigen UAP.

<b>UAP 3.2.1</b>			<b>Digitale Karte und statisches Umfeldmodell</b>		
<i>Partner</i>		<i>PMs</i>	<i>Detaillierte Beschreibung der Arbeiten der beteiligten Partner</i>		
Valeo		6	Die Fusion-Karten Softwarekomponente wird auf die im Testfahrzeug verbauten Rechner integriert. Die Datenfusion der verschiedenen Sensoren wird getestet und es werden Testfahrten unternommen. Mit vorhandenen Neueinrichtungen wird die Genauigkeit der Map nachgewiesen. Es wird die Schnittstelle zur HD Map integriert und eine Fusion zum Zwecke der Selbstlokalisierung wird in Betrieb genommen. Die in TP 2 implementierten SLAM Konzepte werden praktisch im Fahrzeug evaluiert.		

<b>UAP 3.2.2</b>			<b>Lokalisierung und Landmarken</b>		
<i>Partner</i>		<i>PMs</i>	<i>Detaillierte Beschreibung der Arbeiten der beteiligten Partner</i>		
Valeo		2	Die in der Map abgespeicherten Landmarken werden zum Zwecke einer besseren Ego-Lokalisierung angebunden und auf Ihre Funktion hin prototypisch untersucht.		

<b>UAP 3.2.3</b>			<b>Umfelderfassung und dynamisches Umfeldmodell</b>		
<i>Partner</i>		<i>PMs</i>	<i>Detaillierte Beschreibung der Arbeiten der beteiligten Partner</i>		
Valeo		2	Das dynamische Umfeldmodell wird in die Fahrzeuginfrastruktur integriert. Die in TP 1 entwickelten Erkennungsfunktionen (z.B. basiert auf Deep Neuronal Networks, DNN) werden angebunden und Untersuchungen im Gesamtverbund durchgeführt.		

<b>UAP 3.2.4</b>			<b>Situationsverstehen und -repräsentation</b>		
<i>Partner</i>		<i>PMs</i>	<i>Detaillierte Beschreibung der Arbeiten der beteiligten Partner</i>		
Valeo		8	<p>In diesem Unterarbeitspaket wird durch VALEO die Komponente zur Erkennung der einzelnen Fahrspuren integriert und getestet. Diese besteht aus Bordsteinerkennung und den bei Valeo bereits vorhandenen Komponenten wie Fahrbahnmarkierungserkennung und Fahrschlaucherkennung, die dort zusammengebracht wurden.</p> <p>Außerdem werden die Komponenten wie im AP 1.4 entwickelt, zum Situationsverständnis in Betrieb genommen und entsprechend des untersuchten Anwendungsfalles „Parken in zweiter Reihe“ untersucht.</p>		

<b>UAP 3.3.1</b>			<b>Fahrstrategie</b>		
<i>Partner</i>		<i>PMs</i>	<i>Detaillierte Beschreibung der Arbeiten der beteiligten Partner</i>		
Valeo		8	<p>Hier wird die Komponente Fahrstrategie integriert und getestet. Es werden die Komponenten zum Situationsverständnis, wie in AP 1.4 entwickelt, in Betrieb genommen und entsprechend des jeweiligen Anwendungsfalles untersucht. Die Fahrstrategie ist entsprechend des Anwendungsfalles im UAP anzupassen und zu erweitern. Dies erfordert die Implementierung von Simulationslösungen sowie in geringem Umfang auch das Einfahren, Labeln und Nachstellen entsprechender realer Fahrscenen.</p> <p>Es erfolgen dann Tests im Valeo-Fahrzeug auf Testgeländen in Bietigheim, Prag und auf freigegebenen Strecken. Benötigte Werkstätten, Testfahrer und Gelände sind bei Valeo vorhanden.</p>		

UAP 3.3.3 Mensch-Maschine-Interaktion		
Partner	PMs	Detaillierte Beschreibung der Arbeiten der beteiligten Partner
Valeo	4	Hier wird die HMI entworfen, implementiert und anschließend getestet. Gerade bei autonomen Fahrzeugen ist eine permanente Überwachung des Fahrers essentiell und Übergabeszenarien müssen stets überwacht werden. Taucht zum Beispiel ein unvorhergesehenes Hindernis wie ein Parker in zweiter Reihe auf, ist es sicher anzuraten, den Fahrer zumindest zu informieren oder darauf aufmerksam zu machen. Entsprechende exemplarische Interaktionen sind daher ebenfalls zu implementieren.

UAP 3.4.1 Versuchsträgeraufbau		
Partner	PMs	Detaillierte Beschreibung der Arbeiten der beteiligten Partner
Valeo	8	<p>Unter diesem Punkt erfolgt der Aufbau des Prototypfahrzeuges. Das Testfahrzeug wird beschafft, zugelassen und für den Umbau vorbereitet. Der Umbau des Testfahrzeuges wird geplant. Insbesondere werden hier Verkabelung, notwendige Hardwareumbauten sowie der Einbau von Sensorik, Spannungsversorgung, Recheneinheiten und Eingriffe in Längs- und Querregelung berücksichtigt.</p> <p>Allgemeine Tätigkeiten, die zum Umbau notwendig sind, sind zum Beispiel das Bringen des Fahrzeuges zu verschiedenen Werkstätten oder die Beschaffung fehlender Teile.</p> <p>Das Valeo Testfahrzeug wird mit allen Sensoren (Ultraschall, Laser Scanner, Surround View Kameras, Front Kamera und Radar) ausgestattet. Es wird der Einbau des Camera Cocoon, bestehend aus 4 Surround View Kameras durchgeführt und die Kameras werden im Fahrzeug in Betrieb genommen. Dann werden der Einbau des Laser Scanner Cocoon, bestehend aus 4 SCALA Laser Scannern und der Einbau des Radar Cocoon, bestehend aus 4 Nahbereichs-Radaren und einem Fernbereichsradar vorgenommen.</p> <p>Prototypen neuartiger Front Kameras mit einer Vielzahl an Objekterkennungsfunktionen werden beschafft und in das Fahrzeug eingebaut. Des Weiteren wird ein differenzielles GPS System verbaut. Es ermöglicht hochgenaue Referenzsensorik zur Validierung des Systems und kann in Zusammenarbeit mit HD ggf. zur Ego-Lokalisierung des Fahrzeuges eingesetzt werden. Die CAR PCs werden in das Fahrzeug eingebaut.</p>

UAP 3.4.2 Integration und Inbetriebnahme		
Partner	PMs	Detaillierte Beschreibung der Arbeiten der beteiligten Partner
Valeo	8	Die Sensoren werden entsprechend in Betrieb genommen. Auch die Laser Scanner und Radare werden im Fahrzeug in Betrieb genommen und die Kommunikation miteinander und mit den Sensoren wird sichergestellt. Das Software Framework für die PCs wird integriert und konfiguriert. Außerhalb des Projektes bereits vorhandene Algorithmen und Fusion-Algorithmen für die verschiedenen Sensoren werden integriert und verwendet. Ebenfalls vorhandene, bereits entwickelte Anteile der Längs- und Querregelung werden integriert bzw. in Betrieb genommen.

UAP 3.4.3		Testmethodik, Erprobung
Partner	PMs	Detaillierte Beschreibung der Arbeiten der beteiligten Partner
Valeo	6	<p>Um das Fahrzeug sowie alle Algorithmen und Funktionen testen zu können, wird eine Vielzahl von Testfahrten notwendig sein. Nach Aufbau des Fahrzeuges werden zunächst Testdaten eingefahren. Diese werden anschließend gelabelt und den Entwicklern zur Verfügung gestellt. Später im Projekt werden nach und nach Funktionen hinzugefügt, integriert und fortlaufend in Testfahrten im Fahrzeug evaluiert. Die Testfahrten werden zum einen auf eigenen Valeo-Testgeländen (Valeo Bietigheim oder auf dem in Prag gemieteten alten Militärflughafen) und zum anderen in dafür freigegebenen Städten (z.B. Karlsruhe) erfolgen.</p> <p>Kontinuierlich werden Reports über Ergebnisse und Aktivitäten der beschriebenen Tätigkeiten erstellt und zu geforderten Terminen dem Projektträger präsentiert und abgegeben. Dies stellt eine weitere Verwendbarkeit der Ergebnisse durch alle am Projekt Beteiligten sicher.</p> <p>Neben dem Report werden die Ergebnisse auch praktisch demonstriert. Es wird durch Valeo ein Testfahrzeug aufgebaut in dem alle Valeo Funktionen demonstriert werden können. Dieses wird dann an den Reporting-Terminen vorgeführt.</p>

VALEO hat im Rahmen von @CITY den Aufbau eines Versuchsträgers (Range Rover Evoque) eingeplant.

Tabelle 3: Übersicht Versuchsträger

Partner	Anz.	TP	Beschreibung/Zweck
Valeo	1	TP 1, TP 2, TP 3	Aufgebaut wird ein automatisiertes Fahrzeug mit komplettem Satz bestehend aus mehreren Laserscannern, Surround View Kameras, Radaren und Frontkamera sowie Referenzsensorik. Der Versuchsträger wird eingesetzt zum Test verschiedener neuartiger Sensorverfahren im Bereich Kamera, Laserscanner und ggf. Ultraschall sowie der Aufzeichnung entsprechender Daten. Weitere Verwendung zur Untersuchung und Demonstration der Pilotanwendung.

VALEO hat außerdem für die Zwischen- und Abschlusspräsentation die folgenden Ergebnispräsentationen in @CITY eingeplant.

Tabelle 4: Planung der Ergebnispräsentation der Meilensteine 2+3

Partner	TP	Zwischenpräsentation (MS2, Q13)	Abschlusspräsentation (MS3+4, Q19+20)
Valeo	TP1	Erste Ergebnisse aus Erkennungsverfahren werden basierend auf Simulationen oder mit aufgezeichneten Daten praktisch präsentiert: Laserscanner Objekterkennung mit Deep Neuronal Networks (DNNs)	
	TP2	Erste Ergebnisse aus Erkennungsverfahren werden basierend auf Simulationen oder mit aufgezeichneten Daten praktisch präsentiert: Visual SLAM basierend auf Kameras	
	TP3	Präsentation der erarbeiteten Spezifikationen für das CITY Umfeld	Ergebnisse werden dargestellt anhand des Demonstrator-Fahrzeugs: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Use Case Parker in zweiter Reihe prototypisch dargestellt</li> <li>▪ Use Case Abbiegen an Kreuzung mit Lichtsignalanlage</li> <li>▪ Laserscanner Objekterkennung</li> </ul>



## 1.4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Die Automation von Fahrzeugen soll einen höheren Komfort und eine erhöhte Sicherheit erreichen, besonders bei Situationen, die den Fahrer stark beanspruchen. Verbesserte Verkehrseffizienz und Reduktion von Staus sind weitere Ziele, die mithilfe automatisierter Fahrzeuge erreicht werden sollen. Bisher konzentrieren sich die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten in erster Linie auf automatisiertes Fahren in gut strukturierten Gebieten (etwa Autobahnen und autobahnähnliche Straßen).

@CITY adressiert erstmals automatisiertes Fahren im komplexen, städtischen Umfeld mit all seinen Herausforderungen (s. Abschnitt 1.1.2), mit möglichst vielen auftretenden Szenarien mit verschiedenen Automatisierungsgraden. Dies schließt die Übergänge zwischen den Automatisierungsgraden ein, die jeweils bestmögliche Einbindung und Unterstützung des Fahrers, mit im Vergleich zum heutigen Stand erheblich verbessertem Situationsverstehen und Vorausplanung der Trajektorien aller Beteiligten auf Basis einer robusten Wahrnehmung der sicherheitsrelevanten Information durch Kombination sich ergänzender, leistungsfähiger Sensorsysteme. Wegen der Komplexität der Umgebung, der Vielfalt an Szenarien und den sich schnell ändernden Situationen wurden bisher lediglich Assistenzfunktionen für das urbane Umfeld erforscht (BMW-Projekt UR:BAN). Mit diesen ehrgeizigen Zielen grenzt sich @CITY klar von den bisherigen Forschungsprojekten zum automatisierten Fahren ab. Abbildung 3 visualisiert diese Abgrenzung deutlich.

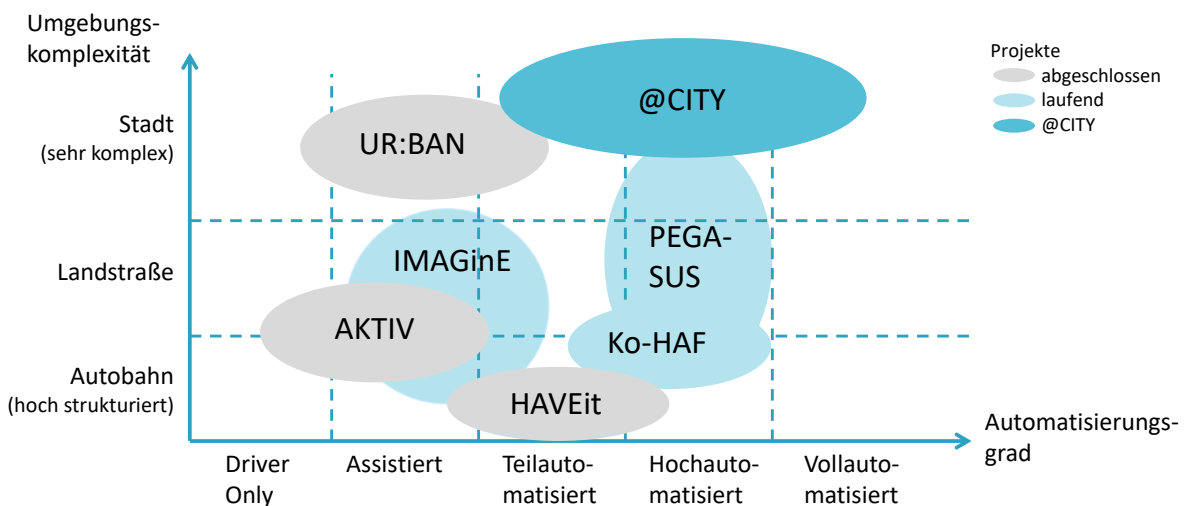


Abbildung 3: Einbettung von @CITY in die Forschungslandkarte

Um nicht zu weit auszuholen, wird an dieser Stelle der Stand der Wissenschaft am Projekt UR:BAN dargestellt und für die anderen genannten Projekte auf deren Abschlussbericht verwiesen.

### UR:BAN

Die Projektinitiative UR:BAN (Urbaner Raum: Benutzergerechte Assistenzsysteme und Netzmanagement) bestand aus drei Projektsäulen: Kognitive Assistenz (KA), Vernetztes Verkehrssystem (VV) und Mensch im Verkehr (MV).<sup>4,5</sup>

Im BMWi-geförderten Projekt wurden in der Projektsäule KA (Kognitive Assistenz, Laufzeit 2012-2016, Koordination durch Daimler AG) wichtige Vorarbeiten für @CITY geleistet. Im Teilprojekt SQL (Sichere Quer- und Längsführung) wurden Assistenzsysteme für das städtische Umfeld erforscht, die im Bereich

<sup>4</sup> Ergebnisbericht UR:BAN, 2016

<sup>5</sup> UR:BAN Konferenz, TU München, 18.-19.02.2016

von Engstellen, bei Gegenverkehr oder bei Spurwechseln wirken. Im Teilprojekt KAB (Kollisionsvermeidung durch Ausweichen und Bremsen) ging es um Systeme, die in kritischen Verkehrssituationen durch kurzfristige automatisierte Eingriffe dazu beitragen können, Unfälle zu vermeiden bzw. Unfallfolgen zu vermindern. Schließlich zielte SVT auf den Schutz verletzlicher Verkehrsteilnehmer. Notwendig für die komplexen Verkehrssituationen in der Stadt ist eine zuverlässige Umgebungserfassung und Umfeldmodellierung, die sowohl alle Verkehrsteilnehmer als auch explizit den freien Straßenraum berücksichtigt. Die genannten Assistenzfunktionen adressieren typische Stadtsituationen. Abgerundet wurde das Projekt durch eine Vielzahl von Untersuchungen zur Wirksamkeit und Effektivität dieser neuen Assistenzfunktionen sowie die Berücksichtigung rechtlicher Belange.

In der Projektsäule MV (Mensch im Verkehr) wurden in den Teilprojekten SIM (Simulation) und VIE (Verhaltensprädiktion und Intentionserkennung) wichtige Grundlagen für die methodische Auseinandersetzung und die Modellierung menschlichen Verhaltens im städtischen Verkehr gelegt. Innerhalb der Säule UR:BAN-VV wurde die Kommunikation der verschiedenen Verkehrsteilnehmer wie Fahrzeuge, Radfahrer und Infrastruktur wie Ampeln und Leitkegel untersucht, um die Verkehrssicherheit zu erhöhen, den Komfort zu steigern und die Emissionen zu reduzieren. So wurden zum Beispiel Radfahrer und Fahrzeugführer in gefährlichen Abbiegesituationen bilateral gewarnt und es wurden Ampelphasen kommuniziert, um Anfahrten und Haltevorgänge zu optimieren.

Da eine Vielzahl der Partner des Projektes @CITY (Bosch, Teves, CSEI, Daimler, TU München) erfolgreich in UR:BAN zusammengearbeitet hat, kann direkt auf die Ergebnisse im Bereich Umgebungserfassung und Umfeldmodellierung, Mensch-Maschine-Interaktion und Fahrerabsichtserkennung zugegriffen und aufgebaut werden. Zurückgegriffen wird insbesondere auf die detailreiche Gesamtspezifikation von UR:BAN-KA (Meilensteinbericht M1).

Thematische Verbindungen zu UR:BAN bestehen auf den Themen (i) „Umfelderfassung und Situationsverstehen“, (ii) „Digitale Karte und Lokalisierung“ sowie (iii) „Mensch-Maschine-Interaktion“. Die funktionale Ausrichtung ist dagegen unterschiedlich: Der Fokus von @CITY auf automatisiertem Fahren in der Stadt ist vollständig neu und war in UR:BAN nicht Bestandteil der Projektuntersuchungen.

Zu (i): Für das automatisierte Fahren in der Stadt ist gegenüber Assistenzsystemen eine um ein Vielfaches höhere Zuverlässigkeit der Erkennung und auch deren Verfügbarkeit erforderlich. Die Anforderungen steigen umso mehr, wenn der Fahrer die Fahraufgabe kurzzeitig an das automatisierte System abgeben darf und als Rückfallebene ausfällt, da er das System nicht mehr kontinuierlich überwacht. Weiterhin zielt automatisiertes Fahren in der Stadt auf kontinuierliches Fahren; demgegenüber stand bei vielen Assistenzfunktionen der kurzzeitige Fahrzeugeingriff in Notsituationen im Fokus, etwa im Rahmen der KA-Teilprojekte zum kombinierten Ausweichen und Bremsen, z.B. bei drohenden Kollisionen mit schwächeren Verkehrsteilnehmern.

Vor diesem Hintergrund besteht der Hauptschwerpunkt von @CITY darin, aufbauend auf den Erkenntnissen aus UR:BAN-KA (Teilprojekt UEM) die Erkennungsleistung signifikant voranzutreiben. Zu diesem Zweck erfolgt die Einbindung der High Definition digitalen Karteninformation in die Datenfusion, mit dem Ziel, über präzise Eigenlokalisierung und verbessertes Situationsverstehen die weitere Bewegung der Verkehrsteilnehmer zu prognostizieren, um letztendlich eine Plausibilisierung aller Daten zu ermöglichen. Der dadurch erarbeitete Zugewinn an Zuverlässigkeit der Daten soll automatisiertes Fahren auch in sehr komplexen städtischen Szenarien ermöglichen, etwa über Kreisverkehre oder Kreuzungen.

Zu (ii): Im Projekt UR:BAN lag der Fokus auf der Entwicklung von Assistenzfunktionen für eine Stadtumgebung. Die Verwendung urbaner digitaler Karten im Projekt @CITY bringt wesentliche Erweiterungen mit sich: die High Definition (HD) Karten und Lokalisationsmechanismen mittels

Landmarken sollen nicht nur die ausreichend genaue laterale und longitudinale Positionierung z.B. in Kreuzungsbereichen ermöglichen, sondern zusätzlich ausreichend Informationen für die Einleitung und die präzise Durchführung von Fahrmanövern zur Verfügung stellen.

Zu (iii): Weiterhin wird für die Entwicklung von Konzepten zur optimalen Interaktion zwischen Fahrzeug und Fahrer auf die UR:BAN-Ergebnisse aus MV zurückgegriffen. Jedoch unterscheidet sich die Interaktion beim automatisierten Fahren (@CITY) signifikant von der für Assistenzfunktionen (UR:BAN-KA), so dass auch hier Weiterentwicklungen unumgänglich sind. Ziel dabei ist es, den Fahrer bei einer Übernahmeaufforderung möglichst rasch, intuitiv und effizient bei der Übernahme der Fahraufgabe zu unterstützen.

## **VALEO**

Valeo selbst hat an den Stand der Technik der eigenen Produkte angeknüpft und diese teilweise in das Projekt @CITY und im eigenen Versuchsträger eingebracht. Bei Lidar-Sensoren<sup>6</sup> z.B. wurde der Valeo eigene SCALA<sup>®</sup> verwendet. Im Bereich des AD-Stack<sup>7</sup> wurde auf dem Valeo eigenen C4U-Programm zum automatisierten Fahren auf Schnellstraßen und Autobahnen aufgesetzt.

sollte.

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

Da VALEO Sensoren aus dem eigenen Produktportfolio verwendet hat, mussten diesbezüglich keine Schutzrechte verletzt oder Lizenzen erworben werden.

Lediglich die von 3D-Mapping erstellten HD-Karten mussten teils erworben werden und beinhalteten ein auf das Projektvorhaben beschränktes Nutzungsrecht.

Auch bei den im Projekt eingesetzten Algorithmen setzte VALEO fast ausschließlich auf Eigenentwicklungen. Nur die im Projekt eingesetzte Frontkamera enthielt einen Chip von Mobileye. Die Nutzung war jedoch durch bestehende Verträge zwischen VALEO und Mobileye erlaubt.

## **Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste**

An Informations- und Dokumentationsdienste haben wir auf VALEO eigene Datenbanken im Intranet zurückgegriffen, sowie das Leibniz-Informationszentrum (Technik und Naturwissenschaften Universitätsbibliothek) genutzt. Rund um das Thema automatisiertes Fahren wurde auch die Quelle springer-online<sup>8</sup> genutzt. Ähnliche Projekte wurden über die Seiten des BMWK und BMDV stets verfolgt und über deren Projekt-spezifischen Webseiten Veröffentlichungen eingesehen. So hat zu diesem Zweck auch @CITY eine projektspezifische Webseite<sup>9</sup>, wo Veröffentlichungen (z.B. von den Projektpartnern, wissenschaftliche Veröffentlichungen von Doktoranden und Ergebnispräsentationen / Zwischenberichte) eingesehen werden können.

Weitere genutzte Quellen und Dienste sind dem Anhang 1 Literaturverzeichnis zu entnehmen.

---

<sup>6</sup> <https://www.valeo.com/en/valeo-scala-lidar/>

<sup>7</sup> <https://www.valeo.com/en/cruise4u-automated-driving/>

<sup>8</sup> <https://link.springer.com/>

<sup>9</sup> <https://www.atcity-online.de/mediathek/Mediathek.html>

## 1.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Allen anderen voran wurde

### **TÜV Rheinland Consulting GmbH**

Der TÜV Rheinland ist der Projektträger des Projektvorhabens @CITY und hat das Projekt im Auftrag des Ministeriums BMWK betreut.

### **WES Office**

Das Projektvorhaben wurde von einem Projektbüro begleitet, welches die Projektpartner neben der Unterstützung als Projektbüro auch bei der Ergebnisverbreitung (v.a. Plenum, Zwischen- und Abschlusspräsentation) zum Projekt beigetragen hat.

### **IAV GmbH**

Die IAV GmbH Ingenieurgesellschaft Auto und Verkehr ist mit mehr als 8.000 Mitarbeitern einer der weltweit führenden Hochtechnologie-Dienstleister der Automobilindustrie. IAV hat Valeo bei dem Fahrzeugaufbau des Versuchsträgers Range Rover Evoque durch die Installation des Power-Managements und die Anbindung an die Fahrzeugschnittstellen unterstützt.

### **Paravan**

Für den Versuchsträger Range Rover Evoque wurde externe Aktorik von der Firma Paravan zur Lateral- und Longitudinalsteuerung verbaut.

### **3D-Mapping**

3D-Mapping war Projektpartner im Vorhaben @CITY und zugleich Unterauftragnehmer von Valeo. 3D-Mapping hat für Valeo eine HD-Karte von Teilen Kronachs (Erfasste Strecke 19 km) erstellt. Die HD-Karte wurde für Live-Tests im urbanen Umfeld, sowie in Simulationen in IPG Car Maker genutzt.

## 2. Eingehende Darstellung

### Teilprojekt 1: Umfelderkennung und Situationsverstehen

Das TP 1 ist in vier Arbeitspakete und 14 Unterarbeitspakete untergliedert.

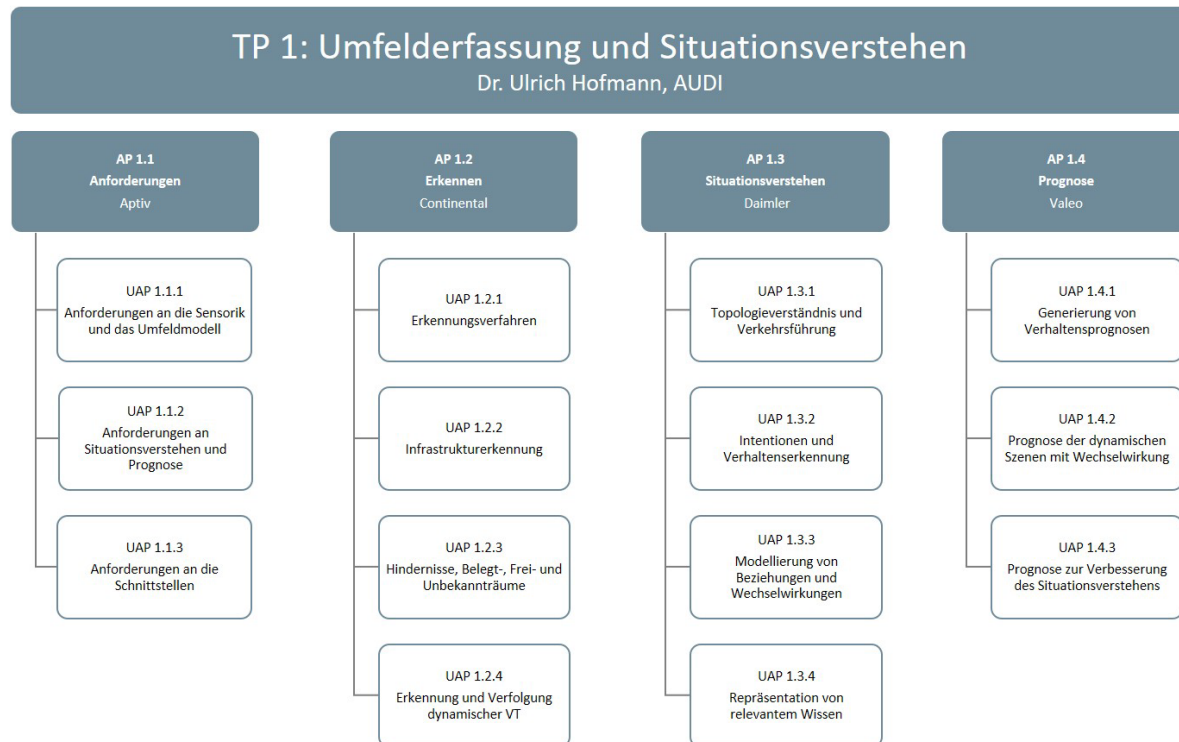


Abbildung 4: Struktur des Teilprojekt 1 zum Zeitpunkt der Antragstellung (Firmennamen haben sich bei Delphi (jetzt: Aptiv) und Daimler (jetzt: Mercedes Benz) zwischenzeitlich geändert.)

Valeo war an allen Arbeitspaketen beteiligt, außer an den UAP 1.2.4, 1.3.1-3.

#### AP 1.1: Anforderungen

Verantwortung: Delphi Deutschland GmbH (später umbenannt in APTIV plc)

Ziel war Erarbeitung der Anforderungen an die TPs 1,2 und 3 hinsichtlich Umfelderkennung und Situationsverstehen. Es erfolgte die Abstimmung der Schnittstellen und Umfänge mit den anderen Projektpartnern. Anschließend wurden Systemkonzepte definiert. Dies umfasst die Architektur und Aufbau der enthaltenen Sensoren, Recheneinheiten sowie den Schnittstellen dazwischen. Es umfasst auch die Erstellung von Anforderungen zur geeigneten Datenverarbeitung der ausgewählten Sensoren. Insbesondere wurden hier die Anforderungen an Genauigkeit der Informationen, deren Vollständigkeit sowie eine Bewertungsmetrik für Signalverarbeitung und Sensoren abgeleitet.

Des Weiteren erfolgte eine detaillierte Definition der Use Cases die Valeo in @CITY vertieft bearbeitet hat (Engstelle, abbiegen an Kreuzung), u.a. die konkrete Definition, welche Ereignisse beim Überqueren komplexer Kreuzungen oder auf Verbindungstrecken auftreten können.

In dem UAP 1.1.1 Anforderungen an die Sensorik und das Umfeldmodell hat Valeo eine Lead-Funktion übernommen.

Zur Ableitung von Anforderungen an das Umfeldmodell hat Valeo eine Übersicht zur funktionalen Architektur erstellt. Diese reicht von den Eingangsinformationen der Sensoren, über die Sensorfusion, der Umfeldmodellerstellung, der Situationsanalyse, der Pfad/Trajektorienplanung bis zur Ansteuerung

der Aktorik. Nachfolgende Abbildung zeigt ein konkretes Ergebnis des AP 1.1, die definierte und verbaute Sensorik im Valeo Versuchsträger Range Rover Evoque.

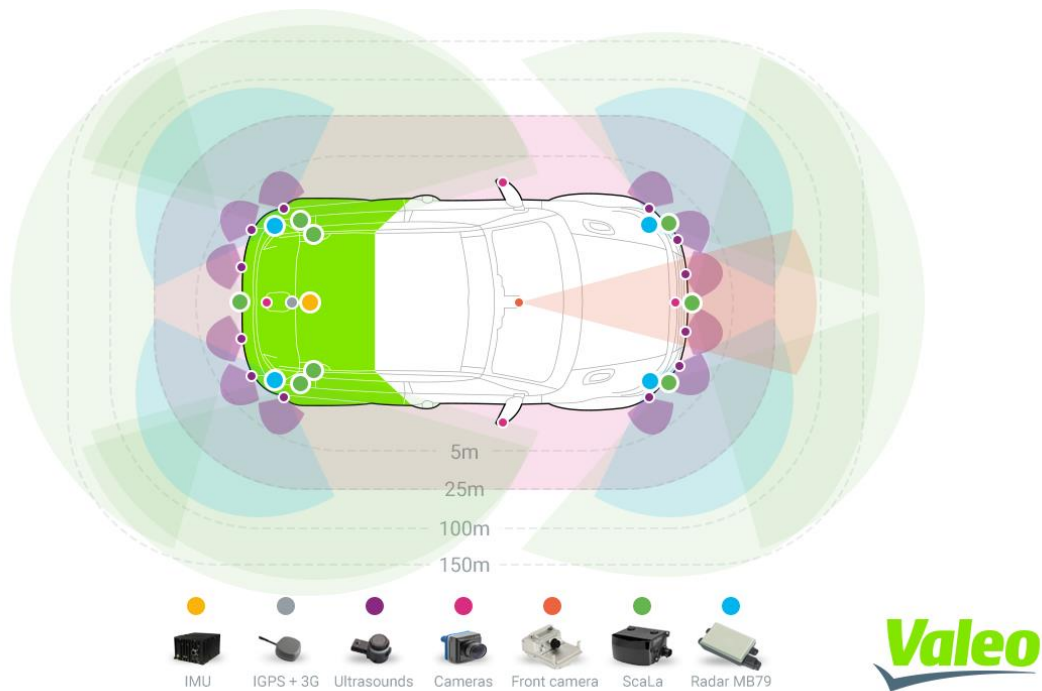


Abbildung 5: Definierte und verbaute Sensorik im Valeo Versuchsträger Range Rover Evoque

Es wurden ausschließlich Sensoren (Ausnahme 1xVelodyne Referenzlidar) aus dem Valeo eigenen Produktportfolio verbaut. Weiterhin wurden die Schnittstellen definiert, wie auszugsweise die nachfolgende Tabelle und Abbildung zeigen.

Tabelle 5: Übersicht benötigter Schnittstellen

	Ethernet	CAN	BRR	KOAX	Seriell	12 V	5 V
IMU	x	x		x	x	x	x
SCALA	x	x				x	
SV-Cam	x		x			x	
Front-Cam		x				x	
Radar		x	x			x	
Velodyne	x	x		x		x	x
Paravan	x	x				x	



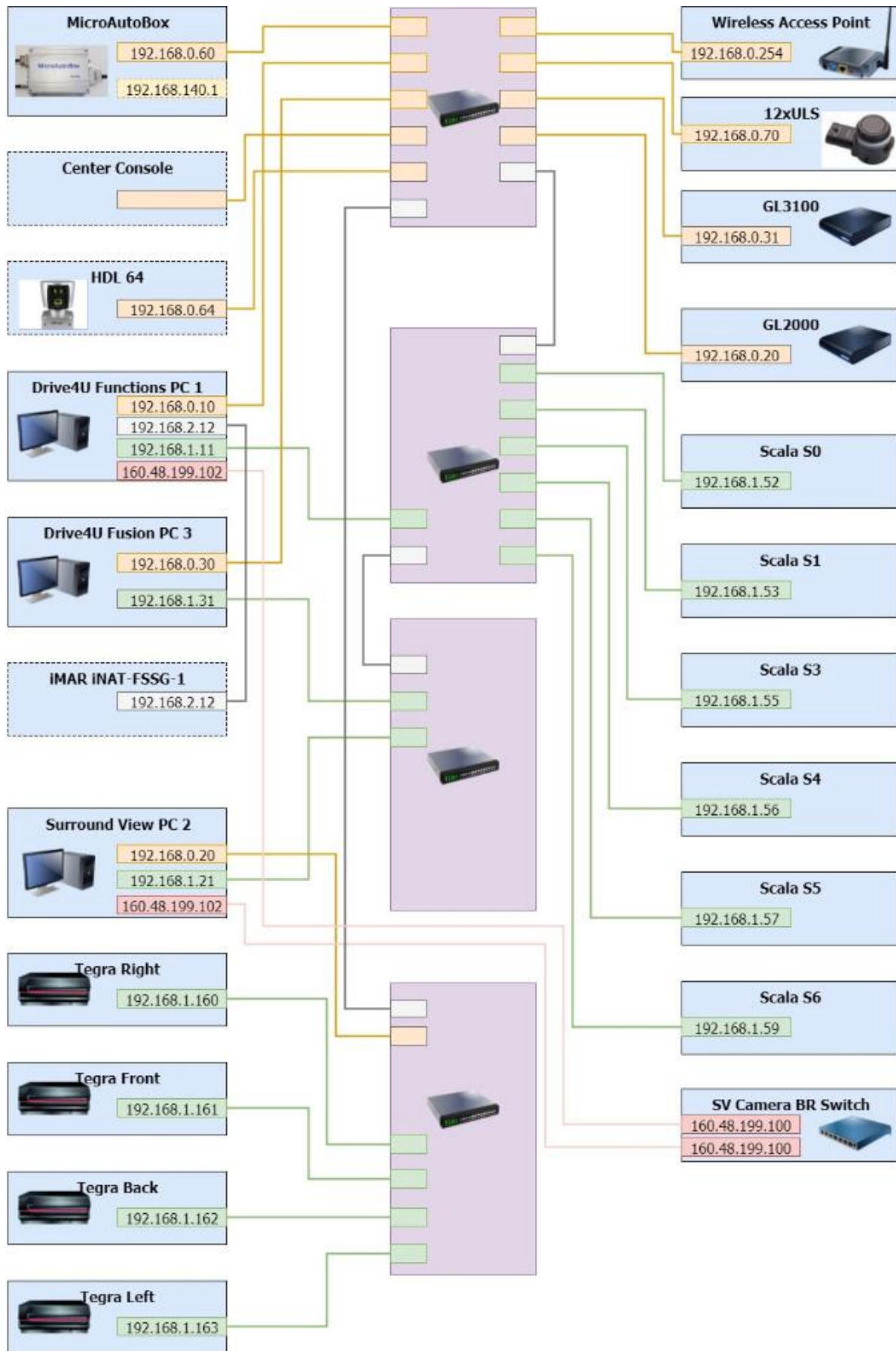


Abbildung 6: Im Versuchsträger verwendete Ethernet-Schnittstellen



Die funktionale Architektur im TP 1 wurde hingegen gemeinschaftlich erarbeitet und zeigt Abbildung 7.

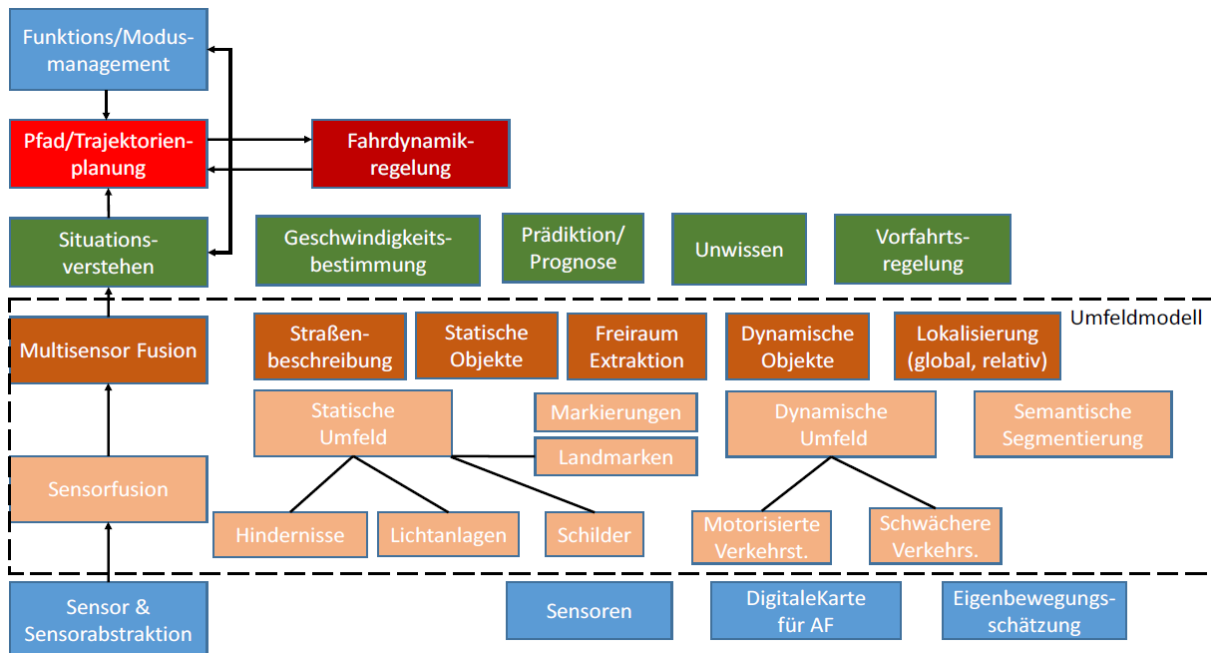


Abbildung 7: Funktionale Architektur für das Fahren im urbanen Raum

Hinsichtlich der Beschreibung der Anforderungen an Situationsverstehen und Prognose wurde mit Flussdiagrammen gearbeitet. Abbildung 8 zeigt hierzu exemplarisch einen Auszug aus dem Flussdiagramm zur Beschreibung von Engstellen auf urbanen Straßen.

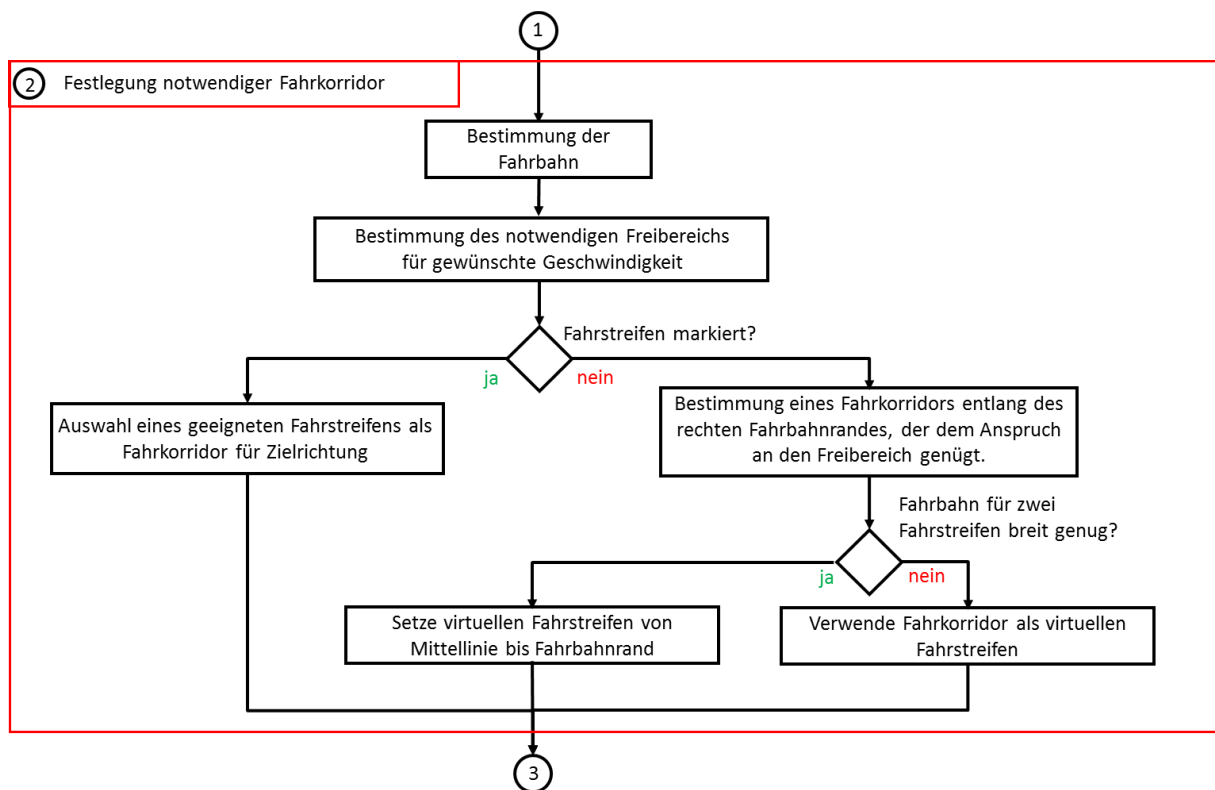


Abbildung 8: Auszug aus dem Flussdiagramm zur Beschreibung von Engstellen auf urbanen Straßen.

Weiterhin wurden gemeinschaftlich die Grundfähigkeiten für das automatisierte Fahren im Stadtbereich erarbeitet und definiert. Dabei wurden folgende Annahmen getroffen:

a) Der Straßenverkehr unterliegt dem Rechtsverkehr.

b) Regelkonformes Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer wird vorausgesetzt. Nicht regelkonformes Verhalten muss durch zusätzliche Anforderungen oder Anpassung der existierenden Anforderungen berücksichtigt werden.

Im Detail wurden folgende Inhalte erarbeitet:

- Bestimmung der maximalen Fahrgeschwindigkeit
- Verkehrszonen
- Geschwindigkeitsbeschränkungsschilder
- Bestimmung der Richtgeschwindigkeit
- Anpassung durch Komfortbegrenzungen
- Anpassungen durch Interaktion mit Verkehrsteilnehmern
- Anpassungen durch Notsituationen
- Fahrstreifen
- Schwächere Verkehrsteilnehmer
- Motorisierte Verkehrsteilnehmer
- Unterfahrbare statische Hindernisse
- Stillstandsmanagement

Für konkrete Ergebnisse wird auf den separaten Meilensteinbericht MS 1<sup>10</sup> verwiesen, da diese weit über 100 Seiten umfassen und den Berichtsumfang an dieser Stelle überschreitet.

Es sei noch darauf hingewiesen, dass so weit wie möglich, auf bestehende Regelwerke zurückgegriffen wurde. Mehr hierzu im AP 3.1.

---

<sup>10</sup> <https://www.atcity-online.de/mediathek/publications/ Publikationen.html>

## AP 1.2: Erkennen

Verantwortung: Continental Teves AG & Co. oHG

Das Arbeitspaket AP 1.2 war in vier Unterarbeitspakete untergliedert, wobei Valeo nur an den ersten drei beteiligt war (UAP 1.2.1 Erkennungsverfahren, UAP 1.2.2 Infrastrukturerkennung, UAP 1.2.3 Hindernis-, Belegt-, Frei- und Unbekanntträume).

Valeo verfügt über ein umfangreiches Produktportfolio erstklassiger Sensoren zur Erkennung des Umfeldes und von Objekten. Der Fokus im UAP 1.2.1 lag auf der Erkennung unter Einsatz von SCALA®-Lidarsensoren und unterschiedlicher Kamerasensoren. Vgl. hierzu auch Abbildung 5. Mit Hilfe der SCALA-Sensoren kann eine Umfelderkennung durchgeführt werden. Das erste Resultat ist eine 3D-Punktwolke. Nun galt es eine semantische Segmentierung anhand der Punktwolken durchzuführen. Hierbei wurden Clustering-Methoden und Neuronale Netze eingesetzt. Das Resultat ist eine semantische Information mit deren Hilfe letztendlich eine Klassifikation vorgenommen werden kann. D.h. die Erkennung von beispielsweise, Fahrstreifen, Bäumen, Häuser, Himmel etc. Die nachfolgende Abbildung zeigt eine bereits eingefärbte Punktwolke welche mittels SLAM<sup>11</sup> und einem SCALA®-Lidarsensor erstellt wurde. Darüberhinaus ist die eigene Trajektorie eingetragen worden.

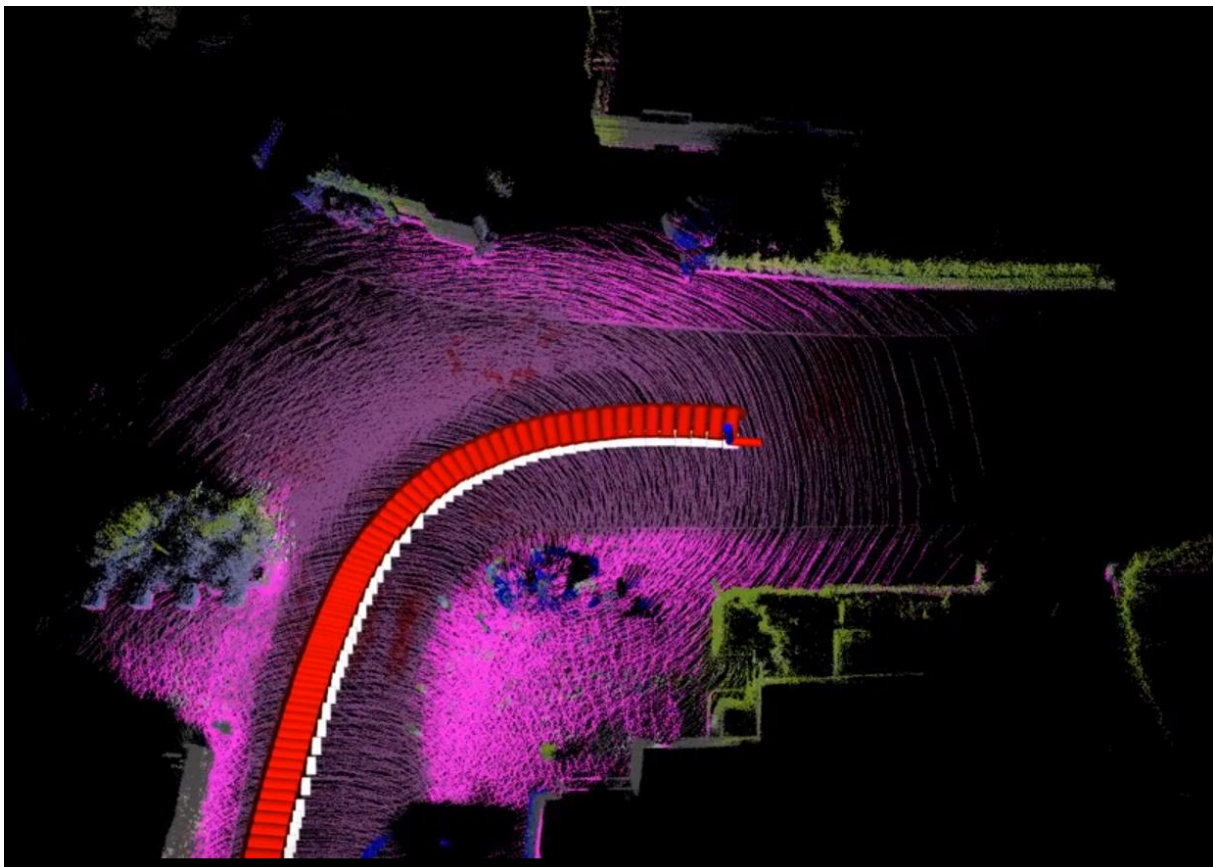


Abbildung 9: Segmentation based SLAM

<sup>11</sup> *Simultaneous Localisation And Mapping*

Aufbauend auf diesen Ergebnissen hat Valeo Algorithmen zur Erkennung von dynamischen Objekten entwickelt. Dynamische Objekte sind im Wesentlichen die Verkehrsteilnehmer im urbanen Umfeld, wie z.B. PKW, LKW, Fußgänger, Motorräder, Busse, ...

Das gleiche hat Valeo mit der Kamerasensorik gemacht, nur eben das die Bildinformation nicht in Form von 3D-Punktwolken sondern als Bildpixel vorlagen. Die folgende Abbildung zeigt ein bereits prozessiertes Bild, welches segmentiert wurde und Objekte klassifiziert wurden.

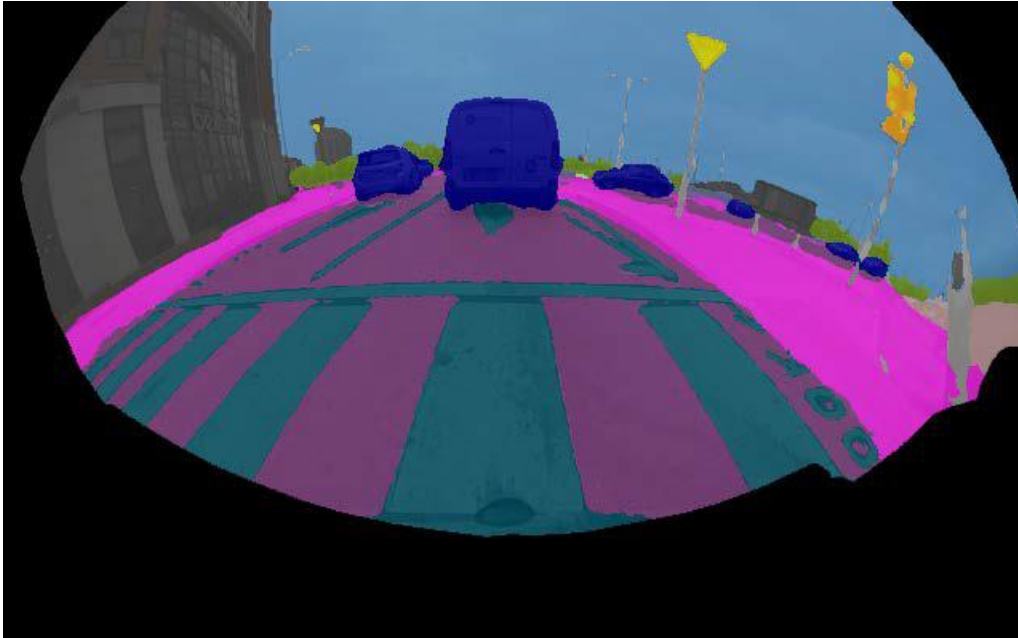


Abbildung 10: Segmentiertes Bild eines Kamerasensors

Die segmentierten und klassifizierten Objekte wurden farblich hervorgehoben. Folgende Klassifikation wurde verwendet: Dunkelblau = PKW, Gelb = Beschilderung, Rosa = Fahrstreifen, Hellblau = Himmel, etc.

Die Informationen aus UAP 1.2.1 dienen letztendlich als Input für die folgenden UAP 1.2.2 und 1.2.3 mit dem Fokus Infrastrukturerkennung, Erkennung von Hindernis-, Belegt-, Frei- und Unbekannträumen. Exemplarisch sei hier nur die Erkennung von Freiräumen als eines von vielen erreichten Ergebnissen kurz vorgestellt. Mit Hilfe der erkannten segmentierten und klassifizierten Informationen, kann eine Darstellung aus der Vogelperspektive in Echtzeit während der Fahrt im urbanen Umfeld errechnet werden und die Darstellung entsprechend angepasst werden. In der folgenden Abbildung sieht man in der Vogelperspektive das EGO-Fahrzeug, den segmentierten und erkannten Fahrstreifen, sowie weitere Objekte in grün und rot, sowie links neben dem EGO-Fahrzeug ein erkanntes dynamisches Objekt der Klasse PKW inkl. Bewegungsrichtungsangabe (Dreieckspeil im dargestellten Objekt). Hier wurden auch schon Identifikationsnummern für erkannte Objekte vergeben. Durch eine Überlagerung dieser Darstellung mit einer HD-Karte (Overlay) kann nun ein Vergleich des Freiraums bzw. ein Abgleich mit Objekten auf dem Streckenabschnitt vorgenommen werden. Die Freiraumerkennung grenzt letztendlich den möglichen Fahrbereich des autonom fahrenden Fahrzeugs ein und dient somit als wichtiger Eingangsparameter für die Fahrfunktionen in TP 3.

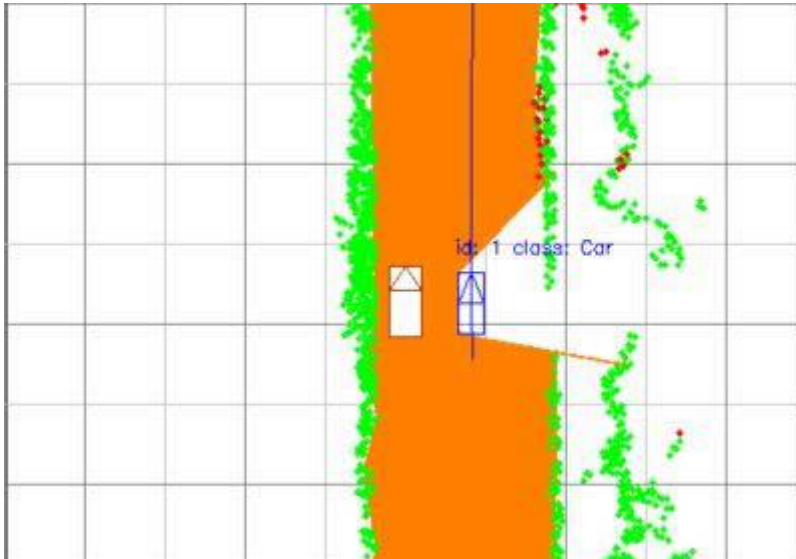


Abbildung 11: Erkannter und in orange markierter Freiraum

### AP 1.3: Situationsverstehen

Verantwortung: Daimler AG (umbenannt in Mercedes-Benz AG)

Das AP 1.3 war in vier Unterarbeitspakete untergliedert. Hier hat sich Valeo nur im letzten Unterarbeitspaket *UAP 1.3.4 Repräsentation von relevantem Wissen zum Situationsverstehen* beteiligt. Die Aufgabenstellung hierbei war folgende: Es werden nacheinander Architektur, Konzept und eine Lösung zum Thema Situationsverstehen implementiert. Dafür werden die Fusion-Maps und Bahnplanungskomponenten erweitert. Das in den Verfahren der vorigen APs erworbene Situationsverstehen muss effizient abgelegt und verwaltet werden. Insbesondere der Umgang mit den dynamischen Verkehrsteilnehmern, deren zeitlichem Verhalten und deren Aufenthaltswahrscheinlichkeit müssen in einem solchen Modell abbildbar sein. Entsprechende Funktionen werden implementiert. Es muss auch ein Mitführen der mit dem Model verbundenen Karte bedacht werden. Da Speicher begrenzt ist, müssen Objekte und Infos wieder vergessen werden können. Es ist auch eine Verknüpfung mit den Karten aus TP 2 zu prüfen.

Stellvertretend für eine Vielzahl von Ergebnissen, soll ein Teilergebnis näher vorgestellt werden, welches eine Schlüsselrolle bei dem Situationsverstehen, z.B. bei dem Use Case Abbiegen an Kreuzungen spielt. Es geht um das sog. Object-Tracking. Mit Hilfe von AP 1.2 ist Valeo in der Lage Objekte zu erkennen und diese zu klassifizieren. Nun gilt es diese einmal erkannten Objekte zu verfolgen (Tracking). Hierzu werden die Objekte mit einer eindeutigen Identifikationsnummer versehen und mit weiteren Informationen verknüpft. Weitere Informationen sind die Geschwindigkeit des Objektes, geometrische Informationen, die Bewegungsrichtung, Beschleunigungswerte und beobachtete Trajektorie. Diese Informationen wiederum werden anschließend an das Prognosemodul (AP 1.4) übergeben, wo auch die zukünftig wahrscheinliche Bewegung prognostiziert wird. Abbildung 12 zeigt das Resultat des Objekt-Trackings bildhaft.



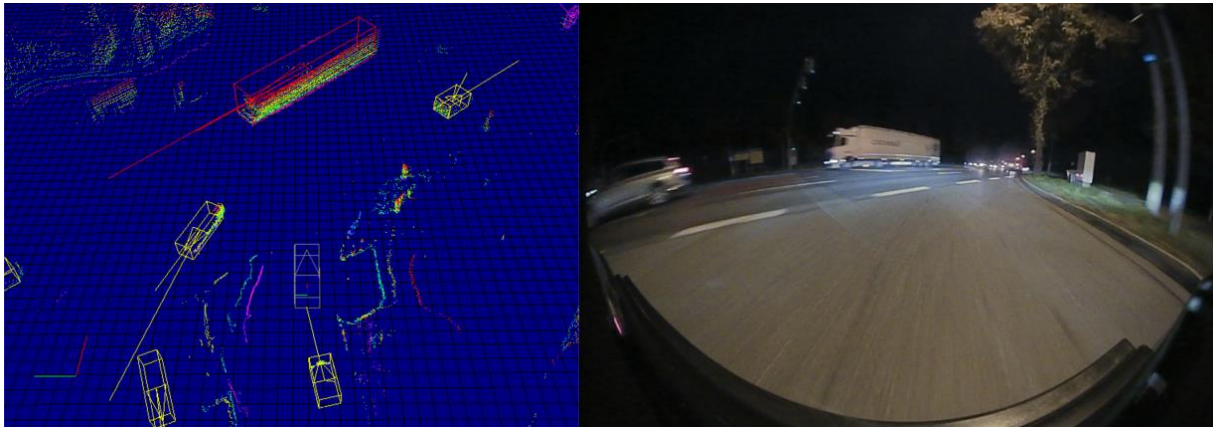


Abbildung 12: LKW als Objekt erkannt und im Trackingverfahren plausibilisiert. Links, die 3D-Darstellung basierend auf Lidar-Punktwolken, sowie segmentierter und klassifizierter Objekte; Rechts, das Kamerabild; In der LKW 3D-Bounding Box wird mit einem roten Pfeil zudem die Fahrtrichtung angegeben. Weitere Informationen können als Text neben dem Objekt eingeblendet werden.

#### AP 1.4: Prognose

Verantwortung: Valeo Schalter und Sensoren GmbH

Das AP 1.4 wurde von Valeo geleitet. Valeo selbst hat sich im Bereich Prognose die folgende Aufgabe gestellt:

Speziell im Bereich der Fahrbahnplanung und des Situationsverstehens ist es notwendig, Aussagen über die Position anderer Verkehrsteilnehmer innerhalb der nächsten Sekunden zu treffen und deren Aufenthaltswahrscheinlichkeit zu bestimmen. Eine Möglichkeit ist der sogenannte SPARC-Ansatz (Situation Prediction and Reaction Control). Dieser berücksichtigt bei der Bahnplanung die Aufenthaltswahrscheinlichkeit der um das eigene Fahrzeug detektierten Verkehrsteilnehmer innerhalb der nächsten Sekunden.

Zunächst wird durch VALEO theoretisch untersucht, welche Mechanismen des SPARC-Ansatzes bezüglich Verhaltenshypothesen zur Umsetzung der @CITY Use Cases (Engstelle, Kreuzung) notwendig sind und ob diese ausreichend sind. Dies erfolgt durch Erhebung von Daten an einer repräsentativen Kreuzung.

Dann werden die Daten auch für das Training des Algorithmus herangezogen um anhand der enthaltenen Fahrmanöver Rückschlüsse auf wahrscheinliche künftige Fahrmanöver ziehen zu können. Anschließend wird der Ansatz prototypisch umgesetzt und mit den erzielten Daten getestet.

Auch hier soll stellvertretend für eine Vielzahl an erreichten Ergebnissen, eines näher beschrieben werden.

Es wurde ein Algorithmus zur Prognose von dynamischen Objekten an Kreuzungen, in diesem Fall PKWs, in den Versuchsträger gebracht. Erste Tests an einfachen T-Kreuzungen, bei denen der Versuchsträger rechts auf eine Vorfahrtsstraße einbiegt wurden durchgeführt. Ein beispielhaftes Ergebnis ist in Abbildung 13 dargestellt.

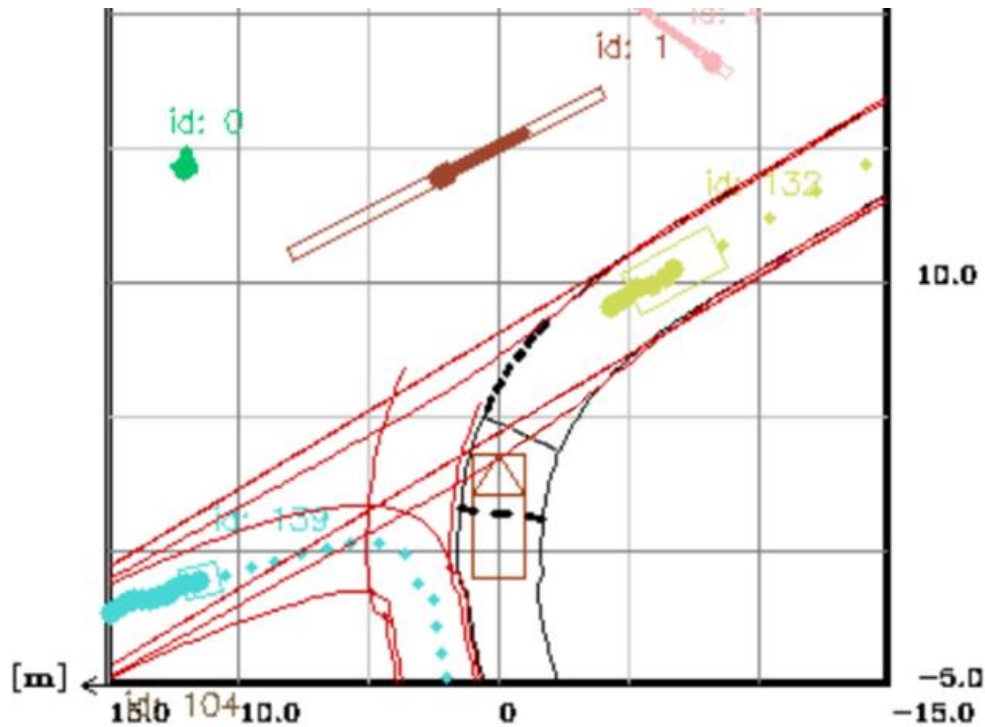


Abbildung 13: Ego Fahrzeug an einer gewinkelten T-Kreuzung; herannahendes Fahrzeug (Box cyan) mit gemessenen Aufenthaltsorten (große Punkte cyan) sowie den als am wahrscheinlichsten prognostizierten Aufenthaltsorten für die nahe Zukunft (kleine Punkte cyan). Entsprechende Darstellung für ein Fahrzeug das den Kreuzungsbereich bereits verlassen hat (dunkelgelb). In rot sind die berücksichtigten Fahrspuren dargestellt, in schwarz die des Ego Fahrzeuges.

Es zeigt die Prognose eines Rechtsabbiegers auf der Vorfahrtsstraße, der durch die Box in cyan links unten repräsentiert wird. Die historische Trajektorie wird durch große Punkte dargestellt und die Prognose durch kleinere Punkte in Fahrtrichtung vor dem PKW. Diese geht davon aus, dass der PKW der rechtsabbiegenden Spur folgen wird. Dabei wird in dieser Darstellung nur die als am wahrscheinlichsten angenommene Trajektorie dargestellt.

Des Weiteren hat Valeo auch an Simulationen von einfachen Kreuzungen gearbeitet. Dabei wurden Trajektorien für Abbiegeprozesse und Trajektorien für das Überfahren einer Kreuzung ermittelt. Beide Szenarien wurden unter Berücksichtigung von Vorfahrt gewähren unter dem Einfluss vorfahrtsberechtigter Verkehrsteilnehmer durchgeführt. Diese Ergebnisse dienen zusammen mit real erhobenen Daten als Grundlage der weiteren Simulationsschritte.

Weiterhin wurden reale Trajektorien einer komplexeren Kreuzung zeitaufgelöst untersucht und mit den Simulationen einer einfachen Kreuzung verglichen. Eine Anpassung der Simulation an die reale Kreuzung (eine x-Kreuzung im urbanen Umfeld von Kronach) inkl. eine Erprobung im realen Umfeld mit dem Valeo Versuchsträger wurde durchgeführt.



## Teilprojekt 2: Digitale Karte und Lokalisation

Das TP 2 ist in drei Arbeitspakete und 10 Unterarbeitspakete untergliedert.

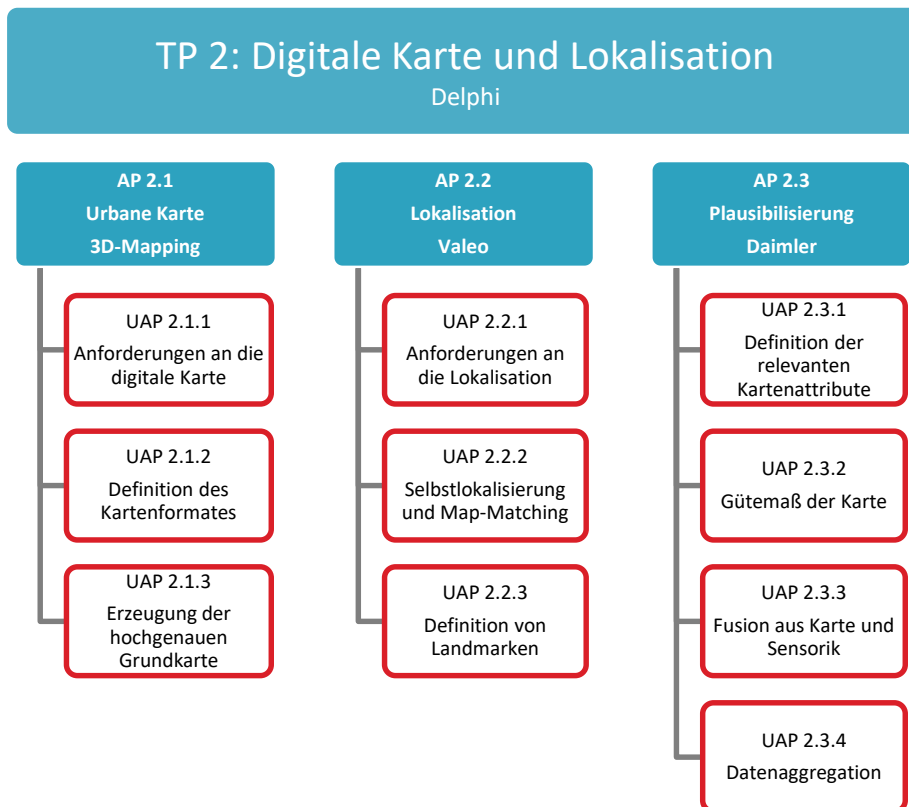


Abbildung 14: Struktur des Teilprojekt 2 zum Zeitpunkt der Antragstellung (Firmennamen haben sich bei Delphi (jetzt: Aptiv) und Daimler (jetzt: Mercedes Benz) zwischenzeitlich geändert.)

Valeo war an allen Arbeitspaketen beteiligt, außer am UAP 2.2.3.

### AP 2.1: Urbane Karte

Verantwortung: 3D Mapping Solutions GmbH

Das AP 2.1 besteht aus drei Unterarbeitspaketen. Im Wesentlichen wurden die Ergebnisse gemeinschaftlich unter Leitung von 3D Mapping Solutions erarbeitet und sind in Teilen bereits im gemeinsamen Meilensteinbericht MS 2 berichtet worden.

Im Rahmen des Teilprojektes Digitale Karte und Lokalisation hat Valeo die Teststrecke Kronach definiert. Das Testgebiet erstreckt sich über eine Fläche von 9km<sup>2</sup> und beinhaltet wichtige Knotenpunkte und Verbindungsstraßen an denen die Anwendungsfälle seitens Valeo in der Praxis erprobt werden. Diese Strecke wurde von 3D Mapping Solutions kartiert. Es handelt sich um eine Strecke von 19 km und 66 Kreuzungen. Abbildung 15 zeigt einen Ausschnitt davon.

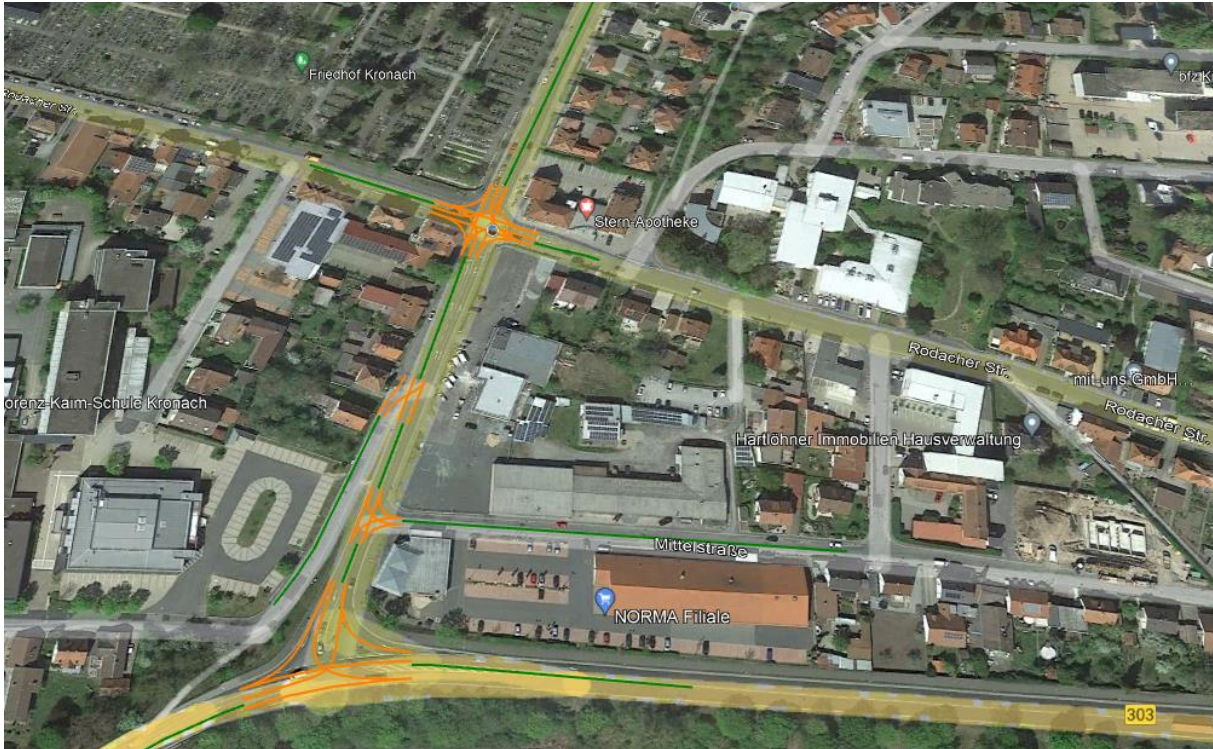


Abbildung 15: Ausschnitt der kartierten Bereich der HD-Karte Kronach

Darüber hinaus wurde auf dem eigenen Firmengelände in Kronach-Neuses eine „kleine“ Teststrecke inkl. eigener LSA<sup>12</sup> aufgebaut. Auf dieser Teststrecke können Wunschscenarien mit eigenen Knotenpunkten, Lichtsignalanlagen (LSA), Fahrstreifen und Verkehrszeichen dynamisch erstellt werden. Diese Vorgehensweise erleichterte den späteren Test der geplanten Implementierung von Algorithmen zur Umfelderkennung, Bahnplanung und Prädiktion erheblich.

Weiterhin wurde die Teststrecke mit neuen Fahrstreifen und Markierungen (Richtungspfeile und Geschwindigkeitsbegrenzungen) versehen.

### Anforderungen an die digitale Karte

Für die Erfassung der Umwelt und Modellierung als digitale Basiskarte bedurfte es einer Klärung der nötigen Inhalte. Grundlegender Inhalt sind alle Spuren, deren Achsen sowie die logischen Verknüpfungen, das sogenannte Spurmodell. Zusätzlich kommen Objekte und deren Attribute hinzu. Diese Inhalte sind zum Beispiel verkehrstechnisch relevanter Art, wie Ampeln und Verkehrsschilder. Aber auch Objekte, wie Straßenlaternen, Leitpfosten oder andere Masten sind entscheidende Inhalte einer Basiskarte. 3D Mapping Solutions händigte einen sogenannten Objektartenkatalog an die Projektpartner aus. Dieser Katalog listet alle Objekte verkehrstechnischer Relevanz und Bestandteile der Umgebung auf, die später in der digitalen Basiskarte zu finden sind und zum Beispiel für die Eigenlokalisierung genutzt werden können.

Basierend auf diesem Katalog erarbeiteten die Partner gemeinsam einen konsolidierten Objektartenkatalog, der die Art der Objekte, die die digitale Karte beinhalten soll, beschreibt. Um die Vergleichbarkeit der Karten der Partner zu erhöhen, haben sich die Partner auf den gleichen Objektartenkatalog committiert. Die folgende Tabelle (hier nur ein Auszug daraus) listet die Objekte

<sup>12</sup> Lichtsignalanlagen (hier: mobile Baustellenampel)

auf, die in den HD Maps der Testgebiete identisch abgebildet werden, sofern die Objekte in der Realität auftreten.

Tabelle 6: Anforderungen an die digitale Karte – Auszug der Objektliste

<b>Allgemein</b>
OpenDRIVE Spezifikation 1.4H Georeferenzierung im Header
<b>Spurmodell &lt;lanes&gt;</b>
Spurbreiten (lane Offset falls erforderlich) Markierungen (Typ, Breite, Farbe) Userdata: Markierungen Start-/Endpunkte
Spurverknüpfungen Geschwindigkeiten Userdata: Lanestyles (ROD) Bordsteinhöhen mit generalisierten Absenkungen
<b>Geometrie (planView, elevation, lateralProfile)</b>
Nach Bogenlänge parametrisierte Splineachsen Höhenprofil Querneigungsprofil
Shape - Profil
<b>Kreuzungsbereich &lt;junction&gt;</b>
Vorfahrtsregeln
<b>Signale &lt;signals&gt;</b>
Schilder nach vzkat 2017 Dynamische Schilder Ampeln

### Definition des Kartenformats

OpenDRIVE wurde im Rahmen von @CITY als Kartenformat gesetzt. Zunächst wird der Standard OpenDRIVE 1.4(H) verwendet. In der ersten Jahreshälfte 2019 erfolgt die Veröffentlichung des OpenDRIVE Standards 1.5. Die Erweiterungen von OpenDRIVE 1.5 sind eine wichtige Weiterentwicklung und werden von 3D Mapping implementiert. Da allerdings auch die Softwareanwendungen der Projektpartner ggf. aktualisiert werden müssen, um die Neuerungen des Formates verarbeiten zu können, wird im Zuge des Projektverlaufes schrittweise mit den Partnern abgestimmt, wie mit dem Versionsübergang umgegangen werden soll. Details zum OpenDRIVE Standard finden sich unter: <http://www.opendrive.org>

Die Weiterentwicklung des Standards wurden von ASAM e.V. übernommen. Die Projekte bei ASAM zur Überarbeitung der Standardisierung von OpenDRIVE zur weiteren Optimierung unter anderem für die Anwendungen des autonomen Fahrens laufen aktuell. 3D Mapping kümmerte sich darum, dass die Weiterentwicklungen durch @CITY möglichst in die Standardisierung einfließen.

### Erzeugung der hochgenauen Grundkarte

Die Voraussetzung für die Erstellung einer geeigneten, robusten hochgenauen Karte aus der Fusion verschiedener Sensordaten, ist die Erfassung und Extraktion statischer, stabiler und zeitlich konsistenter Information aus dem Sensorumfeld. In diesem Zusammenhang ist es notwendig Störgrößen, wie zum Beispiel dynamische oder grundsätzlich "bewegliche Objekte", aus den Sensormessungen zu filtern, damit diese im weiteren Verlauf der Kartenerstellung nicht berücksichtigt

werden. "Bewegliche Objekte" beschreiben in diesem Zusammenhang beispielsweise unter anderem auch parkende Fahrzeuge, welche zum Zeitpunkt der Messung zwar als statische Objekte klassifiziert werden können, zu einem späteren Zeitpunkt jedoch gegebenenfalls nicht mehr in den Messungen erfasst werden und dadurch das Map Matching verfälschen können.

VALEO hat sich u.a. damit beschäftigt, basierend auf Prädiktionen durch ein tiefes neuronales Netz, bewegliche Objekte in LiDAR Punktwolken zu lokalisieren und diese anschließend aus den Daten zu entfernen. Durch anschließendes Anwenden von LiDAR SLAM Verfahren auf den gefilterten Daten, kann dadurch eine zeitlich konsistente, robuste Umgebungskarte erstellt werden, die als Grundlage für die in UAP 2.2.2 aufgeführten Re-Lokalisierungsalgorithmen dient.

Zusätzlich wurde auf dieser Basis untersucht, wie sich diese Störelemente auf eine Kartenerstellung auswirken, welche sich über mehrere Tage erstreckt. Grundlage für die Untersuchungen bildeten 3 Sequenzen eines Supermarkt Parkplatzes mit teilweise überlappenden Bereichen, welche an unterschiedlichen Tagen und Zeitpunkten aufgenommen wurden und dadurch verschiedene Konstellationen der parkenden Fahrzeuge aufwiesen. Unter Anwendung von LiDAR SLAM Verfahren wurde zunächst die Grundkarte auf der Grundlage der ersten Sequenz aufgebaut. Anschließend wurde versucht, durch die Re-Lokalisierungsalgorithmen aus UAP 2.2.2, sich in dieser zu lokalisieren und diese durch die Anwendung des SLAMS auf die folgenden Sequenzen zu erweitern. Die Güte der resultierenden Karte, bestehend aus allen drei Sequenzen, wurde validiert, indem die berechnete Gesamtrajektorie mit den Ground-Truth-Daten (Ground-Truth  $\triangleq$  Feldvergleich) aus dem differential GPS verglichen wurde. Durch das Herausfiltern der beweglichen Objekte aus den Punktwolken konnte dabei die Güte der Trajektorie um 50% verbessert werden.

Weitere Arbeiten von VALEO beschäftigten sich mit der Erstellung von 3D Umgebungskarten basierend auf Kamerabildern. Hierbei wird für jede Kameraaufnahme eine Tiefenschätzung durchgeführt, basierend auf welcher nachfolgende Frames registriert werden und eine stetige Optimierung der resultierenden Gesamtkarte erreicht wird. In diesem Zusammenhang besteht auch die Möglichkeit, anstelle der durch den Algorithmus berechneten Transformation zwischen zwei konsekutiven Aufnahmen, die Odometrie eines differentiellen GPS Signals einzubinden, um dadurch eine hochgenaue dreidimensionale Umgebungskarte zu erzeugen. Zusätzlich kann durch die Anreicherung der Daten aus einer semantischen Segmentierung auf den Kamerabildern selbst, zunächst eine semantische Umgebungskarte und darauf aufbauend, analog zur semantischen LiDAR Punktwolke, die Überführung in eine HD Karte erreicht werden.

Valeo hat die HD-Karte auch in der Simulation in IPG-Car-Maker eingesetzt. Hierzu war eine Format-Konvertierung von OpenDRIVE nach Road5 notwendig.



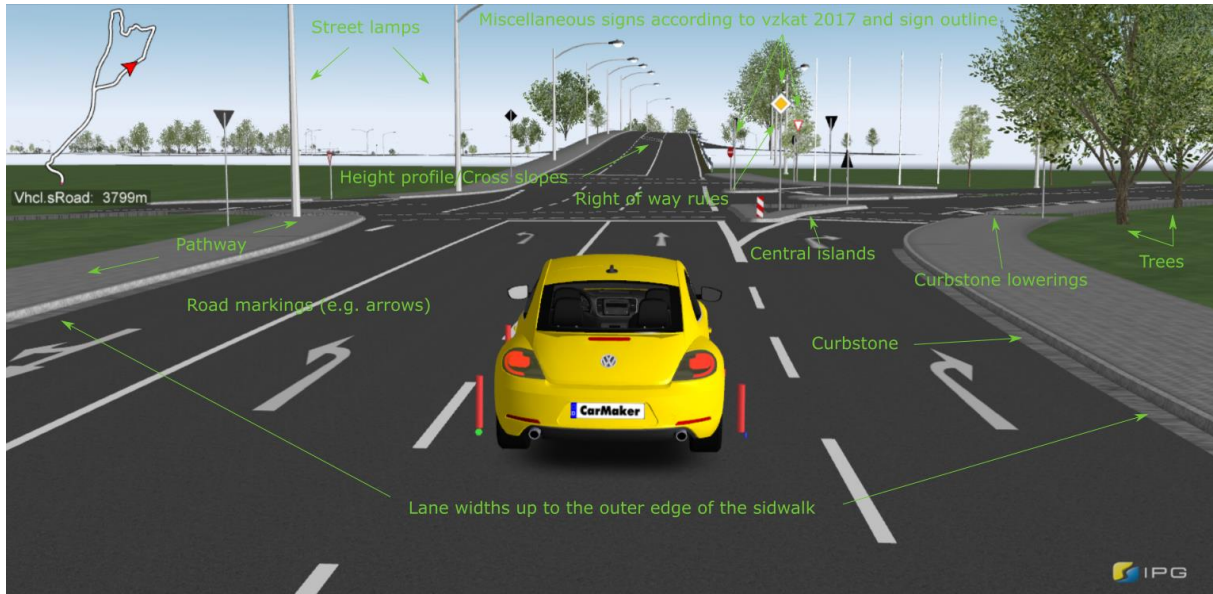


Abbildung 16: In IPG Car Maker importierte HD-Karte von Kronach

## AP 2.2 Lokalisation

Verantwortung: Valeo Schalter und Sensoren GmbH

Das AP2.2 besteht auch drei Unterarbeitspaketen, wobei Valeo nur an den ersten beiden beteiligt war.

### Anforderungen an die Lokalisation

VALEO beteiligt sich dabei Messkriterien für die Güte der urbanen Karte zu finden. Hierbei sind Genauigkeiten vorhandener Sensoren, sowie der Referenzsensorik (Velodyne Lidar) zu berücksichtigen. Außerdem beteiligt sich VALEO daran, Konzepte für die urbane Karte zu definieren. Dabei handelt es sich zum Beispiel um Schnittstellen sowie Datenformate, die aus den entsprechenden Softwarekomponenten zur Verfügung gestellt werden.

Auch hier sollen die erreichten Ergebnisse auszugsweise berichtet werden:

Die Postprozessierung der eingefahrenen Messdaten beinhaltet unterschiedliche Kalibrierverfahren die die extrinsische Anordnung der verwendeten Sensorik des Versuchsträgers relativ zum Referenzpunkt des Fahrzeugs bestimmt. Andererseits wurde auf Basis einer Referenzuhr eine zeitliche Synchronisierung der Sensoren hergestellt, um diese den Posen der Referenzelektronik zuzuordnen. Durch eine Konvertierung der Breiten- und Längengrade des IMAR Systems (im Projekt kam eine iNAT-FSSG-1 von IMAR zum Einsatz) in kartesische Koordinaten, konnten schließlich Ground Truth Posen zu den jeweiligen LiDAR Frames erzeugt werden, die einerseits für den Aufbau einer lokalen Karte der Recordings und andererseits zur Analyse der Lokalisationsgenauigkeit der entwickelten Algorithmen verwendet werden können. Eine akkumulierte LiDAR Karte durch Anwendung der Posen auf Aufnahmen des SCALA<sup>®</sup>13-Lidarsensor-Cocoons ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

<sup>13</sup> Es kam ein SCALA<sup>®</sup> Lidar der zweiten Generation mit 16 Scan-Lines zum Einsatz.

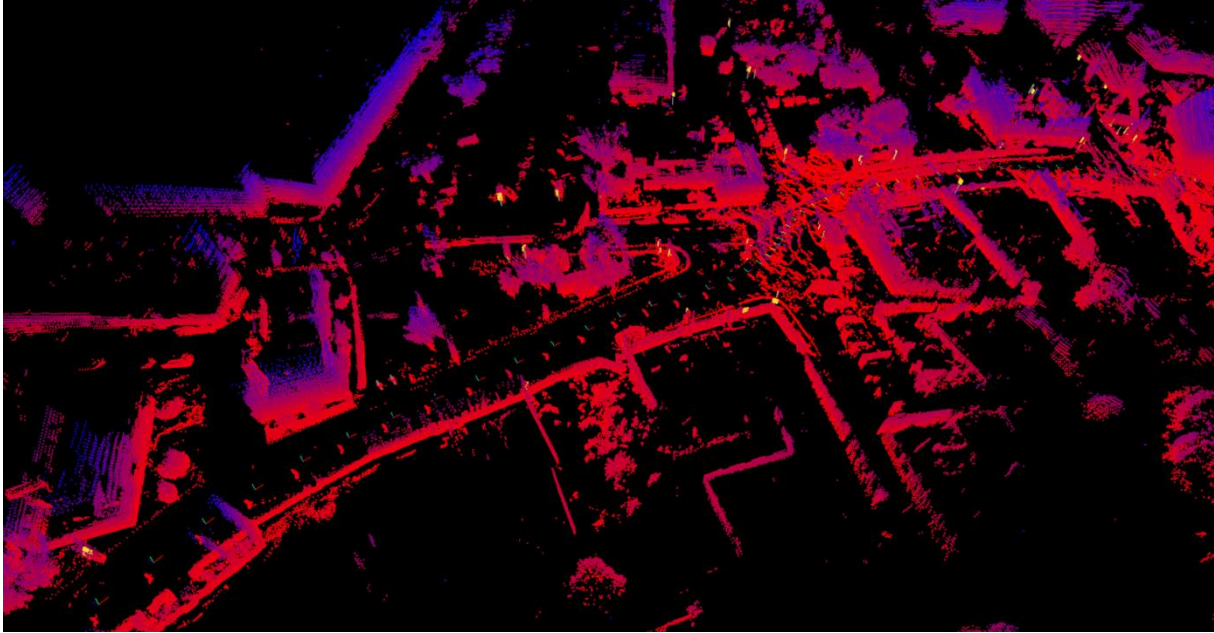


Abbildung 17: Akkumulierte 3D Punktwolkenkarte durch Anwendung der Posen der Referenzelektronik auf Aufnahmen des SCALA® 2 Cocoons in Kronach mit überlagerten HD Kartenelementen (gelb, grau)

Durch Überlagerung der aufgebauten Karte mit den Objekten der HD Karte kann zusätzlich eine qualitative Validierung der gelieferten Posen und der berechneten Sensorkalibrierung- und synchronisierung durchgeführt werden. Auf Grundlage dieser Datenbasis konnten schließlich die gestellten Anforderungen an die Lokalisation auf Realdaten untersucht und evaluiert werden.

### Selbstlokalisierung und Map-Matching

In diesem UAP wird die Selbstlokalisierung untersucht. Insbesondere wird ein Fokus auf kamerabasierende Lokalisation gelegt. Zunächst wurde durch VALEO der Stand der Technik bezüglich SLAM Verfahren ermittelt, deren theoretische Hintergründe herausgearbeitet und verstanden. Danach wurde entschieden welche Verfahren als Basis herangezogen werden und VALEO hat eigenständige, neuartige Ansätze untersucht. Ziel war es, eine halbdichte oder dichte 3D Repräsentation der Umgebung aus Fisheye<sup>14</sup> Kamerabildern zu erhalten. Im Anschluss daran wurde auch ein Cocoon aus 4 Fisheye Kameras untersucht. Geprüft wurde hierbei die Einbeziehung der Überlappungsbereiche zwischen den Kameras. Dafür musste im Folgenden eine Bestimmung der Skalierungsfaktoren der ermittelten 3D Punktwolke durch Einbeziehung aller Kameras erarbeitet werden.

Ansätze des VISUAL SLAMS wurden unter Verwendung von Surround View Kameras betrachtet. Als zielführend wurden Feature-basierte Ansätze angesehen. Somit konnte teilweise auf das Vorhandensein dichter Daten verzichtet werden. Es wurden Verfahren entwickelt, die erkannte visuelle Features in der Karte abspeichern, um sie dem Fahrzeug später zur Verfügung zu stellen. VALEO hat zudem weitere Anforderungen an die digitale Karte herausgearbeitet.

Das System soll sowohl bei kleineren Szenen im Bereich < 100m funktionieren, aber auch in der Lage sein, große Szenen von mehreren Kilometern zu vermessen. Damit ist es möglich, diese Daten zu einer sehr präzisen Ego-Lokalisierung, basierend auf vorhanden Karten, Daten oder vorhandenen 3D Daten

---

<sup>14</sup> Valeo Kameras mit Fisheye-Linse



durchzuführen. Auf eines der zahlreichen Ergebnisse unter Verwendung von SCALA<sup>®</sup>-Lidaren, soll nun näher eingegangen werden.

Valeo hat die Netzwerkarchitektur zur Registrierung zweier Punktwolken erweitert, um eine robuste und effiziente Lokalisation innerhalb einer vorher erstellten Karte aus Landmarken mit Hilfe eines End-To-End trainierbaren neuronalen Netzes durchzuführen. Die grundlegende Herausforderung in dieser Aufgabenstellung, verglichen mit den bisherigen Berechnungen, besteht aus der unterschiedlichen Anzahl an Punkten für Source und Target Frame. Diese stellen in diesem speziellen Anwendungsfall die aktuelle Messung, beziehungsweise die lokale Karte, bestehend aus akkumulierten Scans aus einer vorhergehenden Messfahrt dar. Da sich zwischen der Lokalisationsfahrt und der Kartenakquise ein sehr großer Zeitraum befinden kann und sich dadurch das gemessene Umfeld durch temporär statische Objekte, wie parkende Fahrzeuge erheblich ändern kann, ist es wichtig, robuste Merkmalspunkte aus dem statischen Umfeld zu erfassen. Um das Problem der Korrespondenzfindung auf ein Minimum zu reduzieren, wurden in den bisherigen Ansätzen Landmarken, basierend auf der geometrischen Beschaffenheit der lokalen Umgebung der Punkte extrahiert. Damit jedoch gewährleistet werden kann, dass dem Matching Algorithmus robuste Punkte der statischen Umgebung zugeführt werden, welche sich in unterschiedlichen Scans zu verschiedenen Aufnahmezeitpunkten wiederfinden lassen, wurde das Netzwerk um ein Selektions-Frontend erweitert, welches dazu in der Lage ist, die notwendige Landmarkenextraktion zu lernen. Hierdurch wird ein End-To-End trainierbares neuronales Netz geschaffen, welches die Transformation zwischen den zwei Eingabepunktwolken (aktuelle Messung und akkumulierte lokale Karte) basierend auf einer Korrespondenzfindung zwischen Landmarken schätzt. Die komplette Netzwerkstruktur ist in Abbildung 18 aufgeführt.

Basierend auf der groben, initialen Positionsschätzung durch ein herkömmliches GPS System, wird eine lokale Umgebungskarte erstellt, welche alle Frames der globalen Karte in einem gewissen Umkreis akkumuliert. Dies kann beispielsweise durch das Anwenden von ground truth Posen aus einem GNSS System auf die gemessenen LiDAR Scans bewerkstelligt werden, welche zusammen in diesem Szenario die Referenzkarte bilden. Da diese Low-Budget GPS-Systeme meist eine Ungenauigkeit von bis zu 20 m aufweisen, wurden alle Kartenframes innerhalb dieses Radius um die aktuelle Position für die anschließenden Berechnungen verwendet.

Der aktuelle LiDAR Frame und die lokale Karte werden anschließend voxelisiert, um die enorme Anzahl an Punkten in einem ersten Filterungsschritt zu reduzieren. Für die übrigen Punkte sog. Pillar Features errechnet und anschließend mit Hilfe des Positional- und Pillar-Encoders enkodiert. Das Ergebnis ist ein hochdimensionaler Feature-Deskriptor für jeden Voxelpunkt der beiden Punktwolken. Auf dieser Basis wird anschließend, inspiriert durch D3FEAT, eine Selektion markanter Merkmalspunkte durchgeführt, indem der berechnete Deskriptor mit denjenigen der nächsten Nachbarn in einem bestimmten Umkreis verglichen wird. Im Gegensatz zu D3FEAT wird dieser Vergleich auf Basis der absoluten Norm des Vektors durchgeführt, da dies im Gegensatz zur Verwendung des Maximums einen stabilen Trainingsprozess mit sich führte. Ein Punkt wird schließlich als Landmarke ausgewählt, wenn die absolute Norm des Deskriptors größer ist, als diejenigen in dessen Umkreis. Die Deskriptoren der selektierten Punkte werden anschließend analog zu den Arbeiten der vorherigen Berichte durch ein Graph Neural Network bestehend aus Self- und Cross-Attention Layers prozessiert, um die gesuchten Korrespondenzen der Merkmalspunkte zu ermitteln. Schließlich kann die relative Pose zwischen der aktuellen Aufnahme und der Punktwolkenkarte durch Anwendung einer Singulärwertzerlegung berechnet werden.

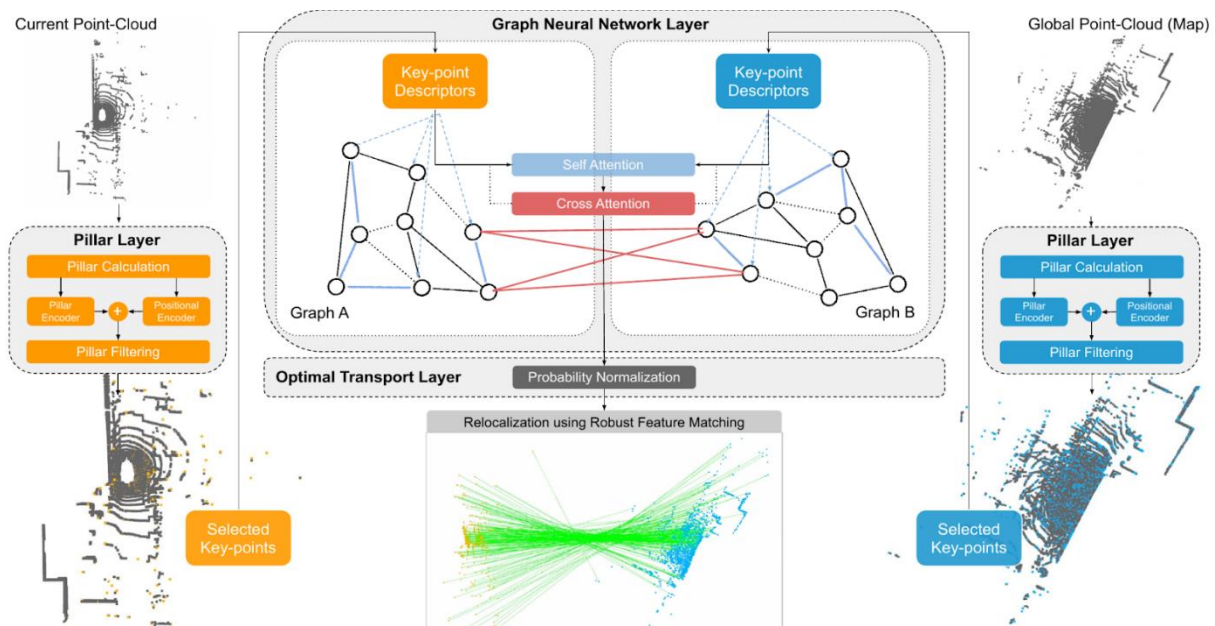


Abbildung 18: Netzwerkarchitektur zur Posenbestimmung zwischen der aktuellen LiDAR-Messung eines Fahrzeugs und einer vorher erstellen, lokalen Merkmalskarte

Eine wichtige Rolle für das Training dieser End-To-End Netzwerkstruktur ist die Auswahl einer geeigneten Lossfunktion, um die Erstellung distinktiver Featuredeskriptoren für die Vorselektion und das Featurematching zu gewährleisten. In den vorherigen Arbeiten wurden dafür die ermittelten Korrespondenzen mit einer statischen Match Matrix, bestehend aus 1 für Match und 0 nicht Match verglichen und anschließend die Negative Log Likelihood auf den berechneten Wahrscheinlichkeiten der Korrespondenzen ermittelt. In diesem Zusammenhang werden jedoch mögliche lokale Zusammenhänge zwischen nicht Matches vernachlässigt und nahe beieinanderliegende Prädiktoren können dabei bestrafend in die Lossfunktion einfließen. Um dem entgegenzuwirken wurde eine aktualisierte Funktion entwickelt, in dem die Match Matrix statt 1 und 0, die Distanz zwischen allen Punkten beinhaltet, wodurch ein weicherer Trainingsprozess und eine schnellere Konvergenz gewährleistet werden kann. Die Einträge der Ground Truth Korrespondenzmatrix werden hierbei gemäß  $e^{-D_{i,j}}$  festgelegt, wobei  $D_{i,j}$  die Matrix mit allen Punktdistanzen darstellt. Hierdurch wird dem Netzwerk außerdem indirekt Information über die Entfernung der prädierten Punkte vermittelt, wodurch eine Featureauswahl auf beweglichen Objekten verringert wird. Um eine robuste Transformationsschätzung zu gewährleisten, wurde der Kartenabschnitt während des Trainings jeweils um einen Zufallswert in einem Radius von 20 m relativ zum aktuellen Frame verschoben und um einen zufälligen Winkel zwischen  $0^\circ$  und  $360^\circ$  gedreht, was gleichzeitig die zu ermittelnde Pose repräsentiert. Um die Performanz der entwickelten Architektur zur Lokalisation zu quantisieren, wurden verschiedene Experimente auf zwei Datensätzen durchgeführt und mit führenden State-Of-The-Art Methoden zur Punktwolkenregistrierung verglichen. Die Lokalisationsexperimente wurden dabei mit Hilfe des NuScenes Datensatzes durchgeführt, welcher Velodyne HDL-32E Punktwolken und dazugehörige Ground Truth Posen von Umgebungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten bereitstellt, wodurch jeweils eine Aufnahme zur Kartenerstellung und die anderen als Lokalisationsfahrten verwendet werden können. Die zur Validierung verwendeten Methoden sind zum einen klassische Registrierungsansätze wie ICP, G-ICP und FPFH, sowie die Deep Learning gestützten Methoden 3DFeatNet und D3Feat. Letztere Methoden berechnen Feature Deskriptoren auf ausgewählten Merkmalen der Punktwolke, welche anschließend mit Hilfe von RANSAC gematcht werden, um dadurch die Transformationsschätzung zu ermitteln.

Für die Experimente wurden Testdaten auf jeweils ungesesehenen Frames während des Trainings erstellt, die hinsichtlich des Ausmaßes der Transformationsschätzung in drei Schwierigkeitsgrade aufgeteilt wurden: Rotationsoffsets zwischen 0° - 45° (Easy), 0 - 90° (Medium) und 0 - 180° (Hard). Für jeden der drei Schwierigkeitsstufen wurde weiterhin eine Unterteilung der Translationen in 0m - 5m, 5m - 10m und 10m - 20m unternommen. Die resultierenden Ergebnisse sind in Tabelle 7 dargestellt:

**Tabelle 7: Transformationsfehler für Translation (t in m) und Rotation (r in rad) der berücksichtigten Methoden auf dem NuScenes Testdatensatz**

Method	$\delta_t[0; 5]m$		$\delta_t[5; 10]m$		$\delta_t[10; 20]m$		mean	
	t	r	t	r	t	r	t	r
Easy: $\delta_r \leq 45$ deg								
ICP[6]	1.848	0.151	3.000	0.144	7.307	0.191	4.084	0.162
G-ICP[31]	1.701	0.159	3.395	0.166	8.897	0.235	4.707	0.187
FPFH[32]	4.065	0.136	4.068	0.141	4.743	0.143	4.297	0.140
3DFeat-Net[14]	1.660	0.068	1.501	0.058	1.611	0.088	1.591	0.072
D3Feat[15]	3.282	0.206	3.163	0.188	4.389	0.204	3.619	0.199
Ours	<b>0.672</b>	<b>0.012</b>	<b>0.463</b>	<b>0.008</b>	<b>0.744</b>	<b>0.025</b>	<b>0.628</b>	<b>0.015</b>
Medium: $\delta_r \leq 90$ deg								
ICP[6]	4.125	0.579	6.207	0.637	9.345	0.628	6.587	0.615
G-ICP[31]	4.341	0.593	6.547	0.652	10.955	0.665	7.318	0.637
FPFH[32]	5.318	0.288	6.059	0.308	6.840	0.262	6.080	0.286
3DFeat-Net[14]	1.798	0.091	1.896	0.069	1.672	0.065	1.788	0.075
D3Feat[15]	3.116	0.177	3.041	0.190	3.395	0.163	3.186	0.177
Ours	<b>0.640</b>	<b>0.017</b>	<b>0.518</b>	<b>0.010</b>	<b>1.001</b>	<b>0.035</b>	<b>0.723</b>	<b>0.021</b>
Hard: $\delta_r \leq 180$ deg								
ICP[6]	6.726	1.533	7.735	1.508	11.019	1.451	8.518	1.497
G-ICP[31]	6.131	1.494	8.321	1.505	13.569	1.463	9.383	1.487
FPFH[32]	5.986	0.384	6.386	0.366	8.166	0.427	6.859	0.392
3DFeat-Net[14]	1.810	0.085	1.836	0.102	2.008	0.107	1.886	0.098
D3Feat[15]	2.821	0.152	2.948	0.175	3.741	0.158	3.176	0.161
Ours	<b>0.981</b>	<b>0.023</b>	<b>0.694</b>	<b>0.027</b>	<b>0.707</b>	<b>0.020</b>	<b>0.793</b>	<b>0.023</b>

Auf den betrachteten Testdaten der beiden Datensätze, konnte das Verfahren nicht nur die geringsten Transformationsfehler in der Posenschätzung erreichen, sondern auch eine wesentlich geringere Laufzeit im Gegensatz zu den Vergleichsmethoden erreichen. Das liegt darin begründet, dass unser Ansatz eine aktive Korrespondenzsuche betreibt, welche mittels SVD direkt zur Posenbestimmung verwendet werden kann. Im Vergleich dazu kommen in den betrachteten Methoden iterative Optimierungsalgorithmen zum Einsatz, wie ICP und RANSAC, die je nach Güte der Initialisierung eine hohe Anzahl an Durchläufen benötigt, bis eine Konvergenz eintritt. Eine Auflistung der durchschnittlichen Laufzeiten ist in Abbildung 19 dargestellt:

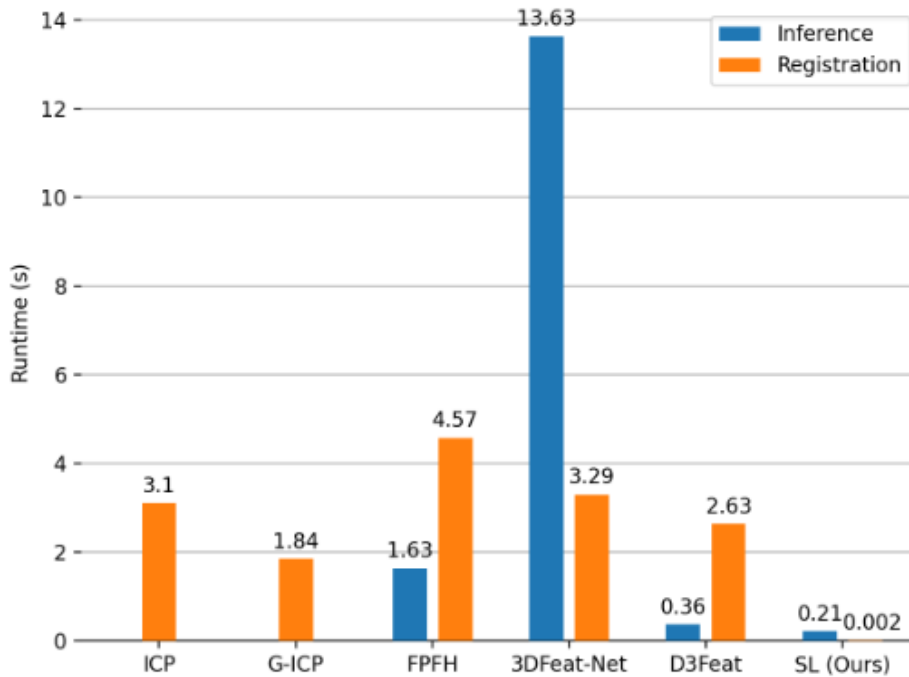


Abbildung 19: Durchschnittliche Laufzeit der betrachteten Methoden zur Egoposen Schätzung eines Scans innerhalb der lokalen Karte

Zuletzt wurden tiefere Experimente durchgeführt, welche sich mit dem Einfluss von Netzwerkparametern und der verwendeten Merkmalsselektion beschäftigten. Dahingehend wurden vier Varianten unseres Ansatzes verglichen:

**SLPS:** Vorselektierte Merkmale auf Basis des Smoothnessfaktors (siehe vorherige Berichte)

**SLRND:** Zufällige Auswahl von Punkten und Verwendung des Hard Matches Loss (Korrespondenzmatrix aus 1 und 0)

**SLHM:** Trainierte Selektion von Punkten durch die erläuterte Selektion mit Hard Matches Loss

**SLDM:** Trainierte Selektion und Verwendung der Distanz basierten Lossfunktion

Zur Validierung der Vergleichsvarianten wurde der Nusenes Testdataset (Hard) verwendet und die jeweils beste Leistung der jeweiligen Methoden innerhalb eines Trainingszyklus von 200 Epochen verwendet. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind schließlich in Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8: Quantitative Analyse des Einflusses der Merkmalsvorselektion auf die Performanz der entwickelten Methode zur Lokalisation im Rahmen vierer Vergleichsvarianten

Method	$\delta_t[0; 5]m$		$\delta_t[5; 10]m$		$\delta_t[10; 20]m$		mean	
	t	r	t	r	t	r	t	r
<i>SLRND</i>	1.382	0.167	1.071	0.101	0.887	0.085	1.111	0.117
<i>SLPS</i>	<b>0.795</b>	0.068	0.921	0.063	0.956	0.063	0.892	0.065
<i>SLHM</i>	1.254	0.085	0.932	0.042	1.376	0.109	1.189	0.079
<i>SLDM</i>	0.981	<b>0.023</b>	<b>0.694</b>	<b>0.027</b>	<b>0.707</b>	<b>0.020</b>	<b>0.793</b>	<b>0.023</b>

Wie aus der Tabelle ersichtlich wird, spielt der vorgestellte distanzbasierte Matching Loss eine entscheidende Rolle hinsichtlich der Performanz des Netzwerks im Zuge der gelernten Merkmalsvorselektion. Hinsichtlich der vier Vergleichsvarianten konnten dadurch weiterhin die besten Ergebnisse in Bezug auf die durchschnittlichen Transformationsfehlermaße erreicht werden.

### **AP 2.3 Plausibilisierung**

*Verantwortung: Daimler AG (jetzt Mercedes-Benz AG)*

Das AP 2.3 besteht aus insgesamt vier Unterarbeitspaketen.

#### **UAP 2.3.1 Definition der relevanten Kartenattribute**

Das Ziel der Plausibilisierung ist der Umgang mit unsicheren und möglicherweise veralteten Kartendaten und daraus folgend die Detektion von Widersprüchen zwischen fahrzeugseitiger Sensorik und hochgenauer Karte. Die Grundlage dafür bilden die Landmarken in der hochgenauen, digitalen Karte. Entsprechend dem Fokus auf abzuspeichernde Daten aus Sensorik und Erfassungsverfahren erfolgte eine intensive Untersuchung und Abstimmung mit Parteien verschiedenster Erkennungsverfahren und Funktionen. VALEO analysierte und bewertete gemeinsam mit den Partnern Merkmale, Features, Infrastrukturelemente und Modelle aus diesen Verfahren aus, die zum Zweck der Korrelation oder Verwendung in den entsprechenden Verfahren mit in der Karte abgespeichert werden müssen. Abgesehen von Benchmarkdatensätzen, wurde innerhalb VALEOs auch Referenzelektronik verwendet, um die Güte der sensorisch erfassten Umgebungsdaten und den daraus resultierenden Landmarken zu beurteilen. Für die Validierung kamen in diesem Zusammenhang Mapping Verfahren zum Einsatz, die beispielsweise auf der Grundlage von Laser- oder Kameradaten agieren. Hierbei wurden lokale Attribute aus der jeweiligen, aktuellen Umgebungserfassung extrahiert und messungsübergreifend miteinander in Verbindung gebracht. Die Güte der dabei entstehenden Umgebungskarte korreliert somit direkt mit der Qualität der extrahierten Landmarken und kann durch gezielte Optimierung dieser direkt beeinflusst werden. Eine Beurteilung findet hierbei nicht auf den erstellten Karten per se statt, sondern auf der Korrespondenz der Merkmale zwischen verschiedenen Aufnahmen, welche die Fahrzeugbewegung approximiert und als eine Transformation mit sechs Freiheitsgraden angesehen werden kann. Unter Zuhilfenahme der genannten Ground Truth Messungen aus der verwendeten Referenzelektronik (GPS, IMU) kann die ermittelte Bewegung schließlich validiert werden. Hierdurch konnten aussagekräftige Attribute für die Kartierungsverfahren gefunden werden.

#### **UAP 2.3.2 Gütemaß der Karte**

Für einen direkten Vergleich zwischen den Elementen der HD-Karte und den Messungen aus der Sensorik des Versuchsträgers, ist es notwendig, die Messdaten zu interpretieren, um daraus Wissen einer höheren Abstraktionsstufe abzuleiten. Valeo hat in diesem Zusammenhang ein tiefes neuronales Netz entwickelt, welches eine semantische Segmentierung auf Punktwolken durchführt, wodurch diese mit zusätzlichem Wissen über Infrastrukturelemente angereichert wird. Im Falle einer 3D semantischen Segmentierung wird jedem Punkt einer Punktwolke eine aus einer festgelegten Anzahl an möglichen Klassen zugewiesen. Solange dafür die notwendigen Ground Truth Daten in Form von annotierten Punktwolken vorliegen, kann die Klassenauswahl beliebig feingranular gestaltet werden. Dies bietet beispielsweise die Möglichkeit, ähnliche Klassen zu einem Klassenpool zusammenzufassen, wodurch die Anzahl der maximal möglichen Klassen reduziert wird und die Prädiktionsaufgabe des Netzwerks vereinfacht wird. Im Falle des Abgleichs der Sensormessungen mit der HD Karte, wurden deshalb ausschließlich Objektklassen zur semantischen Segmentierung verwendet, welche sich auch innerhalb der bereitgestellten Karte wiederfinden lassen. Weiterhin wurden diese für die vorläufigen Testläufe auf Klassen beschränkt, deren Position sich leicht durch einen einzelnen Punkt beschreiben lässt, wie Masten, Schilder, Ampeln, Baumstämme etc., um ein effizientes Matching mit der HD Karte zu gewährleisten. Objektpunkte, welche keine der vorgefilterten Klassen zugewiesen werden können, werden in diesem Zusammenhang der Outlierklasse "MISC" zugeordnet. Aufbauend auf der segmentierten Punktwolke, können die Objektmittelpunkte der relevanten Klassen schließlich mittels Clusteringverfahren bestimmt werden und mit den Elementen der HD Karte gematcht werden. Zur Extraktion der semantischen Information aus den LiDAR Punktwolken wird ein Encoder-Decoder basiertes Convolutional Neural Network verwendet, welches auf einer UNet Struktur basiert. Das



Grundprinzip dieser Architektur basiert auf der semantischen Segmentierung von Bilddaten, wodurch diese durch multiple Schichten von Convolutional Layern zunächst enkodiert, das heißt auf eine geringere Bildgröße mit mehrdimensionalen Featuredeskriptoren pro Bildpunkt, gebracht werden. Die anschließende Prozessierung durch den Decoder stellt iterativ durch Convolutional Layer die ursprüngliche Auflösung des Bildes wieder her und ordnet jedem Bildpunkt eine der Objektklassen mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit zu. Dieses Verfahren kann durch eine Transformation der Punktwolke in eine Top-Down Ansicht und durch Überführung in ein geordnetes Raster durch Voxelisierung direkt auf die Punktwolkendaten übertragen werden. Durch die Anwendung eines Clusterverfahrens wie DBScan auf die jeweiligen Punkte einer Objektklasse, können schließlich die Objektschwerpunkte in den aktuellen Messungen ermittelt werden. Aufbauend auf dieser Datengrundlage, können anschließend Methoden zur Punktwolkenregistrierung verwendet werden, Korrespondenzen zwischen den Objekten der HD Karte und den aktuellen Messungen herzustellen, um darauf basierend die Pose des Ego-Fahrzeugs relativ zur Karte zu schätzen. Eine grafische Darstellung der Prozesspipeline ist in Abbildung 20 dargestellt.

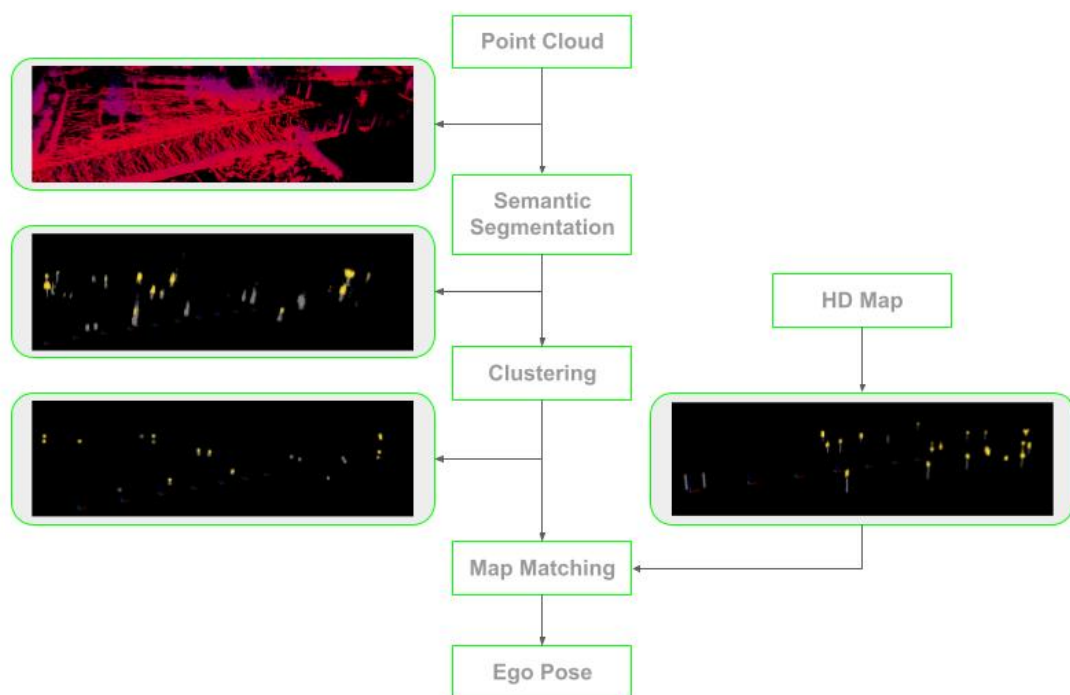


Abbildung 20: Prozesspipeline zur Lokalisation anhand extrahierter Objekte in der HD Karte durch semantische Punktwolkensegmentierung und anschließendem Objektclustering

Weiterführende Details zur Posenbestimmung über das Map Matching mit der HD Karte unter dem Gesichtspunkt der Plausibilisierung werden in den Beiträgen zu UAP 2.3.3 beschrieben.

### UAP 2.3.3 Fusion aus Karte und Sensorik

Damit eine robuste Korrespondenzsuche zwischen den aus UAP 2.3.2. ermittelten Objekten und den Elementen der HD Karte durchgeführt werden kann, ist es notwendig die beiden Objektsätze gegeneinander zu plausibilisieren. Da im dynamischen Umfeld der Innenstadt stets neue Infrastrukturelemente hinzugefügt, oder entfernt werden können, oder wichtige Landmarken beispielsweise durch parkende Fahrzeuge temporär verdeckt werden, sowie durch Fehldetektionen, kann es teilweise zu großen Unterschieden zwischen Prädiktion und Karte kommen, welche die Posenschätzung durch Korrespondenzfindung negativ beeinflussen würden. Daher ist es essentiell, mögliche Diskrepanzen zwischen den Objekten zu detektieren und zu quantisieren, um gegebenenfalls auf alternative Verfahren für die Lokalisation zurückzugreifen. In diesem Zusammenhang wurden von



Valeo zunächst mehrere Metriken implementiert, welche den Unterschied zwischen zwei Punktwolken numerisch beschreiben.

Eine Größe, welche auf Grund ihrer einfachen Berechnung in diesem Zusammenhang oft Anwendung findet, ist die sogenannte *Chamfer Distance*. Hierbei wird die durchschnittliche Entfernung von jedem Punkt der einen Punktwolke ( $S_1$ ) zu seinem nächsten Nachbarn in der anderen Punktwolke ( $S_2$ ) ermittelt um dadurch ein mittleres Distanzmaß der beiden Punktwolken zu ermitteln:

$$CD(S_1, S_2) = \frac{1}{|S_1|} \sum_{x \in S_1} \min_{y \in S_2} \|x - y\|_2 + \frac{1}{|S_2|} \sum_{y \in S_2} \min_{x \in S_1} \|x - y\|_2$$

Da diese Funktion jedoch nicht invertierbar ist, gilt  $CD(S_1, S_2) \neq CD(S_2, S_1)$ , wird die Chamfer Distanz im betrachteten Anwendungsfall durch die Summe der beiden Werte ausgedrückt.

Ein weiterer Parameter der in diesem Gebiet oft zum Einsatz kommt, ist die sogenannte *Kullback-Leibler Divergenz*. In diesem Falle werden die Punkte einer Punktwolke nicht als Positionen im dreidimensionalen Raum angesehen, sondern als 2D Wahrscheinlichkeitsverteilungen. Diese werden für jeden Punkt durch eine 2D Gaußverteilung ausgedrückt und anschließend für jede Punktwolke aufsummiert und durch die Anzahl aller Punkte normiert, um eine Mischverteilung pro Punktwolke zu generieren. Auf den daraus resultierenden Verteilungen  $P$  und  $Q$  der jeweiligen Punktwolken, kann schließlich die Kullback-Leibler Divergenz gemäß:

$$D(P||Q) = KL(P, Q) = \sum_{x \in X} P(x) \cdot \log \frac{P(x)}{Q(x)}$$

berechnet werden.

Aufbauend auf der Kullback-Leibler Divergenz kann außerdem die *Jensen-Shannon Divergence* ermittelt werden, welche im Gegensatz zur Kullback-Leibler Divergenz symmetrisch ist und garantiert endliche Werte besitzt. In diesem Zusammenhang wird nicht die Ähnlichkeit der Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Punktwolken zueinander, sondern zur Mischverteilung aus den beiden Punktwolken durch:

$$JSD(P || Q) = \frac{1}{2}D(P || M) + \frac{1}{2}D(Q || M)$$

mit:

$$M = \frac{1}{2}(P + Q)$$

ermittelt.

Eine weitere Möglichkeit um beispielsweise die Differenz zwischen zwei Sets von Targets zu ermitteln ist die sogenannte *Optimal Sub-Pattern Assignment Metric (OSPA)*, beziehungsweise deren generalisierte Form *Generalized Sub-Pattern Assignment Metric (GOSPA)*. Hauptanwendungsfall der beiden Metriken ist das sogenannte Multi-Target-Tracking, bei dem die Diskrepanz zwischen einer Messung und der Ground-Truth durch einen kombinierten Fehler aus Lokalisation / geometrische Abweichung der korrekt detektierten Targets und der Anzahl der fehlerhaft detektierten und nicht erfassten Targets ermittelt wird. GOSPA beschreibt in diesem Zusammenhang die unnormalisierte Version des OSPA Verfahrens, in welchem das Auftreten von falsch positiven Targets größer in die Gewichtung des zu ermittelten Fehlers einfließen. Die formelle Beschreibung der beiden Verfahren kann wie folgt ausgedrückt werden:

**OSPA:**

$$d_p^c(X, Y) \triangleq \frac{1}{|Y|} \left( \min_{\pi \in \Pi_{|Y|}} \sum_{i=1}^{|X|} d^c(x_i, y_{\pi(i)})^p + c^p(|Y| - |X|) \right)^{\frac{1}{p}}$$

**GOSPA:**

$$d_p^{(c,\alpha)}(X, Y) \triangleq \left( \min_{\pi \in \Pi_{|Y|}} \sum_{i=1}^{|X|} d^c(x_i, y_{\pi(i)})^p + \frac{c^p}{\alpha} (|Y| - |X|) \right)^{\frac{1}{p}}$$

Wobei  $X$  und  $Y$  die betrachteten Sets von Targets,  $|X|$  und  $|Y|$  deren Kardinalität und  $d^c(x_i, y_{\pi(i)})^p$  den Lokalisationsfehler, beziehungsweise die Entfernung zwischen den korrekt detektierten Targets beschreibt.

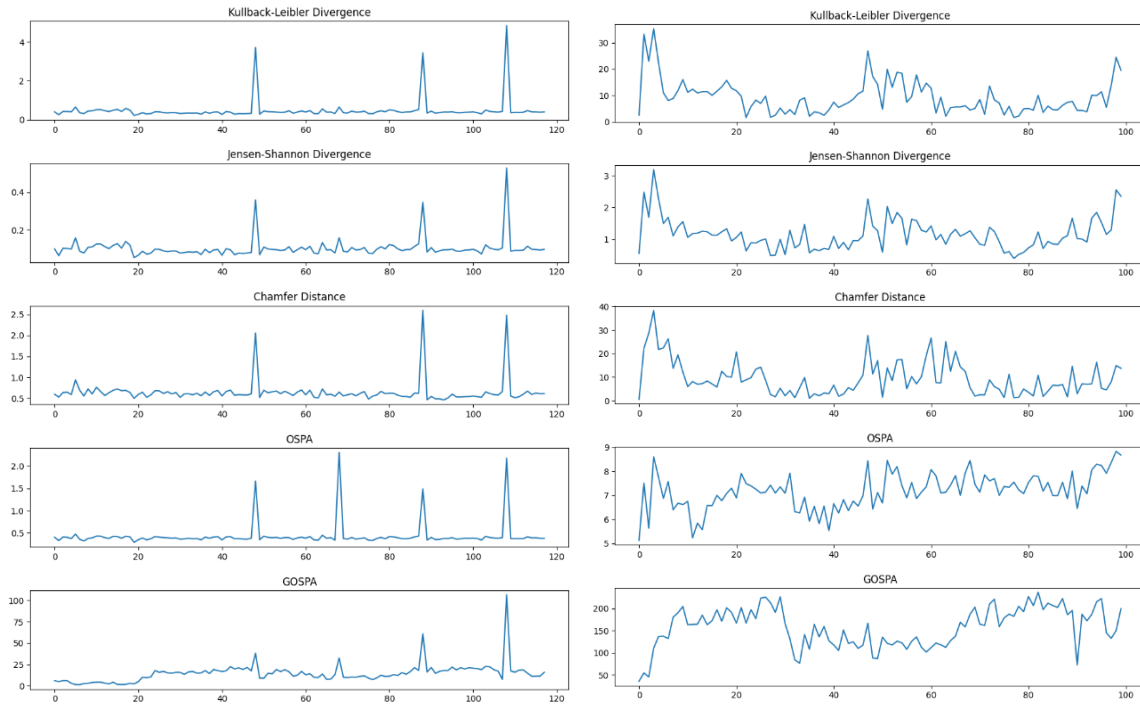
Die Grundsätzliche Fähigkeit der genannten Metriken wurde zunächst anhand simulierter Diskrepanzen zwischen einer Messung von Objektpunkten und den Elementen der HD Karte evaluiert. Dafür wurden die Elemente der HD Karte zunächst zur Simulation von Messdaten mit Rauschen versehen, um deren Position leicht zu verändern. Weiterhin wurden im Verlauf der Testsequenz vereinzelte Elemente für die Messung im Gegensatz zur Karte entfernt oder hinzugefügt und das Verhalten der untersuchten Metriken auf diese Diskrepanzen dokumentiert. Ein Plot der Werte der Plausibilisierungsmetriken über die komplette Testsequenz der Kronacher Innenstadt inklusive der manuell eingebrachten Störfaktoren ist in Abbildung 21 (links) aufgeführt.

Die bei der Testfahrt eingebrachten Störungen beinhalteten zum einen ein Grundrauschen auf den Objektpositionen mit zufälligen Werten zwischen 0.0 und 0.5m in x, y und z Richtung.

Weiterhin wurden bei

- Schritt 50: 5 zufällige Objekte innerhalb der Reichweite des aktuellen Frames zur simulierten aktuellen Messung hinzugefügt
- Schritt 70: 5 Objekte entfernt
- Schritt 90: 5 Objekte hinzugefügt und 5 entfernt
- Schritt 110: 10 Objekte hinzugefügt und 10 entfernt.

Wie aus den Graphen ersichtlich, wird das allgemeine Grundrauschen auf den Objektpositionen durch alle Metriken angemessen wiedergespiegelt. Außerdem lassen sich bei allen untersuchten Verfahren Ausreißer zu den Zeitpunkten der eingebrachten Störfaktoren beobachten, was generell für die Fähigkeit aller Metriken zur Quantisierung von Diskrepanzen zwischen Messungen und Kartenelementen spricht. Weiterhin wird ersichtlich, dass das Entfernen von Elementen bei Schritt 70, verglichen mit den restlichen Verfahren, anscheinend deutlich größeren Einfluss auf die OSPA Werte mit sich bringt.



**Abbildung 21: Verlauf der Plausibilisierungsmetriken über die Testsequenz in der Innenstadt von Kronach unter dem Einfluss unterschiedlicher simulierter Störfaktoren (links) und für reale Messdaten (rechts)**

Anschließend wurde die Performanz der genannten Plausibilisierungsmethoden hinsichtlich einer Verbesserung der generellen Lokalisationsgüte durch das Matching von Sensorlandmarken und Kartenobjekten validiert. In diesem Zusammenhang wurden die in UAP 2.3.2. beschriebenen Methoden zur Extraktion von Objektmittelpunkten aus den Sensordaten des Versuchsträgers genutzt um die Landmarken im aktuellen Sichtfeld des Fahrzeugs zu generieren. Dabei soll mittels Punktwolkenregistrierung zu den Objekten der HD Karte, ausgehend von der jeweils letzten Pose des Fahrzeugs, die aktuelle Pose innerhalb der Karte geschätzt werden. Zur Posenschätzung wurde in diesem Fall das Verfahren *Iterative Closest Points* verwendet. Da eine bestimmte Mindestanzahl an Punkten notwendig ist, um eine angemessene Posenschätzung durchzuführen, wurden in unseren Betrachtungen nur Frames berücksichtigt, in denen pro Punktwolke mindestens 6 Objekte vorhanden waren. Der mittlere Translationsfehler der sich daraus durch die Registrierung der semantischen Landmarken mit der HD Karte über die Testsequenz ergibt, beträgt 0.60 m. Abbildung 21 rechts zeigt in diesem Zusammenhang das Verhalten der jeweiligen Plausibilisierungsmetriken im Laufe der Testfahrt.

Um die allgemeine Lokalisationsgenauigkeit zu verbessern, ist es sinnvoll, Frames zu detektieren, in denen eine große Diskrepanz zwischen Karte und Messung besteht und die Posenschätzung fehlschlägt. Es müssen somit angemessene Schwellwerte für die Metriken gefunden werden, ab denen die Fähigkeit zur robusten Lokalisation als kritisch eingestuft wird und dadurch auf ein Rückfallsystem zur Posenbestimmung zurückgegriffen wird. Im betrachteten Anwendungsfall wurden für den Verlauf der Testsequenz zunächst die Wertebereiche der Plausibilisierungsmetriken auf ein Intervall von 0 bis 1 normiert und anschließend der Threshold zur Einstufung der Ungültigkeit in diesem Bereich variiert. Der durchschnittliche Transformationsfehler der daraus resultiert, in dem als ungültig eingestufte Transformationen vernachlässigt wurden ist in Abbildung 22 pro Metrik grafisch dargestellt. Die x-Achse stellt in diesem Zusammenhang den jeweiligen Schwellwert und die y-Achse den daraus resultierenden durchschnittlichen Translationsfehler dar.

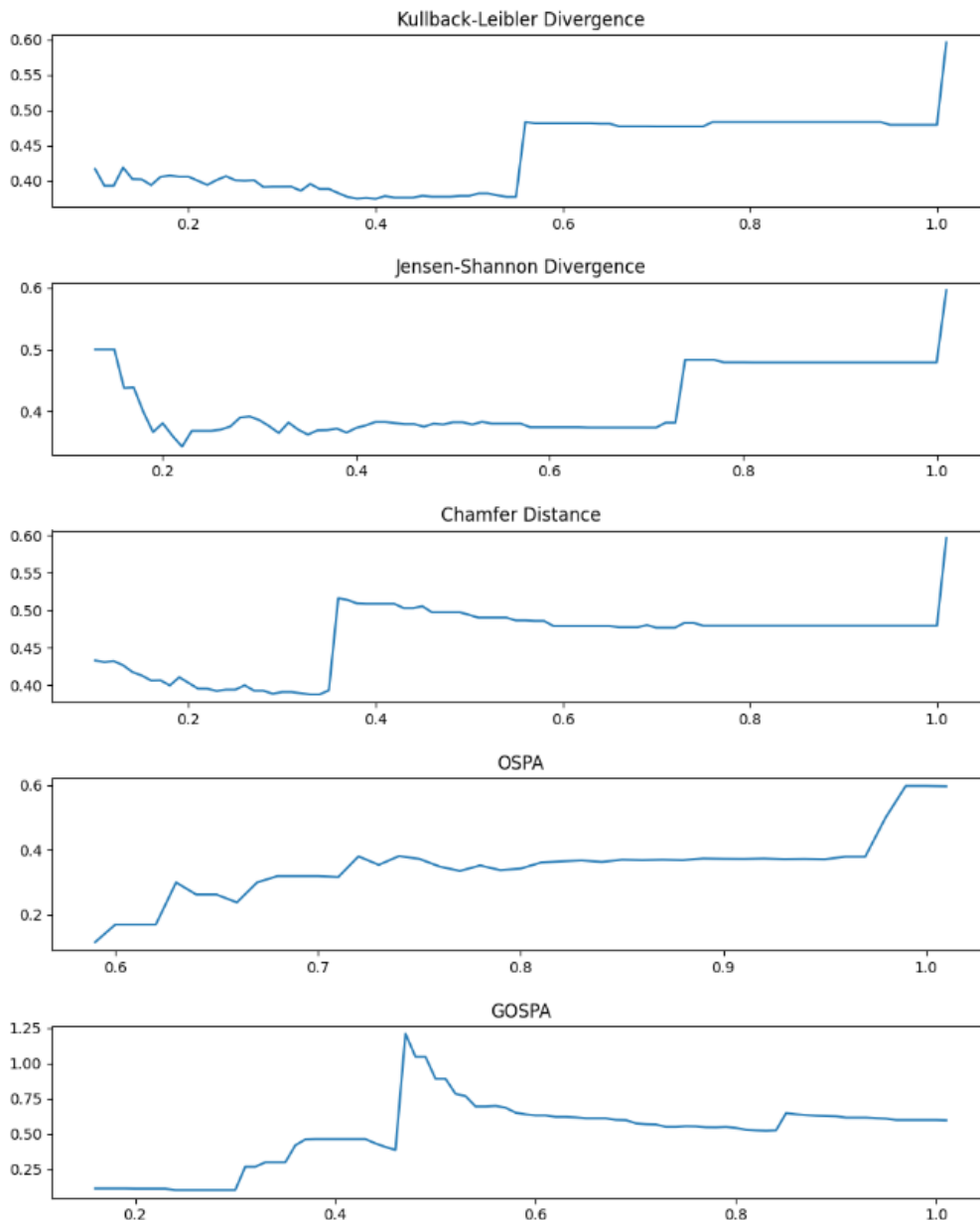


Abbildung 22: Verlauf des resultierenden durchschnittlichen Translationsfehlers bei Anwendung der betrachteten Plausibilisierungsmethoden für Schwellwerte zwischen 0 und 1 auf der Testsequenz der Kronacher Innenstadt

Für die Methoden Kullback-Leibler Divergence, Jensen-Shannon Divergence und Chamfer Distance sind in diesem Zusammenhang deutlich die Schwellen sichtbar, ab denen die ungültigen Transformationen deutlich Einfluss auf den durchschnittlichen Translationsfehler nehmen. Für GOSPA ist diese Schwelle etwas weniger ausgeprägt, wohingegen sich bei OSPA eher ein kontinuierlicher Anstieg des Fehlers mit steigendem Threshold feststellen lässt. Bei der Auswahl eines geeigneten Wertes für den Threshold ist es dabei wichtig, diesen nicht zu gering anzusetzen, da andernfalls eventuell nur eine geringe Anzahl an Frames als valide eingestuft werden. Dies spiegelt sich beispielsweise für Werte bis 0.35 für GOSPA wider, bei denen der durchschnittliche Translationsfehler zwar lediglich 0.10 m beträgt, für die Berechnung jedoch nur ein einzelner Frame als gültig ausgewählt wurde.

Für einen angemessenen Vergleich der Plausibilisierungsmetriken wurden deshalb jeweils Schwellwerte ausgewählt, die ungefähr die gleiche Anzahl an ungültigen Frames erzeugen und der daraus resultierende durchschnittliche Translationsfehler pro Methode berechnet. Die Ergebnisse dafür sind in Tabelle 9 zusammengefasst.

**Tabelle 9: Verbesserung des durchschnittlichen Translationsfehlers auf der Testsequenz durch Filtern ungültiger Frames für bestimmte Schwellwerte der untersuchten Plausibilisierungsmetriken**

	<i>Unfiltered</i>	<i>KLD</i>	<i>JSD</i>	<i>CD</i>	<i>OSPA</i>	<i>GOSPA</i>
<i>Threshold</i>	1.0	0.55	0.70	0.35	0.95	0.82
<i>mTE (m)</i>	0.60	0.37	0.37	0.39	0.37	0.52

Wie aus der Tabelle ersichtlich wird, lassen sich mit Hilfe der Methoden zur Plausibilisierung Diskrepanzen zwischen den detektierten Objekten und der HD Karte ausfindig machen und quantisieren, wodurch die allgemeine Lokalisationsgüte verbessert werden kann. Für alle untersuchten Methoden konnte der ursprüngliche Lokalisationsfehler von 0.60m verbessert werden, was für eine generelle Gültigkeit aller Verfahren spricht. Bei der Definition adäquater Schwellwerte, eigneten sich die Metriken Kullback-Leibler Divergence, Jensen-Shannon Divergence und Chamfer Distance im Gegensatz zu OSPA und GOSPA besser, da diese direkt aus den geplotteten Graphen ersichtlich sind. Dabei konnte der Translationsfehler um fast 40% verringert werden. Für OSPA hingegen, gestaltete sich die Suche nach einem passenden Schwellwert etwas schwieriger. Diese konnte letztendlich jedoch durch die Detektion lokaler Minima im Fehlerplot trotzdem umgesetzt und dadurch vergleichbare Ergebnisse zu den vorhergehenden Methoden erreicht werden. Alleine für GOSPA konnte durch die vorgestellte Methode zur Schwellwertdefinition kein geeigneter Wert gefunden werden, um vergleichbare Ergebnisse mit den anderen Metriken zu erzielen, weshalb hier nur eine Reduktion des Translationsfehlers auf 0.52m möglich war. In diesem Zusammenhang wäre es gegebenenfalls sinnvoll, tiefergehende Tests bezüglich der Performanz in Abhängigkeit von einstellbaren Parametern und Funktionen durchzuführen.

Für eine allgemeingültige Aussage zur Fähigkeit der untersuchten Verfahren und der Bestimmung der dazugehörigen Schwellwerte, ist es notwendig, diese anhand einer größeren Anzahl an Testsequenzen zu validieren. Die dargestellten Tests und Ergebnisse zeigen jedoch, dass durch die Anwendung geeigneter Verfahren zur Plausibilisierung der Karte und der aktuellen Messungen, die Lokalisationsgenauigkeit deutlich verbessert werden kann.

#### **UAP 2.3.4 Datenaggregation**

Parallel mit den Arbeiten in den anderen APs und UAPs in TP 2 und basierend auf deren Ergebnissen hat Valeo eine aggregierte Karte erstellt, welche die Daten aus der Navigationskarte und den aktuellen Informationen aus den Sensorkarten zusammenfasst. Hierzu wurden geeignete Algorithmen nach einer umfassenden Literaturrecherche ausgewählt und implementiert. Des Weiteren wurde eine geeignete Visualisierung für die einzelnen Informationen der Sensoren, der einzelnen Kartentypen (Sensor-/Navigationskarte) und einer fusionierten Karte (UAP 2.3.3) implementiert. Hierbei ist es bereits möglich die Elemente der HD-Karte farblich gemäß ihrer Klassenzugehörigkeit, entweder als Punkt oder Linienzug, gemeinsam mit aktuellen LiDAR-Punktwolken und der präzisieren, beziehungsweise ground truth Fahrzeugpose darzustellen. Das Visualisierungstools ist in Abbildung 23 zu sehen.

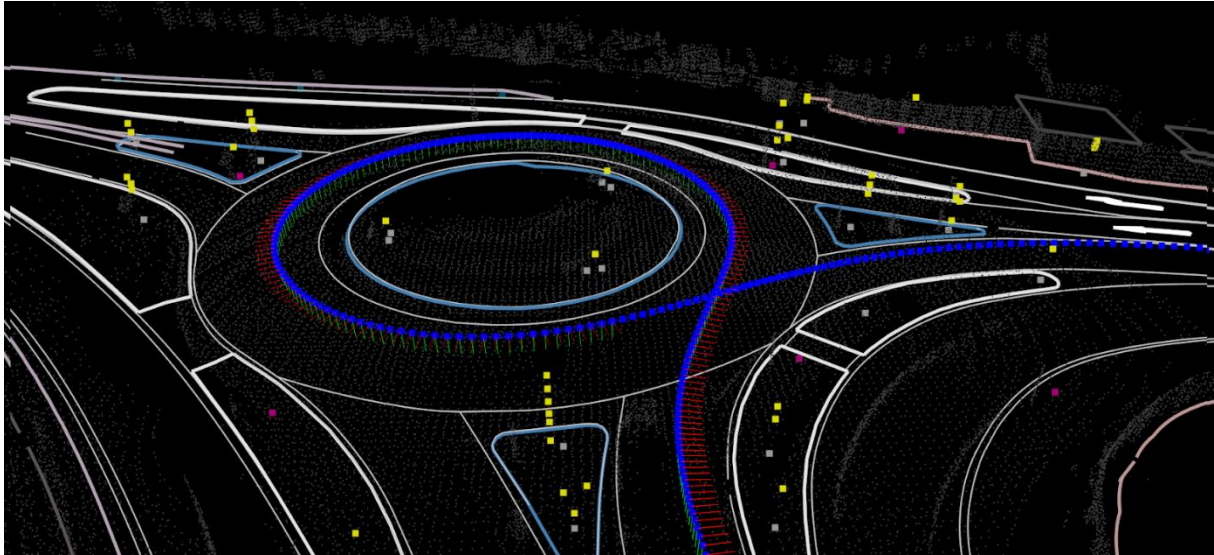


Abbildung 23: Zwischenstand (2021) des Visualisierungstools zur fusionierten Darstellung von HD-Karte, Posen und Sensormessungen

Um die allgemeine Perzeption des lokalen Umfelds des Egofahrzeugs noch zu erweitern, beschäftigte sich Valeo auch mit dem Einbinden von prozessierten Sensordaten, wie Objektdetektion, Instanzsegmentierungen und gegebenenfalls semantischer Information, sowie die farblich kodierte Darstellung der semantischen Punktwolkeninformation, die Möglichkeit zum Filtern bestimmter Objektklassen zur weiteren Verarbeitung der Daten, das Generieren und Anzeigen der Objektcluster aus den semantischen Punktwolken und eine Erweiterung der HD Kartenrepräsentation durch Modellierung unterschiedlicher Kartenelemente als 3D Objekte. Eine exemplarische Demonstration der jeweiligen Erweiterungen ist in Abbildung 24 dargestellt.



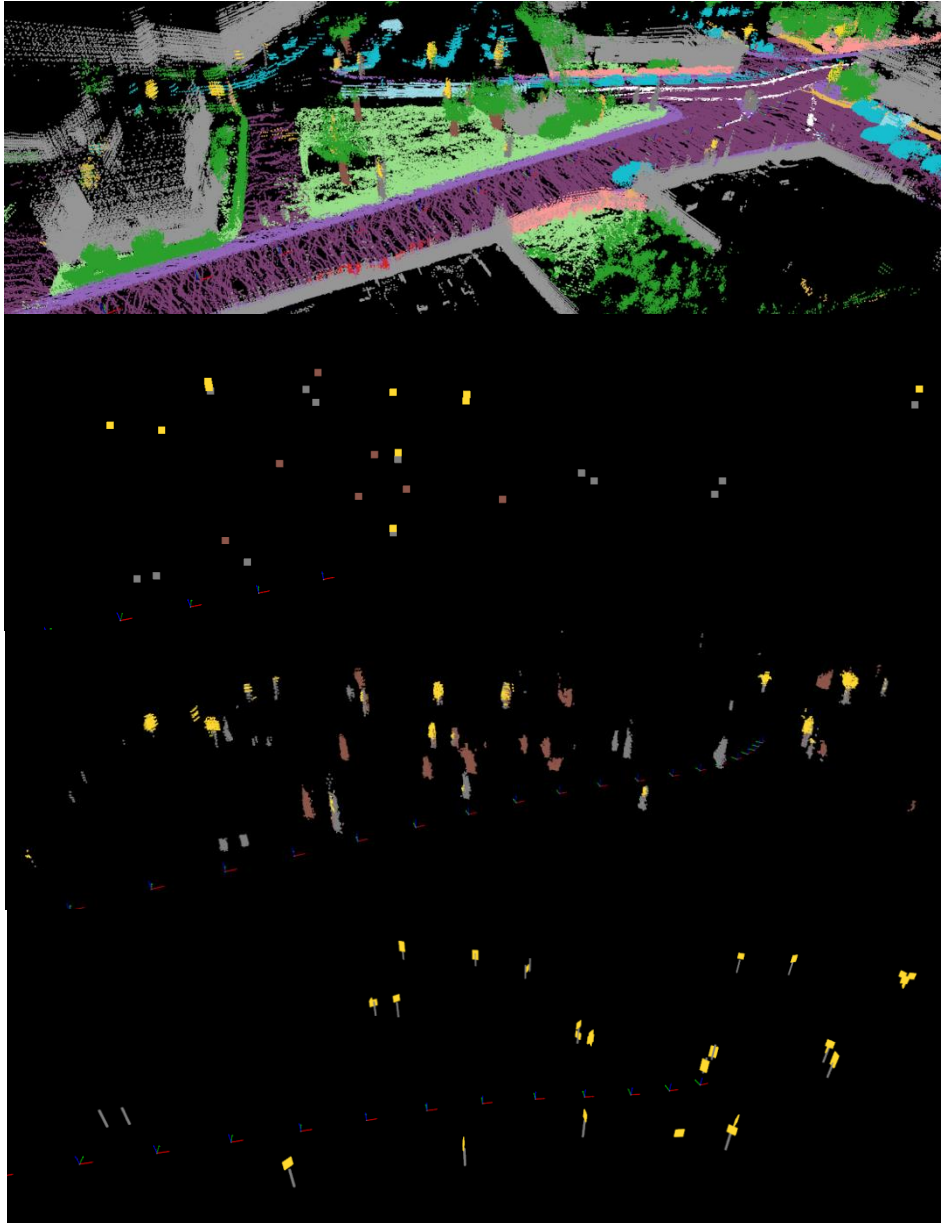


Abbildung 24: Erweiterungen des Visualisierungstools durch (v.o.n.u.):  
1) Farblich kodierte Darstellung der semantischen Objektklassen,  
2) Filterung der Punktwolken nach Objektklassen,  
3) Darstellung von geclusterten Objekten,  
4) 3D Modellierung einzelner HD Kartenelemente

## Teilprojekt 3: Konzepte und Pilotanwendungen

Das TP 3 ist in vier Arbeitspakete und 13 Unterarbeitspakete untergliedert.

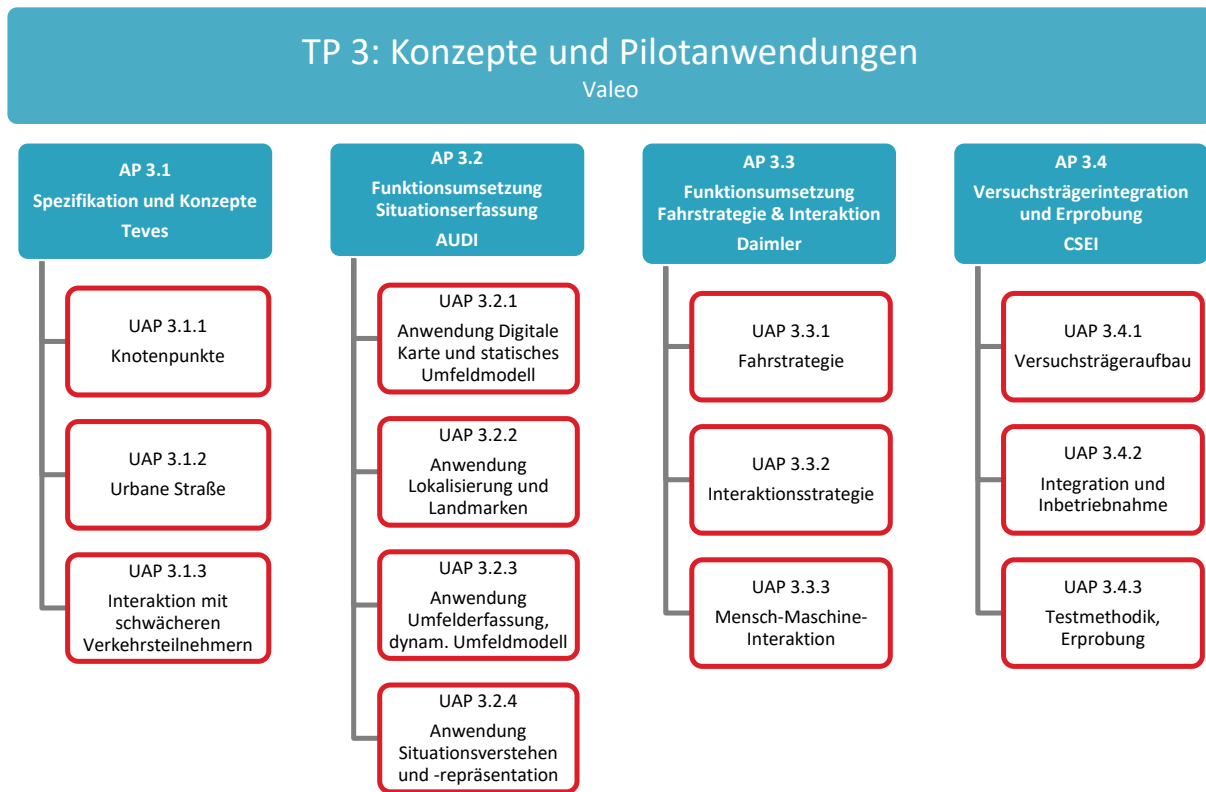


Abbildung 25: Struktur des Teilprojekt 3 zum Zeitpunkt der Antragstellung (Firmennamen hat sich bei Daimler (jetzt: Mercedes Benz) zwischenzeitlich geändert.)

Valeo war an allen Arbeitspaketen beteiligt, außer am UAP 3.3.2. Zudem hat VALEO die Leitung des TP 3 ausgeführt.

### AP 3.1: Spezifikation und Konzepte

Verantwortung: Continental Teves AG & Co. oHG / Valeo Schalter und Sensoren GmbH

Das AP 3.1 wurde gemeinschaftlich erarbeitet und zusammen mit dem Meilenstein 1 abgeschlossen. Die Ergebnisse werden im Folgenden analog zum Meilenstein 1 (MS 1) wiedergegeben.

### Situationskatalog, Anforderungen, Spezifikation, Systemausprägung und Systemverhalten

MS 1 umfasst die folgenden im Rahmen von TP 3 erarbeiteten Ergebnisse:

- Bereitstellung eines Situationskataloges
- Spezifikation der Systemausprägung und des Systemverhaltens
- Erstentwurf Spezifikation für Umfeldwahrnehmung, Lokalisation und Situationsrepräsentation für AP 3.2
- Anforderungen an die Teilprojekte TP 1, TP 2

Der Meilenstein 1 beinhaltet v.a. eine möglichst vollständige Spezifikation von Systemen zur automatisierten Fahrzeugführung im urbanen Umfeld. Im Rahmen von AP 3.1 „Spezifikation und Konzepte“ wurden hierzu Szenarien wie die Fahrt über Knotenpunkte und Verbindungsstrecken, sowie die Interaktion mit VRUs eingehend betrachtet. Neben der eigentlichen Systemspezifikation wurde in

diesem Arbeitspaket letztendlich der [Situationskatalog](#) mit relevanten Fahrszenarien erstellt. Aufbauend hierauf wurde eine Methode zur [Spezifikation der Systemausprägung](#) und des [Systemverhaltens](#) erarbeitet und beschrieben. Aus diesen wiederum lassen sich [Anforderungen an Teilprojekt 1 „Umfelderfassung und Situationsverstehen“](#) und [Teilprojekt 2 „Digitale Karten und Lokalisation“](#) ableiten. Weiterhin wurden Testszenarien und Testmetriken definiert, sowie [Vorarbeiten für das AP 3.2 „Funktionsumsetzung Situationserfassung“](#) geleistet.

@CITY setzt konsequent auf den Ergebnissen aus den Projekten UR:BAN und PEGASUS auf. Zur Beschreibung von Szenarien in Form von „logischen Szenarien“ wurden in PEGASUS die Beschreibungssprachen Open Drive (für stationäre Umfänge) und Open Scenario (für bewegte Umfänge) verwendet. Das Open Drive-Format kommt auch in @CITY wieder zum Einsatz. Im TP 1 werden die Szenarien darüber hinaus ergänzend mit Hilfe von Fluss- und Ablaufdiagrammen beschrieben. Die bestehenden Arbeiten und Ergebnisse aus dem @CITY-TP 1 und PEGASUS wurden in AP 3.1 berücksichtigt und soweit wie möglich integriert und erweitert.

Auf die einzelnen Inhalte und erzielten Ergebnisse wird nachfolgend detailliert eingegangen und die Vorgehensweise kurz erläutert. In einem ersten Schritt wurde eine umfassende Szenarienbeschreibung und Systemspezifikation für Kreuzungen erstellt. Aufbauend auf dieser wurde die Beschreibungs- und Spezifikationsmethodik für Kreisverkehre, urbane Straßen und die Interaktion mit schwächeren Verkehrsteilnehmern erweitert.

Alle im Rahmen von MS1 bearbeiteten Inhalte und Ergebnisse wurden in einem Dokument<sup>15</sup>, welche im Rahmen von AP 3.1 erarbeitet wurden, festgehalten. Das Dokument beschreibt einleitend die Spezifikationsmethodik und die Szenarienklassifikation. Im nächsten Kapitel des Dokuments werden die Arbeitsschritte zur Beschreibung von Knotenpunkten erläutert und eine generische Methode zum Erstellen eines Situationskatalogs mit relevanten Fahrszenarien beschrieben. Hieraus werden anschließend eine Systemspezifikation und erste Anforderungen an die anderen Teilprojekte abgeleitet. Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die genannten Anforderungen keine detaillierten und vollständigen Anforderungslisten darstellen. Diese galt es in den anderen Teilprojekten im Detail auszuarbeiten. In den weiteren Kapiteln werden die Arbeitsschritte für die urbanen Straßen und die Interaktion mit schwächeren Verkehrsteilnehmern beschrieben. Weitere Details sind dem oben aufgeführten Dokument, sowie den Excel-Tabellen<sup>16</sup> (auf dem @CITY-Projektserver, nur für Projektpartner einsehbar), welche die Szenarienbeschreibung und Ausführungen zur Systemausprägung enthalten, zu entnehmen. Nachfolgend, beginnend mit den Kreuzungen, werden Inhalte und Ergebnisse, welche Bestandteile des MS 1 sind auszugsweise vorgestellt.

<sup>15</sup> „Dokumentation\_Situationsbeschreibung\_V3.0\_2018\_11\_05\_white\_Version.docx“

<sup>16</sup> „atCITY\_Szenarienbeschreibung\_und\_Phasenmodell\_UrbaneStrassen“,  
 „atCITY\_Szenarienbeschreibung\_und\_Phasenmodell\_Kreisverkehre“,  
 „atCITY\_Szenarienbeschreibung\_und\_Phasenmodell\_Kreuzungen“,

## Urbane Knotenpunkte - Kreuzungen

### Spezifikationsmethodik und Nominalverhalten

#### Struktur der Spezifikationsmethodik

Die Spezifikationsmethodik von @CITY baut auf die im Förderprojekt UR:BAN erstellte Szenarienbeschreibung auf. Im Rahmen des @CITY Arbeitspaketes „Spezifikation und Konzepte“ liegt der Fokus auf der Erarbeitung benötigter Merkmale zur umfassenden Spezifikation des betrachteten Szenarios. Die Spezifikation soll hierbei eine detaillierte Beschreibung und Attributierung komplexer urbaner Räume berücksichtigen. Hierfür wurden die Komponenten der Spezifikationsmethodik bestehend aus einzelnen Merkmalen, die autonomes Fahren in der Stadt beeinflussen, in drei Säulen eingeteilt: statische Merkmale, dynamische Merkmale und die Fahrerbeschreibung. Vorab erfolgt die Grobklassifikation, die einen allgemeinen Überblick vermittelt. Zusätzlich enthält die Spezifikation eine Beschreibung der Systemgrenzen des automatisierten Fahrsystems in Form einer Attributierung der Systemausprägung.

Die Grobklassifikation beinhaltet Merkmale und Attribute, die einen ersten Überblick über das Szenario vermitteln sollen. Das zu beschreibende Szenario erhält zur Abgrenzung gegenüber anderen Spezifikationen eine eigene ID und einen Kurztitel. Des Weiteren wird festgelegt, innerhalb welches Teilprojekts (TP) das Szenario spezifiziert wird, welcher Projektpartner die Spezifikation vornimmt und wer als Verantwortlicher bzw. Ansprechpartner für die Spezifikation des Szenarios fungiert.

Neben diesen allgemeinen Informationen werden Attribute festgelegt, die die wichtigsten statischen und dynamischen Elemente des Szenarios beschreiben. Für einen ersten Überblick werden bei den dynamischen Elementen die Art des Manövers (z.B. Abbiegen nach links), die Verkehrsdichte (z.B. geringe Verkehrsdichte) und die Verkehrsteilnehmer (z.B. EGO, Radfahrer, LKW,...) festgehalten. Die statischen Elemente der Grobklassifikation sind die Geometrie des Straßentyps (z.B. X-Kreuzung, T-Kreuzung, ...) und die für das Szenario geltende Höchstgeschwindigkeit.

Die restlichen Merkmale der Grobklassifikation beschreiben die Fahrfunktion. Es wird angegeben, auf welcher Anforderungsebene (taktisch, strategisch, operativ) die Fahrfunktion angesiedelt ist. Außerdem hält die Grobklassifikation fest, welche Interventionstiefe (Automationslevel) die automatisierte Fahrt während des Szenarios hat, und ob es zu einem zeitlichen Verlauf, also einem Wechsel der Automationsstufen während des Szenarios, kommt.

Im Fall einer Kreuzung etwa beinhaltet die statische Beschreibung alle Merkmale und Attribute der Kreuzung bzw. zumindest des Bereiches, welcher von Interesse und nicht von dynamischer Natur ist (wie beispielsweise herrschende Lichtverhältnisse, Aussagen über die Witterung und das aktuelle Verkehrsgeschehen). Im Zuge der Definition von statischen Komponenten der Spezifikationsmethodik wurde der Fokus auf den für den Fahrer sichtbaren Bereich und die vom Fahrzeug genutzten Elemente der Verkehrsinfrastruktur gesetzt. Hierbei wird Bezug auf die Standardwerke der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) genommen.

Abbildung 26 zeigt exemplarisch eine mehrspurige, vierarmige Kreuzung, anhand derer sich eine Vielzahl an statischen Merkmalen und Attributen bereits erkennen lassen. Abbildung 27 zeigt dieselbe Kreuzung, wobei die Darstellung zum Vergleich um dynamische Merkmale erweitert wurde. Wesentliche statische Merkmale und Attribute einer Kreuzung sind die Anzahl der Kreuzungsarme, die Anzahl der Fahrstreifen, die Art der Fahrstreifen, Fußgängerüberwege, Radwege, Randsteine, Beschilderungen, Lichtsignalanlagen, Oberflächenbeschaffenheiten, Objekte, Landmarken, usw. usf.

Um eine einheitliche Situationsbeschreibung für eine Vielzahl an unterschiedlichen Kreuzungen zu erhalten, wurden Merkmale erarbeitet, die die statischen Aspekte einer beliebigen Kreuzung hinreichend beschreiben.

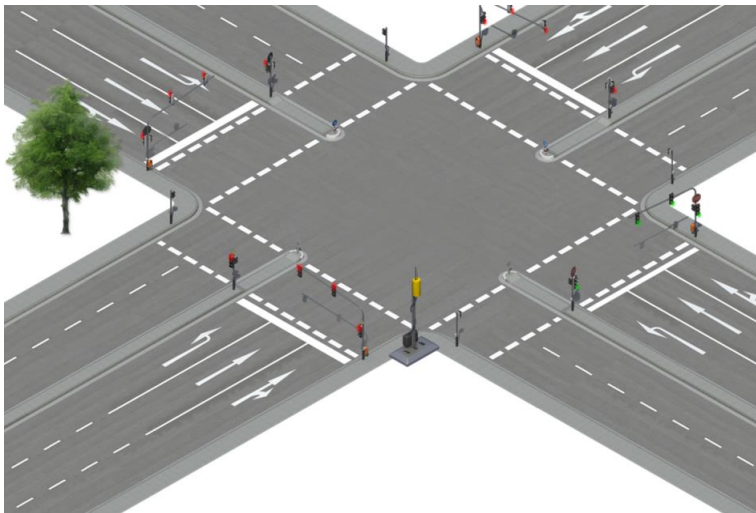


Abbildung 26: Vierarmige, mehrspurige Kreuzung mit zahlreichen statischen Spezifikationsmerkmalen

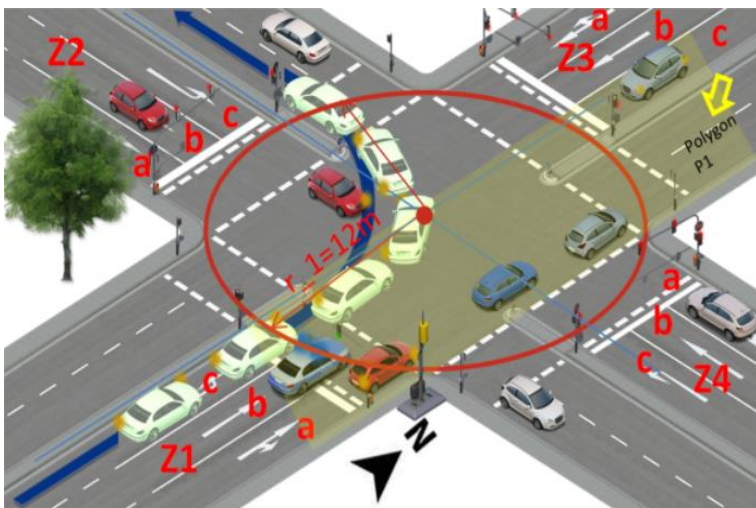


Abbildung 27: Gleiche Kreuzung wie in Abbildung 26, erweitert um dynamische Merkmale

Tabelle 10 zeigt verwendete statische Merkmale der Spezifikationsmethodik, sowie die Möglichkeit der Beschreibung mittels OpenDRIVE.

Tabelle 10: Auflistung der statischen Merkmale der Spezifikationsmethodik.


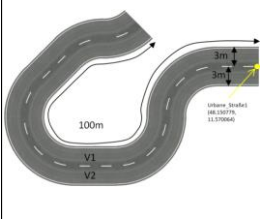
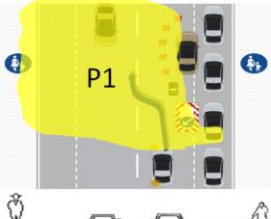
Merkmale	Erläuterung	OpenDRIVE
Entwurfselemente	Generelle Klassifikation des Untersuchungsbereichs nach Art, Knotenform, Grundform, räumlicher Ausschnitt und sichtbare Bereiche	planView, elevation, lanes, junction, lateral Profile
Dimensionierung	Beschreibung zur Dimensionierung der Entwurfselemente nach Dimensionierung, Zufahrtsbereiche, Netzwerktopologie, Verkehrsregeln, Markierungen und Führung von FG, RF, SW und RAEE	planView, elevation, lanes, junction, lateralProfile
Straßentyp(en)	Definition des vorliegenden Straßentyps nach RAS-K und nach RASt, FGSV	planView, lanes
Zufahrtsbereiche	Definition der Art des Sortierbereichs, der Anzahl der Fahrstreifen, der Verbindungsfunktion (z.B., des Knotenpunktes) und der Markierungen (Art und Lage)	junction, lanes, planView, signals
Besondere Merkmale	Angabe über die Führung von Elementen mit besonderer Bedeutung für Fahrmanöver	lanes, signals



Einschränkung(en) und Sichtbarkeit(en)	Beschreibung der statischen Einschränkung(en) für die Durchführung von Fahrmanövern. Zusätzlich eine Beschreibung der generellen Sichtbarkeit(en): räumliche und zeitliche Eingrenzung der Sichtbarkeit	lanes, objects, elevation
Straßendeckschicht und Fahrbahnzustand	Bestandteile (Materialien) der untersuchten Fahrbahnen und Wege, sowie der vorliegende Zustand und Qualität der Fahrbahn und der Markierungen	surface
Verkehrssteuerung und -regeln	Aufzählung sämtlicher Verkehrsregeln und Lichtsignalanlagen (LSA); mit möglichen Angaben der zugehörigen Schaltungsphasen	junction, signals, signal types
Konfliktfläche	Abgeleitete Merkmale aus der Entwurfselementgestaltung (Geometrie): Konfliktpunkte, Konfliktfläche, Schnittpunkte und -flächen mit Rad- und Fußgängerwegen, Komplexität	fehlend
Objekte und Landmarken	Aufzählung sämtlicher Objekte und Landmarken in der Form [ID, Name, Geometrie, Geometrieklasse, Textur, Sem. Verknüpfung, Bezug zu relevanten Entwurfselementen (Ontologien), Spezifikation]	objects
Netzwerktopologie (aus Dimensionierung)	Angabe der jeweiligen Konnektivität $\lambda(u, v)$ je Zufahrt Z1 bis Zn, sowie Fahrstreifen a bis z	planView, elevation, lanes, junction, lateralProfile

Die in Tabelle 10 grau markierten Merkmale lassen sich in weitere Merkmale untergliedern. Tabelle 11 zeigt dies für das Merkmal „Entwurfselemente“ inkl. möglicher Attribute.

**Tabelle 11: Weitere Merkmale und Attribute zum übergeordneten Merkmal „Entwurfselemente“**

Merkmal	Art	Grundform	räumlicher Ausschnitt	Sichtbarer Bereich
	Verkehrsinfrastruktur: Straßenabschnitt, Verbindungsstraße, urbane Straße, Autobahnzufahrt	Grundform der Verbindungsstraße gem. Definition	Geokoordinaten: Name (Längengrad, Breitengrad), Breite b, Länge l	Ein Polygon oder Volumen wird definiert, das den geschätzten sichtbaren Bereich definiert; Ausgehend von der Position des EGO-Fahrzeugs
Erläuterung				
Beispiel	urbane Straße	Grundform 1: Einfache Verbindungsstraße	Urbane_Straße1 (N48.150779, E11.570064), b = 6 m, l=100 m	Sichtbarer Bereich: Polygon 1; Tupel P:= (P1,P2,...,Pn)

Die dynamische Beschreibung beinhaltet alle Merkmale und Attribute von Kreuzungen, die nicht statisch, sondern veränderlich sind. Vergleiche hierzu Tabelle 12 (Nomenklatur gem. externer Dokumentation<sup>17</sup>). Dies gilt sowohl für einen Zeithorizont, der nur Sekunden bzw. Millisekunden umfasst, als auch für einen Zeitraum über mehrere Minuten bis Stunden. Damit gruppiert die dynamische Beschreibung alle Merkmale einer Kreuzung, die permanent über die Fahrzeugsensorik zu erfassen sind (im Gegensatz zu den statischen Merkmalen, die auch in einer digitalen Karte hinterlegt und mit der Fahrzeugsensorik bei Anfahrt auf die Kreuzung plausibilisiert werden können).

**Tabelle 12: Auflistung der dynamischen Merkmale samt Kreuzungsbeispiele**

Merkmal	Beispiele	
Umweltbedingungen	Witterung	Sonnenlicht, Regen, Schnee
	Straßenzustand	Trocken, mit Laub bedeckt
	Lichtverhältnisse	Sonnig, Dunkelheit
Topologie	Baustelle/Behinderung	Ende eines Fahrstreifens aufgrund einer Baustelle

<sup>17</sup> „Dokumentation\_Situationsbeschreibung\_V3.0\_2018\_11\_05\_white\_Version.docx“ und „2018-07-05-Glossar-v3.xlsx“



Objekte	Objekte auf der Fahrbahn / Behinderung	Fußball
Detaillierte Teilnehmerbeschreibung	Art der Verkehrsteilnehmer	> ID:1 (Ego-Fahrzeug); > ID:2 (PKW); > ID:3 (PKW); > ID:4 (LKW); > ID: 5 (LKW)
	Geschwindigkeit (in km/h)	> ID1: 10; > ID2: 50; > ID3: 50; > ID4: 40; > ID5: 0
	Beschleunigung/Verzögerung (in m/s <sup>2</sup> )	> ID1: 3; > ID2: 0; > ID3: 0; > ID4: 0; ID5: 0
	Abstand (in m)	>ID1-ID2: 10; >ID1-ID3: 18; >ID1-ID4: 15; >ID1-ID5: 12
	PET (in s)	10 (mit verdecktem ID6)
	Spurzuordnung	ID1: Z3-c; ID2: R1; ID3: R1; ID4: R2; ID5: Z1-c
	Position bezogen auf die Kreuzung	ID1: innerhalb des Kreuzungsbereichs; ID2: innerhalb des Kreuzungsbereichs; ID3: außerhalb des Kreuzungsbereichs; ID4: innerhalb des Kreuzungsbereichs; ID5: innerhalb des Kreuzungsbereichs
	Position bezogen auf Ego-Fahrzeug	ID2: daneben; ID3: daneben/dahinter; ID4: daneben; ID 5: davor
	aktuelle Richtung bezogen auf Ego-Fahrzeug	ID2: positiv X-Richtung; ID3: positiv X-Richtung; ID4: positiv X-Richtung; ID5: negativ X-Richtung
	Anzeigen der Fahrabsicht	ID1: Linksabbiegerspur und Blinker links; ID5: Linksabbiegerspur und Blinker links
	prädizierte Richtung (Extrapolation der Trajektorien, Ort und Zeit)	ID1: Fahrstreifenwechsel nach links; ID2: Geradeausfahrt; ID3: Geradeausfahrt; ID4: Geradeausfahrt; ID5: Fahrstreifenwechsel nach links
Verdeckung	Grund der Verdeckung	Entgegenkommender LKW auf Linksabbiegerspur (ID5)
	Verdeckte Kreuzungsmerkmale	Verkehrsteilnehmer auf Fahrstreifen Z1-a und Z1-b
Verkehrssteuerung/Vorfahrt		Z1-a:c und Z3-a:c LSA: grün
Besondere Situation		Polizeifahrzeug mit Blaulicht auf Z2-a
Konfliktsituation		GV1, Nr. 211 und 212

Dynamische Merkmale, die ihren Zustand nur innerhalb von Minuten oder Stunden verändern können (z.B. Umweltbedingungen, Topologie), bedeuten für das Überqueren einer Kreuzung in der Regel, dass sie ihren Zustand während dieses Vorgangs beibehalten. Sie sind zwar dynamisch, aber „träge“. Somit genügt eine vergleichsweise niederfrequente Erfassung dieser Merkmale. Im Gegensatz dazu stehen die „hochdynamischen“ Merkmale (z.B. Verdeckung, Verkehrssteuerung/Vorfahrt, Teilnehmerbeschreibung oder besondere Situationen), die ihren Zustand im (Milli-)Sekundenbereich verändern und eine relativ hochfrequente Abtastung erfordern.

Die dynamischen Merkmale lassen sich im Allgemeinen unterteilen (siehe Abbildung 28) in Topologie spezifische Merkmale, deren Umfang an die jeweilige Topologie (z.B. die einer Kreuzung) angepasst ist, und Topologie unspezifische Merkmale, deren Umfang unabhängig von der jeweiligen Topologie und identisch für alle Anwendungsfälle ist. Auf die detaillierte Beschreibung der einzelnen Merkmale wird in der schon weiter oben erwähnten Dokumentation zur Situationsbeschreibung eingegangen.

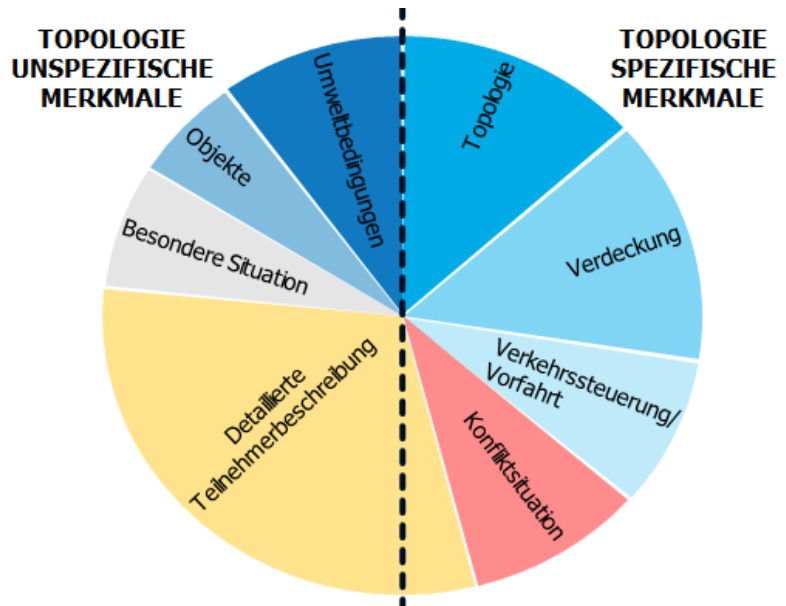


Abbildung 28: Unterteilung der dynamischen Merkmale

Neben den statischen und dynamischen Merkmalen bildet die Fahrerbeschreibung die dritte Säule. Fahrerbezogene Merkmale sind die Fahraufgabe (z.B. keine, bei Automatisierungsstufe 4), fahrfremde Tätigkeiten (FFT), Alter, Geschlecht, Persönlichkeitseigenschaften, Fahrertätigkeiten, Fahrerfahrung, Fahrstil, Aufmerksamkeit, Wachheit, Affekt (z.B. emotional aufgewühlt) und sonstige Einflüsse. Als weiteres Beschreibungselement ist die Systemausprägung in die Spezifikationsmethodik integriert. Sie beschreibt die Funktionalitäten und das Verhalten des Automationsystems während jeder Phase der Szenariendurchfahrt. Unter dem Attribut „Systemausprägung“ werden die integrierten Komponenten und Funktionen gelistet, die während der einzelnen Phasen aktiv sind, z.B. integrierte Funktionen, fixe und potenzielle Systemgrenzen, Gestaltung von Systemtransitionen, Absicherung der Fahrerübergabe, Übergabezeitpunkt oder auch Definition des Automatisierungslevels, etwa gemäß SAE J3016, 2016. Die Systemausprägung unterscheidet sich bei den einzelnen Verbundpartnern.

### Phasenmodell

Zur detaillierten Beschreibung ausgewählter dynamischer Fahrmanöver ist es essentiell, eine zeitliche Komponente in der Spezifikationsmethodik zu integrieren. Diese wird anhand eines Phasenmodells realisiert. Das Phasenmodell ermöglicht es, die dynamischen Attribute und deren Änderung beim Durchfahren einer Kreuzung abzubilden. In Abbildung 29 wird das Phasenmodell nach Fastenmeier und Gstalter (2007)<sup>18</sup> verwendet, um einen Linksabbiegevorgang an einer durch Lichtsignalanlagen geregelten Kreuzung des Grundtyps 3 zu beschreiben. Das Phasenmodell gliedert den Linksabbiegevorgang in acht verschiedene Phasen. Die einzelnen Phasen im Modell sind in der nachfolgenden Tabelle 13 genauer spezifiziert.

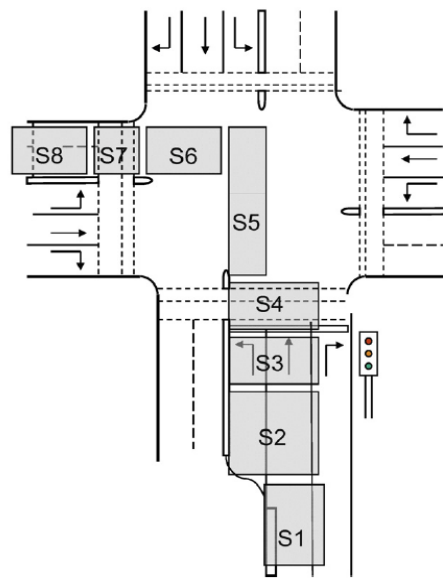


Abbildung 29: Beispielhaftes Phasenmodell eines Linksabbiegevorgangs

Tabelle 13: Spezifikation der Phasen des Modell

Bezeichnung	Beschreibung	Ausdehnung
Phase 1	Zufahrt	<i>Beginn:</i> Vor Beginn des Linksabbiegestreifens <i>Ende:</i> Ab Beginn des Kreuzungsbereichs
Phase 2	Positionierung im Kreuzungsbereich	<i>Beginn:</i> Ab Beginn des Kreuzungsbereichs <i>Ende:</i> Beim Erkennen der Richtungspfeile
Phase 3	Positionierung im Kreuzungsbereich	<i>Beginn:</i> Beim Erkennen der Richtungspfeile <i>Ende:</i> An den Haltestreifen vor der LSA
Phase 4	Überfahrt des Fußgängerüberwegs	<i>Beginn:</i> An den Haltestreifen vor der LSA <i>Ende:</i> Am Ende des Fußgängerüberwegs
Phase 5	Fahrt in den Kreuzungsbereich	<i>Beginn:</i> Am Ende des Fußgängerüberwegs <i>Ende:</i> Ab Kreuzung des entgegenkommenden Fahrstreifens
Phase 6	Überfahrt der Gegenfahrbahn	<i>Beginn:</i> Ab Kreuzung des entgegenkommenden Fahrstreifens <i>Ende:</i> Ab Beginn des Fußgängerüberweges
Phase 7	Überfahrt des Fußgängerüberwegs	<i>Beginn:</i> Ab Beginn des Fußgängerüberweges <i>Ende:</i> Ab Ende des Fußgängerüberweges
Phase 8	Ausfahrt aus dem Kreuzungsbereich	<i>Beginn:</i> Ab Ende des Fußgängerüberweges <i>Ende:</i> Verlassen des Kreuzungsbereichs

<sup>18</sup> Fastenmeier, W. & Gstalter, H. (2007). Driving task analysis as a tool in traffic safety research and practice. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2006.08.023>

Die Anzahl der Phasen ist je nach Kreuzungstyp unterschiedlich und muss bei Bedarf adaptiert werden. Beispielsweise entfallen bei Betrachtung einer Kreuzung ohne Fußgängerüberwege die Phasen 4 und 7, sodass das Manöver dann durch sechs Phasen beschrieben wird. Außerdem können Phasen entfallen, falls das ausgewählte Manöver statt des Linksabbiegens die Geradeausfahrt über die Kreuzung oder ein Rechtsabbiegen an der Kreuzung darstellt. Bei der Geradeausfahrt würde Phase 6, die die Kreuzung des entgegenkommenden Verkehrs beschreibt, entfallen. Die räumliche Ausdehnung der einzelnen Phasen ist je nach Kreuzungsinfrastruktur verschieden.

#### Herangehensweise zur Identifikation relevanter Attribute

Das Konzept der Spezifikationsmethodik basiert auf dem UR:BAN Assistenzszenario als Konstrukt für die Entwicklung und Bewertung integrierter Fahrerassistenzsysteme nach Bengler et al. (2015). Dabei stützt sich die Spezifikation zur Definition von Szenarien auf die drei Säulen: Situation, Fahrer und Systemfunktion. Für die Anwendung dieser Methodik im Rahmen von @CITY und @CITY-AF wurde die Systemfunktion durch eine Automationsfunktion ersetzt, welche die Fahrstrategie des automatisierten Fahrzeugs widerspiegelt. Die Situation untergliedert sich wieder in alle statischen Elemente (Infrastruktur) und alle dynamischen Elemente (Verkehrssituation). Das finale Konzept zur Identifizierung relevanter Attribute für die Erstellung eines Situationskatalogs beruht auf den Säulen Infrastruktur, Verkehrssituation und Fahrer, wobei die Systemausprägung ein essentielles Beschreibungselement darstellt, mit dessen Hilfe die Grenzen des automatisierten Systems erfasst werden können.

#### Anwendung der Spezifikationsmethodik

Die Spezifikationsmethodik besteht – wie eingangs erläutert - aus der Grobklassifikation, der statischen und dynamischen Infrastruktur, der Fahrerbeschreibung sowie der Systemausprägung. Wie die Grobklassifikation (Abbildung 30) untergliedert sich auch die statische Situationsbeschreibung (Abbildung 31) nicht in die Phasen des Modells. Die statische Infrastruktur wird definiert, indem jedem Attribut eine Ausprägung zugeordnet wird.

"@CITY" Assistenzszenario/Grobklassifikation																				
Erläuterung:	Kurtztitel	Teilprojekt	Projektpartner	Verantwortlich		Verkehrsteilne				Anforderungsebene	Beschreibung der Funktion	Interventionstiefe System	Zeitliche Aspekte der Funktion		Untersuchungsumgebung					
				Initialen der Ansprechpartner	Manöver	Verkehrsdichte	Verkehrsteilnehmer	Straßentyp (Geometrie)	Straßentyp (v)				Zeitliche Aspekte der Funktion	Untersuchungsumgebung						
Freie, knappe Betitelung des Assistenzszenarios (z.B. orientiert an Funktion oder Konfliktyp)	Kürzel des Teilprojekts des Assistenzszenarios (z.B. orientiert an Funktion oder Konfliktyp)	Name/Kürzel des Projektpartners	Initialen der Ansprechpartner	- Stehen	- Kein Verkehr	- Geringe Verkehrsdichte	- Keine Verkehrsteilnehmer im Schwerpunkt, (potentieller) Konfliktgegner	- Anzahl der Fahrstreifen	- Freie Benennung: Grobklassifikation der Entwurfssituation, z.B. Anzahl der Fahrstreifen	- Zulässige Höchstgeschwindigkeit auf dem jeweiligen Straßentyp[km/h]	- Strategische Ebene: Navigation und Planung	- Taktische Ebene: Bahnführung und Manöver	- Operative Ebene: Stabilisierung	- Warnend	- Warnend	- Realverkehr				
				- Einordnen und Spurwechsel	- Geringe Verkehrsdichte	- Mittlere Verkehrsdichte	- Abbiegen/Einbiegen	- Anfahren	- Folgen	- Anhalten	- Annähern	- Passieren eines Hindernisses	- Überholen	- Langsame Fahrt zur Fahrzeugaus	- Bei Vorhandensein: Bauliche Besonderheiten (Fahrradwege, Zebrastrassen, etc.)	- Bei Vorhandensein: Art des Knotenpunkts (X-Kreuzung, T-Kreuzung, Kreisverkehr, Abbiegestreifen, etc.)	- Sonstiges: (Benennen)	- Warnend	- Warnend	- Kontrolliertes Feld
				- Anfahren	- Hohe Verkehrsdichte	- Fahrrad	- Stehendes	- Stehendes	- Stehendes	- Stehendes	- Stehendes	- Stehendes	- Stehendes	- Stehendes	- Stehendes	- Stehendes	- Stehendes	- Stehendes	- Stehendes	- Stehendes
				- Folgen	- Hohe Verkehrsdichte	- Fahrrad	- Stehendes	- Stehendes	- Stehendes	- Stehendes	- Stehendes	- Stehendes	- Stehendes	- Stehendes	- Stehendes	- Stehendes	- Stehendes	- Stehendes	- Stehendes	- Stehendes
				- Anhalten	- Annähern	- Passieren eines Hindernisses	- Überholen	- Langsame Fahrt zur Fahrzeugaus	- Bei Vorhandensein: Bauliche Besonderheiten (Fahrradwege, Zebrastrassen, etc.)	- Bei Vorhandensein: Art des Knotenpunkts (X-Kreuzung, T-Kreuzung, Kreisverkehr, Abbiegestreifen, etc.)	- Sonstiges: (Benennen)	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend
				- Annähern	- Passieren eines Hindernisses	- Überholen	- Langsame Fahrt zur Fahrzeugaus	- Bei Vorhandensein: Bauliche Besonderheiten (Fahrradwege, Zebrastrassen, etc.)	- Bei Vorhandensein: Art des Knotenpunkts (X-Kreuzung, T-Kreuzung, Kreisverkehr, Abbiegestreifen, etc.)	- Sonstiges: (Benennen)	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend
				- Passieren eines Hindernisses	- Überholen	- Langsame Fahrt zur Fahrzeugaus	- Bei Vorhandensein: Bauliche Besonderheiten (Fahrradwege, Zebrastrassen, etc.)	- Bei Vorhandensein: Art des Knotenpunkts (X-Kreuzung, T-Kreuzung, Kreisverkehr, Abbiegestreifen, etc.)	- Sonstiges: (Benennen)	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend
				- Überholen	- Langsame Fahrt zur Fahrzeugaus	- Bei Vorhandensein: Bauliche Besonderheiten (Fahrradwege, Zebrastrassen, etc.)	- Bei Vorhandensein: Art des Knotenpunkts (X-Kreuzung, T-Kreuzung, Kreisverkehr, Abbiegestreifen, etc.)	- Sonstiges: (Benennen)	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend
				- Langsame Fahrt zur Fahrzeugaus	- Bei Vorhandensein: Bauliche Besonderheiten (Fahrradwege, Zebrastrassen, etc.)	- Bei Vorhandensein: Art des Knotenpunkts (X-Kreuzung, T-Kreuzung, Kreisverkehr, Abbiegestreifen, etc.)	- Sonstiges: (Benennen)	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend
				- Bei Vorhandensein: Bauliche Besonderheiten (Fahrradwege, Zebrastrassen, etc.)	- Bei Vorhandensein: Art des Knotenpunkts (X-Kreuzung, T-Kreuzung, Kreisverkehr, Abbiegestreifen, etc.)	- Sonstiges: (Benennen)	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend
				- Sonstiges: (Benennen)	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend
				- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend	- Warnend

Abbildung 30: Exemplarische Darstellung der Attribute zur Grobklassifikation

Situationsbeschreibung - Statisch											
Entwurfs- elemente	Dimensionierung	Straßentyp(e n)	Zufahrtsbereic he	besondere Merkmale	Umgebung	Einschränkung(e n) und Sichtbarkeit(en)	Regelwerks- konformität	Straßendecksch icht und Fahrbahnzust a	Verkehrsteu erung und -regeln	Konfliktfläche	Objekte und Landmarken
Generelle Klassifikation des Untersuchungs- bereichs nach	Beschreibung zur Dimensionierung der Entwurfselemente nach > Dimensionierung	Definition des vorliegenden Straßentyps nach RAS-K und nach RAS, FGSV	Definition der > Art des Sortierbereichs > Anzahl der Fahrstreifen > Verbindungs- funktion (z.B., des Knotenpunktes) > Markierungen (Art und Lage)	Angabe über die Führung von Elementen mit besonderer Bedeutung für Fahrmanöver	generelle Beschreibung der Umgebung des untersuchten räumlichen Ausschnitts	Beschreibung der statischen Einschränkung(en) ) für die Durchführung von Fahrmanövern. Zusätzlich eine Beschreibung der generellen Sichtbarkeit(en): räumliche und zeitliche Eingrenzung der Sichtbarkeit	Aufzählung sämtlicher Regelwerke, die für den untersuchten räuml. Ausschnitt und die Situationen relevant sind	Bestandteile (Materialien) der untersuchten Fahrbahnen und Wege, sowie der vorliegende Zustand und Qualität der Fahrbahn und der Markierungen	Aufzählung sämtlicher Verkehrsregeln und Lichtsignalanl agen (LSA); mit möglichen Angaben der zugehörigen Schaltungsph asen	Abgeleitete Merkmale aus der Entwurfselement- gestaltung (Geometrie): > Konfliktpunkte > Konfliktfläche > Schnittpunkte und -flächen mit Rad- und Fußgängerwegen > Komplexität	Aufzählung sämtlicher Objekte und Landmarken in der Form [ID, Name, Geometrie, Geometrieklasse, Textur, Sem. Verknüpfung, Bezug zu relevanten Entwurfselement n (Ontologien), Spezifikation]

Abbildung 31: Exemplarische Darstellung der Attribute zur statischen Situationsbeschreibung



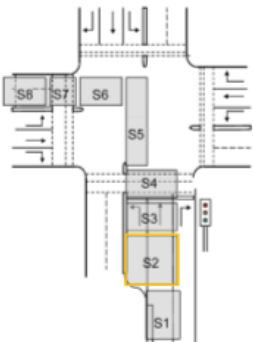
Phasenmodell	Situationsbeschreibung - Dynamisch								
	Umweltbedingungen		Knotenpunkttopologie	Objekte	detaillierte Teilnehmerbeschreibung				
Phasenmodell	Witterung	Straßenzustand	Lichtverhältnisse	Baustelle/Behinderung	Objekte auf der Fahrbahn	Art der Verkehrsteilnehmer	Geschwindigkeit	Beschleunigung/Verzögerungsabstand	
Phase 1 	Sonnenschein	Trocken	Licht	keine	keine	> ID:1 (Ego) > ID:2 (PKW) > ID:3 (PKW) > ID:4 (LKW)	> ID1: 50 > ID2: 50 > ID3: 50 > ID4: 40	> ID1: 0 > ID2: 0 > ID3: 0 > ID4: 0	>ID1-ID2: 110m >ID1-ID3: 140m >ID1-ID4: 72m
Phase 2 					keine	> ID:1 (Ego) > ID:2 (PKW) > ID:3 (PKW) > ID:4 (LKW)	> ID1: 50 > ID2: 50 > ID3: 50 > ID4: 40	> ID1: 0 > ID2: 0 > ID3: 0 > ID4: 0	>ID1-ID2: 110m >ID1-ID3: 140m >ID1-ID4: 67m

Abbildung 32: Exemplarische Darstellung der Attribute zur dynamischen Situationsbeschreibung und Integration des Phasenmodells

Fahrerbeschreibung												
AP 3.1.1	Fahraufgabe	Fahrfremde Tätigkeit	Alter	Geschlecht	Persönlichkeitseigenschaften			Fahrerfahrung	Fahrstil	Aufmerksamkeitsebene		Sonstige Einflüsse
					Dauerhafte	Sensomotorische Fähigkeiten, z.B. Behinderungen, Verminderungen	Fahrerfähigkeiten			Aufmerksamkeitsebene	Wachheit	
	Fahraufgabe in Abhängigkeit des Automationsgrades (Level 2: Situation überwachen, Level 3: bei möglichem TOR übernehmen, Level 4: keine Fahraufgabe)	Ab Level 3: Unterscheidung fahrfremder Tätigkeiten nach verschiedenen Reizmodalitäten (visuell, auditiv, taktil)  Beispiele:  Natürliche FFT: Freie Wahlmöglichkeit, Lesen, Essen, Beine überkreuzen, Film schauen, ...  Standartisierte FFT: SuRT, n-Back, 20-Questions-Task, ...  Quellenangaben FFT: - Naupols et al.: A review of non-driving-related tasks used in studies on automated driving	Fahreralter [Jahre]	Biologisches Geschlecht	Dauerhafte Persönlichkeitseigenschaften, z.B. Risikofreudigkeit, Technikaffinität, Systemvertrauen	Sensomotorische Fähigkeiten, z.B. Behinderungen, Verminderungen	Fahrerfähigkeiten	Fahrerfahrung	Fahrstil	Aufmerksamkeitsebene	Wachheit	Sonstige Einflüsse

Abbildung 33: Exemplarische Darstellung der Attribute zur Fahrerbeschreibung

## Systemausprägung

<i>Integrierte Funktionen/ Komponenten</i>	<i>Potentielle Systemgrenzen</i>	<i>Fixe Systemgrenzen</i>	<i>Gestaltung von Systemtransitionen</i>	<i>Absicherung d. Übergabe</i>	<i>Zeitpunkt</i>	<i>Automationslevel</i>
<i>z.B. Intentionserkennung, Verkehrszeichenerkennung, Notbremsassistent, Ausweichassistent, Kreuzungsassistent (Querverkehrdetektion) GPS, Eigenlokalisierung ...</i>	<i>z.B. Detektion von Objekten fehlerhaft (Fahrstreifen, Verkehrszeichen, VRU), Zuordnung des Vorderfahrzeugs zum Fahrkorridor fehlerhaft, wesentliche verdeckte Kreuzungsmerkmale...</i>	<i>z.B. Kreuzungsinfrastruktur nicht von System beherrschbar, Sensorik ungeeignet aufgrund von Witterungsbedingungen (LIDAR bei Regen o. Nebel), Situationsinterpretation unzuverlässig (sich widersprechende Beschilderung) ...</i>	<i>z.B. Lenkunterstützung, Bremsunterstützung, Warnstrategie ...</i>	<i>z.B. durch Notbrems-, Ausweichassistent, Driver Monitoring System ...</i>	<i>z.B. in TTC</i>	<i>SAE-Level</i>

Abbildung 34: Exemplarische Darstellung der Attribute zur Systemausprägung

Die Beschreibung der dynamischen Infrastruktur ist dagegen eng mit dem Phasenmodell (Abbildung 29) verknüpft. Jede Phase des Modells wird in einer eigenen Zeile charakterisiert, indem die jeweiligen Attribute dieser Phase bestimmt werden. Elemente wie beispielsweise die Witterung, die sich von Phase zu Phase nicht verändern, werden nur in Phase 1 festgehalten. Dynamische Elemente wie beispielsweise die Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs oder des Umgebungsverkehrs werden für jede Phase in einer eigenen Zeile charakterisiert. Die Werte der Attribute werden jeweils zum Beginn einer neuen Phase erfasst. Abbildung 32 zeigt die ersten 2 Phasen des Linksabbiegevorgangs und einen Auszug der ausgefüllten Spezifikationsmethodik.

Die Fahrerbeschreibung ist wie die Grobklassifikation und die statische Infrastruktur unabhängig vom Phasenmodell. Der Fahrer wird charakterisiert, indem die Attribute, die für das gesamte Szenario gelten, in der ersten Zeile festgelegt werden. Abbildung 33 zeigt die wesentlichen Attribute zur Fahrerbeschreibung, sowie beispielhafte Ausprägungen.

Die Systemausprägung hat wie die dynamische Infrastruktur einen zeitlichen Verlauf und muss deshalb auch für jede Phase des Modells spezifiziert werden. Die Werte der Attribute werden analog zur Dynamik des Szenarios jeweils zu Beginn einer neuen Phase erfasst. Abbildung 34 zeigt die Attribute der Systemausprägung inklusive beispielhafter Ausprägungen.

## Situationskatalog

### Bestimmung wichtiger Merkmale

Aus den Merkmalen zur Beschreibung eines Kreuzungsszenarios wurden wichtige Merkmale zur Beschreibung des Nominalverhaltens eines Kreuzungsmanövers identifiziert. Als Nominalverhalten wird hier das Systemverhalten unter Berücksichtigung der regelgerechten Überquerung einer Kreuzung ohne Beteiligung anderer Verkehrsteilnehmer verstanden. Aus den gesammelten Merkmalen zur detailreichen Beschreibung einer Kreuzung wurden die folgenden Merkmale als wichtig für die Beschreibung des Nominalverhaltens festgelegt:

- Manöver: z.B. Abbiegen nach links/rechts oder Geradeausfahrt
- Straßentyp (Geometrie): z.B. X-Kreuzung oder T-Kreuzung
- Entwurfselemente: Klassifikation des Untersuchungsbereichs im Wesentlichen in Art, Knotenform und Grundform
- Dimensionierung: Lage und Größe der Zufahrten bezogen auf Kreuzungsmittelpunkt sowie ihrer Nachbarschaftsbeziehungen
- Besondere Merkmale: z.B. Radweg, Fußgängerübergang, Sonderfahrstreifen, etc.
- Einschränkung(en) und Sichtbarkeit(en): Angabe über Sichthindernisse
- Verkehrssteuerung und -regeln: Vorfahrtsregelung, z.B. durch Lichtsignalanlagen
- Netzwerktopologie: Angabe zu möglicher Konnektivität je Zufahrt und Fahrstreifen
- Phasenmodell: aktuell befindliche Phase der Kreuzung
- Baustellen/Behinderungen: Angabe über baulich bedingte Hindernisse
- Objekte auf der Fahrbahn: Angaben über sonstige Hindernisse auf der Fahrbahn

Mit Hilfe der aufgelisteten Merkmale und einer Hierarchisierung dieser lassen sich im Allgemeinen alle für den urbanen Bereich und im Rahmen von @CITY und @CITY-AF relevanten Fahrscenarien darstellen.

Die Herangehensweise zur Erarbeitung eines Situationskatalogs besteht hierbei darin, für ein beliebiges Szenario zunächst das Nominalverhalten, also das regelgerechte Systemverhalten ohne Beteiligung anderer Verkehrsteilnehmer, zu untersuchen. Durch das Hinzufügen und Berücksichtigen

anderer dynamischer Verkehrsteilnehmer, lässt sich auf diese Weise jede beliebige Situation mit dem dazugehörigen Systemverhalten beschreiben.

### Nominalverhalten an Kreuzungen durch Hierarchisierung der Attribute

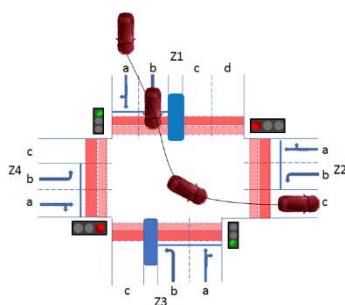
Nach Bestimmung der Attribute für die Ableitung des Situationskataloges, wurde eine Hierarchie für diese Attribute eingeführt. Diese Hierarchisierung erlaubt es, das Nominalverhalten von Fahrmanövern zu definieren. Das Fahrmanöver berücksichtigt die Verkehrssteuerung und Verkehrsregeln sowie die daraus gebildeten Merkmale. Es ist gegliedert in mehrere Phasen, von denen jede aus Zeitkomponenten und Merkmalen (z.B. Position, Fahraufgabe, Chronologie) besteht. Das Manöver befindet sich auf der konzeptionellen Ebene und grenzt sich damit klar von der strategischen und operationellen Ebene ab. Neben der Definition von Manövern für bestimmte Knotenpunkte (und Verbindungsstrecken) ist es wichtig, die Zufahrtsbereiche eingehend zu definieren. In komplexen urbanen Umgebungen können die Zu- und Ausfahrten recht unterschiedlich gestaltet sein.

Die Hierarchisierung der Attribute nach Nominalverhalten geht davon aus, dass die Manöver Linksabbiegen, Geradeausfahren, Rechtsabbiegen, Manöver an Kreisverkehren und Verbindungsstraßen sukzessiv anhand von Entscheidungsbäumen abgearbeitet werden. Wie bei Entscheidungsbäumen üblich, ist es möglich, dass bereits getroffene Entscheidungen Einfluss auf die folgenden Entscheidungsmöglichkeiten haben. Zum Beispiel könnte das Linksabbiegen auf einer Kreuzung in drei Phasen unterteilt werden:

- (1) Einfahrt: Phase 1 beinhaltet in der Festlegung der grundlegenden Kreuzungsmerkmale, die Frage ob Linksabbiegen aufgrund dieser Merkmale möglich oder erlaubt ist. Außerdem werden Spezifikationen betreffend der Einfahrtsstraße vorgenommen. Falls das Linksabbiegen nicht möglich oder verboten sein sollte, so muss das Manöver abgebrochen und ein anderes gewählt werden.
- (2) Abbiegen: Phase 2 überprüft ein letztes Mal die Durchführbarkeit des Manövers, und stellt die Beibehaltung des richtigen Fahrstreifens sicher.
- (3) Ausfahrt: Phase 3 regelt in erster Linie auf welchem Fahrstreifen aus der Kreuzung ausgefahren werden muss, trifft jedoch auch Spezifikationen hinsichtlich der Ausfahrtsstraße.

Mit dieser Hierarchisierung ergibt sich am Beispiel einer mehrspurigen Kreuzung das in Tabelle 14 beschriebene Nominalverhalten für das Linksabbiegen.

**Tabelle 14: Nominalverhalten beim Linksabbiegen an einer mehrspurigen Kreuzung**



#### Nominalverhalten

- Fahrzeug nähert sich aus Zufahrt 1 der Kreuzung auf dem rechten von zwei Fahrstreifen
- Fahrzeug prüft, ob Linksabbiegen möglich ist und erkennt eine X-Kreuzung
- Fahrzeug prüft, ob Linksabbiegen erlaubt ist und erkennt, dass die Verkehrssteuerung durch eine LSA erfolgt und dass Linksabbiegen nur auf dem linken von zwei Fahrstreifen erlaubt ist
- Fahrzeug blinkt nach links und führt einen Fahrstreifenwechsel auf den linken Fahrstreifen durch

- Fahrzeug prüft, ob Linksabbiegen möglich ist und erkennt sowohl die grüne Ampelphase als auch die Hindernisfreiheit (kein Gegenverkehr, kein kreuzender Fußgänger)
- Fahrzeug durchfährt den Kreuzungsbereich und verlässt ihn auf dem einzigen Fahrstreifen der Zufahrt 2, Blinker wird ausgeschaltet

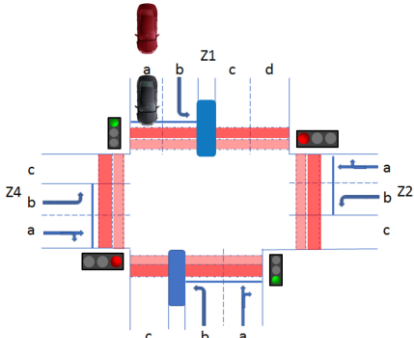
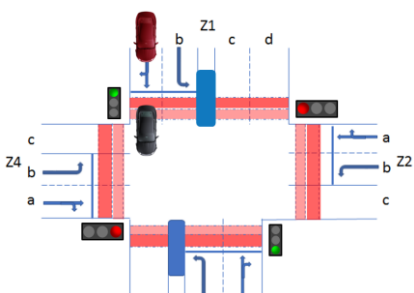
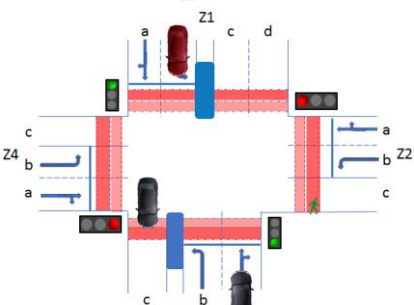
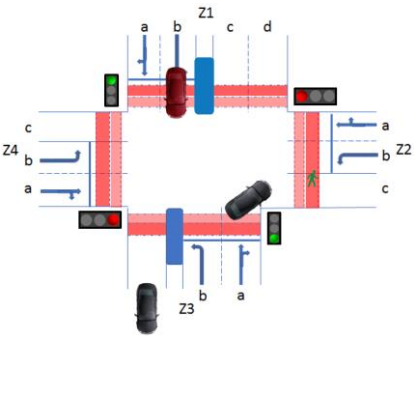
#### Systemverhalten und Systemausprägung

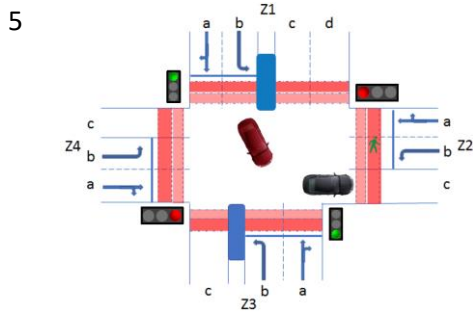
Mit Hilfe der Systemausprägung lässt sich aufbauend auf dem Nominalverhalten das Systemverhalten des automatisierten Fahrzeugs unter Berücksichtigung anderer dynamischer Verkehrsteilnehmer beschreiben. Dabei bestimmt die Systemausprägung das Systemverhalten maßgeblich. Dies wird nachfolgend wieder am Beispiel des Linksabbiegens an einer mehrspurigen Kreuzung mit Lichtsignalanlage (LSA) erläutert. Vergleiche hierzu **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden..** Die statische Situation samt Fahrerbeschreibung ist einmalig in den statischen Merkmalen erfasst (X-Kreuzung, Breiten der Zufahrten, Konnektivität ...). Die dynamischen Merkmale und die Systemausprägung sind für jede der acht Phasen (Tabelle 13) der Knotenpunktüberquerung spezifiziert.

Im Beispiel wird davon ausgegangen, dass das automatisierte Fahrzeug mit den folgenden Funktionen ausgestattet ist: Verkehrszeichenerkennung (statische Verkehrszeichen und LSA), Kreuzungsassistent, Spurerkennung, Fußgänger-Intentionserkennung, Nutzung einer HD-Karte zur Erkennung des Knotenpunkttyps, Eigenlokalisierung, GPS, Driver-Monitoring-System, Notbremsassistent und Notausweichassistent. Eine Übersicht über zur Verfügung stehende Funktionsmodule findet sich im Anforderungskatalog aus TP 1.

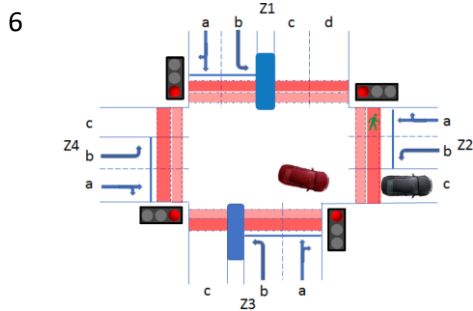


Tabelle 15: Phasen des Linksabbiegens an einer mehrspurigen Kreuzung mit LSA

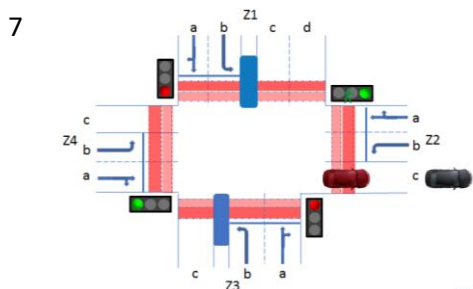
Phase	Beschreibung der Phase (vgl. Abbildung 29)
1	 <p><i>Situation:</i> Das Ego-Fahrzeug (rot oben) nähert sich mit 50km/h der Kreuzung auf dem rechten Fahrstreifen. Ein weiteres Fahrzeug fährt in 10m Abstand vor dem Ego-Fahrzeug mit gleicher Geschwindigkeit. Das Ego-Fahrzeug erkennt anhand der HD-Karte den Kreuzungstyp und entscheidet, dass eine automatisierte Überfahrt möglich ist. Mittels der Verkehrszeichenerkennung wird die grüne Ampelphase erkannt. Das vorausfahrende Fahrzeug hat keinen Blinker gesetzt, daraus kann impliziert werden, dass dieses Fahrzeug die Kreuzung voraussichtlich geradeaus überqueren wird.</p>
2	 <p>GPS entscheidet aufgrund des eingegebenen Ziels, dass das Ego-Fahrzeug an der Kreuzung links abbiegen muss. Die Spurerkennung meldet, dass sich das Ego-Fahrzeug noch nicht auf dem Fahrstreifen befindet, der ein Linksabbiegen zulässt. Das Ego-Fahrzeug setzt den Blinker links, bremst mit <math>-1\text{m/s}^2</math> leicht auf 40km/h ab und beginnt mit einem Fahrstreifenwechsel nach links.</p>
3	 <p>Nach dem Fahrstreifenwechsel meldet die Spurerkennung, dass das Ego-Fahrzeug den korrekten Fahrstreifen für ein Linksabbiegemanöver befährt. Nun werden zwei weitere Verkehrsteilnehmer durch die Umfeldsensorik erkannt: von der Fahrbahn gegenüber nähert sich ein weiteres Fahrzeug mit 30km/h mit einer Bremsverzögerung von <math>-4\text{m/s}^2</math> und gesetztem Blinker nach rechts und auf dem Fußgängerüberweg nähert sich ein erwachsener Fußgänger mit 5km/h von unten. Die Intentionserkennung interpretiert die Bewegung des Fußgängers als Bereitschaft die Fahrbahn auf der Zielfahrbahn des Ego-Fahrzeugs (und auch des entgegenkommenden Fahrzeugs) zu überqueren. Das Ego-Fahrzeug bremst mit <math>-3\text{m/s}^2</math> bis auf 15km/h ab.</p>
4	 <p>Das Ego-Fahrzeug fährt mit einer Geschwindigkeit von 15km/h in die Kreuzung ein und bremst dort mit einer Bremsverzögerung von <math>-2\text{m/s}^2</math> bis zum Stillstand ab, um dem Fußgänger sowie dem rechtsabbiegenden Fahrzeug Vorrang zu gewähren. Das geradeaus fahrende Fahrzeug fährt zwischenzeitlich mit konstant 50km/h aus dem Kreuzungsbereich heraus und muss nicht mehr berücksichtigt werden. Das rechtsabbiegende Fahrzeug bremst bis zum Stillstand ab, um dem die Straße überquerenden Fußgänger Vorrang zu gewähren.</p>



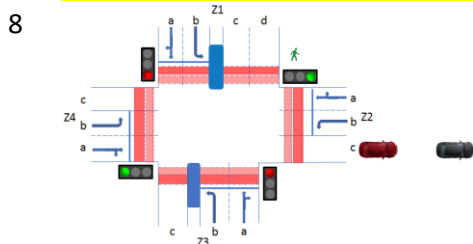
Das Ego-Fahrzeug steht im Stillstand auf der Kreuzung. Das rechtsabbiegender Fahrzeug beschleunigt mit  $2\text{m/s}^2$  auf  $5\text{km/h}$ , um hinter dem Fußgänger, der zwischenzeitlich den Zielfahrstreifen des rechtsabbiegenden Fahrzeugs verlassen hat, seine Fahrt auf dem Zielfahrstreifen fortzusetzen.



Das rechtsabbiegender Fahrzeug beschleunigt weiter mit  $3\text{m/s}^2$  auf  $10\text{km/h}$  und fährt auf den Zielfahrstreifen ein. Der Fußgänger hat den Fußgängerüberweg zu  $2/3$  überquert und befindet sich zwischenzeitlich auf der Gegenfahrbahn. Da die Intentionserkennung aufgrund des Bewegungsmusters und der Blickrichtung des Fußgängers keine Umkehrabsicht erkennen kann und keine weiteren Verkehrsteilnehmer im Kreuzungsumfeld wahrgenommen wurden, erfolgt die Freigabe zur Weiterfahrt für das Ego-Fahrzeug. Das Ego-Fahrzeug beschleunigt nun mit  $2\text{m/s}^2$  auf  $10\text{ km/h}$  und folgt dem vorausfahrenden Fahrzeug auf den Zielfahrstreifen mit  $6\text{m}$  Abstand.



Das rechtsabbiegender Fahrzeug beschleunigt weiter mit  $1\text{m/s}^2$  auf  $45\text{km/h}$  und fährt aus dem Kreuzungsbereich heraus. Das Ego-Fahrzeug beschleunigt ebenfalls mit  $2\text{m/s}^2$  auf  $20\text{ km/h}$  und folgt dem vorausfahrenden Fahrzeug auf dem Zielfahrstreifen weiterhin mit  $6\text{m}$  Abstand. Der Fußgänger hat den Fußgängerüberweg komplett überquert und bewegt sich parallel zum Fahrbahnrand von Z1.



Das vorausfahrende Fahrzeug fährt konstant mit  $50\text{km/h}$  in einem Abstand von  $20\text{m}$  voraus. Das Ego-Fahrzeug beschleunigt weiterhin mit  $2\text{m/s}^2$  auf  $40\text{ km/h}$  und folgt dem vorausfahrenden Fahrzeug. Der Fußgänger bewegt sich parallel zum Fahrbahnrand von Z1 und muss nicht weiter berücksichtigt werden.

### Situationskatalog für Kreuzungen

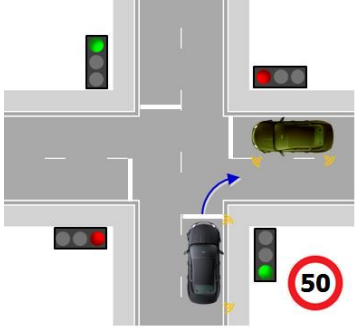
Basierend auf dem beschriebenen Nominalverhalten lässt sich nun eine beliebige Situation darstellen, indem andere dynamische Verkehrsteilnehmer berücksichtigt werden. Auf diese Weise kann durch das Festlegen der Attribute eines Szenarios und der beteiligten dynamischen Verkehrsteilnehmer eine beliebige Situation dargestellt und die Systemausprägung untersucht werden. Die nachfolgende Tabelle 16 zeigt exemplarisch einige für @CITY und @CITY-AF relevante Situationen. Die detaillierte Anforderungsableitung, sowie die Erarbeitung und Ausführung einer Teststrategie erfolgt in den jeweiligen Teilprojekten bzw. Arbeitspaketen. Aus diesem Grund ist in unten stehender Tabelle auch nur die Rede von **Ideen** zu möglichen Anforderungen an ...

Tabelle 16: Beispiele für Kreuzungssituationen in @CITY bzw. @CITY-AF

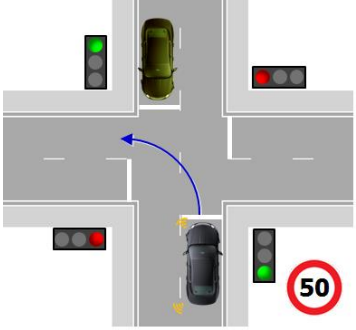
Nr.	Visualisierung	Beschreibung der Situation
1		<p><b>Szenario: KP1-&gt;Geradeausfahren an einer Kreuzung ohne LSA auf einer Vorfahrtstraße</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Einspurige Zufahrt</li> <li>• Kreuzender Verkehr von rechts</li> </ul> <p><b>Ideen zu möglichen Anforderungen an TP 1:</b></p> <p>Position auf Fahrstreifen          Abstand zu Mittelstreifen und Seitenmarkierungen          Eigengeschwindigkeit          Verkehrszeichenerkennung          Erkennung von kreuzendem Verkehr          Position des kreuzenden Verkehrs          Voraussichtliche Position des kreuzenden Verkehrs zum Zeitpunkt <math>t_0+x</math>          Abstand zum kreuzenden Verkehr          Geschwindigkeit des kreuzenden Verkehrs</p> <p><b>Ideen zu möglichen Anforderungen an TP 2:</b></p> <p>Tempolimit          Vorfahrtregelung an Kreuzung          Fahrstreifenabmaße          Fahrstreifenaufteilung          Lokalisation siehe TP1</p> <p><b>Ideen zu möglichen Anforderungen an SV:</b></p> <p>-</p> <p><b>Ideen zu möglichen Testszenarioszenarien und -metriken:</b></p> <p>Simulation          Reale Fahrt in urbanem Umfeld          Überprüfung auf Einhaltung Geschwindigkeit          Überprüfung auf Einhaltung der Spur/Trajektorie          Erkennung Parameter kreuzender Verkehr</p>
2		<p><b>Szenario: KP2-&gt;Verlassen einer Vorfahrtstraße durch Linksabbiegen ohne LSA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Einspurige Zufahrt</li> <li>• Gegenverkehr</li> </ul> <p><b>Ideen zu möglichen Anforderungen an TP 1:</b></p> <p>Position auf Fahrstreifen          Abstand zu Mittelstreifen und Seitenmarkierungen          Eigengeschwindigkeit          Verkehrszeichenerkennung          Erkennung von Gegenverkehr          Position des Gegenverkehrs          Voraussichtliche Position des Gegenverkehrs zum Zeitpunkt <math>t_0+x</math>          Abstand zum Gegenverkehr</p>

		<p>Geschwindigkeit des Gegenverkehrs</p> <p><b>Ideen zu möglichen Anforderungen an TP 2:</b>          Tempolimit          Vorfahrtregelung an Kreuzung          Fahrstreifenabmaße          Fahrstreifenaufteilung          Lokalisation siehe TP1</p> <p><b>Ideen zu möglichen Anforderungen an SV:</b>          -</p> <p><b>Ideen zu möglichen Testszenarien und -metriken:</b>          Simulation          Reale Fahrt in urbanem Umfeld          Überprüfung auf Einhaltung Geschwindigkeit          Überprüfung auf Einhaltung der Spur/Trajektorie          Links blinken überprüfen          Erkennung Parameter Gegenverkehr verifizieren</p>
3		<p><b>Szenario: KP3-&gt;Kreuzen einer Vorfahrtstraße mit Stoppschild ohne LSA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Einspurige Zufahrt</li> </ul> <p><b>Ideen zu möglichen Anforderungen an TP 1:</b>          Position auf Fahrstreifen          Abstand zu Mittelstreifen und Seitenmarkierungen          Haltelinienerkennung          Abstand zu Haltelinie          Eigengeschwindigkeit          Verkehrszeichenerkennung</p> <p><b>Ideen zu möglichen Anforderungen an TP 2:</b>          Tempolimit          Vorfahrtregelung an Kreuzung          Fahrstreifenabmaße          Fahrstreifenaufteilung          Lokalisation siehe TP1</p> <p><b>Ideen zu möglichen Anforderungen an SV:</b>          -</p> <p><b>Ideen zu möglichen Testszenarien und -metriken:</b>          Simulation          Reale Fahrt in urbanem Umfeld          Überprüfung auf Einhaltung Geschwindigkeit          Überprüfung auf Einhaltung der Spur/Trajektorie          Anhalten auf Stopplinie</p>

<p>4</p>		<p><b>Szenario: KP4-&gt;Rechtsabbiegen auf eine Vorfahrtstraße mit Stoppschild ohne LSA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Einspurige Zufahrt</li> <li>• Kreuzender Verkehr von links</li> </ul> <p><b>Ideen zu möglichen Anforderungen an TP 1:</b></p> <p>Position auf Fahrstreifen          Abstand zu Mittelstreifen und Seitenmarkierungen          Haltelinienerkennung          Abstand zu Haltelinie          Eigengeschwindigkeit          Verkehrszeichenerkennung          Erkennung von kreuzendem Verkehr          Position des kreuzenden Verkehrs          Voraussichtliche Position des kreuzenden Verkehrs zum Zeitpunkt <math>t_0+x</math>          Abstand zum kreuzenden Verkehr          Geschwindigkeit des kreuzenden Verkehrs</p> <p><b>Ideen zu möglichen Anforderungen an TP 2:</b></p> <p>Tempolimit          Vorfahrtregelung an Kreuzung          Fahrstreifenabmaße          Fahrstreifenaufteilung          Lokalisation siehe TP1</p> <p><b>Ideen zu möglichen Anforderungen an SV:</b></p> <p>-</p> <p><b>Ideen zu möglichen Testszenarien und -metriken:</b></p> <p>Simulation          Reale Fahrt in urbanem Umfeld          Überprüfung auf Einhaltung Geschwindigkeit          Überprüfung auf Einhaltung der Spur/Trajektorie          Anhalten auf Stopplinie          Rechts blinken überprüfen          Erkennung Parameter kreuzender Verkehr</p>
<p>5</p>		<p><b>Szenario: KP5-&gt;Geradeausfahren an einer „Rechts-vor-Links“-Kreuzung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Einspurige Zufahrt</li> <li>• Kreuzender Verkehr von rechts</li> </ul> <p><b>Ideen zu möglichen Anforderungen an TP 1:</b></p> <p>Position auf Fahrstreifen          Abstand zu Mittelstreifen und Seitenmarkierungen          Eigengeschwindigkeit          Verkehrszeichenerkennung          Erkennung von kreuzendem Verkehr          Position des kreuzenden Verkehrs          Voraussichtliche Position des kreuzenden Verkehrs zum Zeitpunkt <math>t_0+x</math></p>

		<p>Abstand zum kreuzenden Verkehr Geschwindigkeit des kreuzenden Verkehrs</p> <p><b>Ideen zu möglichen Anforderungen an TP 2:</b> Tempolimit Vorfahrtregelung an Kreuzung Fahrstreifenabmaße Fahrstreifenaufteilung Lokalisation siehe TP1</p> <p><b>Ideen zu möglichen Anforderungen an SV:</b> -</p> <p><b>Ideen zu möglichen Testszenarien und -metriken:</b> Simulation Reale Fahrt in urbanem Umfeld Überprüfung auf Einhaltung Geschwindigkeit Überprüfung auf Einhaltung der Spur/Trajektorie Rechts vor links überprüfen Erkennung Parameter kreuzender Verkehr</p>
6		<p><b>Szenario: KP6-&gt;Rechtsabbiegen an einer Kreuzung mit LSA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Einspurige Zufahrt</li> <li>• Kreuzender Verkehr von rechts</li> </ul> <p><b>Ideen zu möglichen Anforderungen an TP 1:</b> Position auf Fahrstreifen Abstand zu Mittelstreifen und Seitenmarkierungen Haltelinienerkennung Abstand zu Haltelinie Eigengeschwindigkeit Verkehrszeichenerkennung LSA-Erkennung LSA-Phasen-Erkennung Erkennung von kreuzendem Verkehr Position des kreuzenden Verkehrs Abstand zum kreuzenden Verkehr Geschwindigkeit des kreuzenden Verkehrs</p> <p><b>Ideen zu möglichen Anforderungen an TP 2:</b> Tempolimit Verkehrsflussregelung an Kreuzung Vorfahrtregelung an Kreuzung (falls LSA aus) Fahrstreifenabmaße Fahrstreifenaufteilung Lokalisation siehe TP1</p> <p><b>Ideen zu möglichen Anforderungen an SV:</b> -</p> <p><b>Ideen zu möglichen Testszenarien und -metriken:</b> Simulation</p>



		<p>Reale Fahrt in urbanem Umfeld          Überprüfung auf Einhaltung Geschwindigkeit          Überprüfung auf Einhaltung der Spur/Trajektorie          Erkennung Parameter kreuzender Verkehr          Ampelphasen- und Schilderkennung testen</p>
7		<p><b>Szenario: KP7-&gt; Linksabbiegen an einer Kreuzung mit LSA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Einspurige Zufahrt</li> <li>• Gegenverkehr</li> </ul> <p><b>Ideen zu möglichen Anforderungen an TP 1:</b></p> <p>Position auf Fahrstreifen          Abstand zu Mittelstreifen und Seitenmarkierungen          Haltelinienerkennung          Abstand zu Haltelinie          Eigengeschwindigkeit          Verkehrszeichenerkennung          LSA-Erkennung          LSA-Phasen-Erkennung          Erkennung von Gegenverkehr          Position des Gegenverkehrs          Voraussichtliche Position des Gegenverkehrs zum Zeitpunkt <math>t_0+x</math>          Abstand zum Gegenverkehr          Geschwindigkeit des Gegenverkehrs</p> <p><b>Ideen zu möglichen Anforderungen an TP 2:</b></p> <p>Tempolimit          Verkehrsflussregelung an Kreuzung          Vorfahrtregelung an Kreuzung (falls LSA aus)          Fahrstreifenabmaße          Fahrstreifenaufteilung          Lokalisation siehe TP1</p> <p><b>Ideen zu möglichen Anforderungen an SV:</b></p> <p>-</p> <p><b>Ideen zu möglichen Testscenarien und -metriken:</b></p> <p>Simulation          Reale Fahrt in urbanem Umfeld          Überprüfung auf Einhaltung Geschwindigkeit          Überprüfung auf Einhaltung der Spur/Trajektorie          Erkennung Parameter kreuzender Verkehr          Ampelphasen- und Schilderkennung testen</p>

## Urbane Knotenpunkte - Kreisverkehre

### Spezifikationsmethodik und Nominalverhalten

Die Spezifikation von Kreisverkehren und die Ableitungen diesbezüglicher Konzepte erfolgten analog zur Vorgehensweise bei den Kreuzungen. Kreisverkehre werden als Ausprägung des urbanen Knotenpunktes nach ihren jeweiligen Merkmalen spezifiziert. Hierfür wird ebenfalls eine Einteilung in Grobklassifikation, statische Merkmale, dynamische Merkmale und Phasenmodell durchgeführt. Entsprechend dem Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren nach FGSV (2006) werden 5 grundlegende Typen von Kreisverkehren definiert, die in Abbildung 35 dargestellt werden.

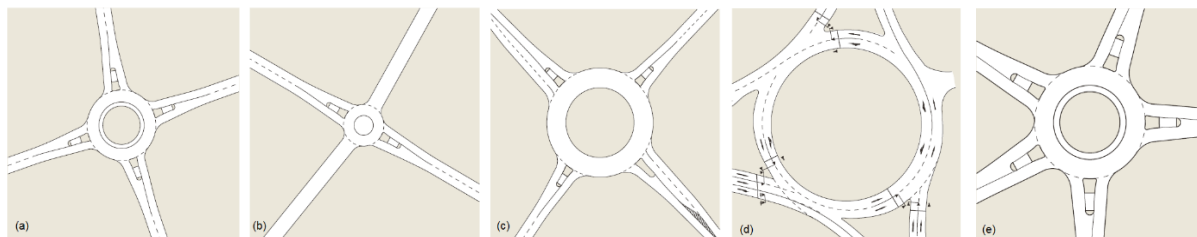


Abbildung 35: 5 grundlegende Typen von Kreisverkehren mit (a) Kleiner Kreisverkehr, (b) Minikreisverkehr, (c) Zweistreifig befahrbarer Kreisverkehr, (d) Großer Kreisverkehr, und, (e) Fünfarmiger Kreisverkehr, aus FGSV (2006a)

Innerhalb der Arbeitsgruppe wurde eine generelle Auszeichnung von allen Kreisverkehrsvarianten mit einer explizit definierten Fläche beschlossen. Diese Fläche wird im Folgenden als „Kreisverkehrsplatz“ bezeichnet. Hintergrund dieser Definition liegt in der möglichen Abstimmung der Spezifikationsmethodik mit der aktuellen Spezifikation OpenDRIVE 1.4 (Dupuis 2015). Eine graphische Darstellung der Spezifikation von Kreisverkehren in OpenDRIVE 1.4 ist in Abbildung 36 aufgeführt.

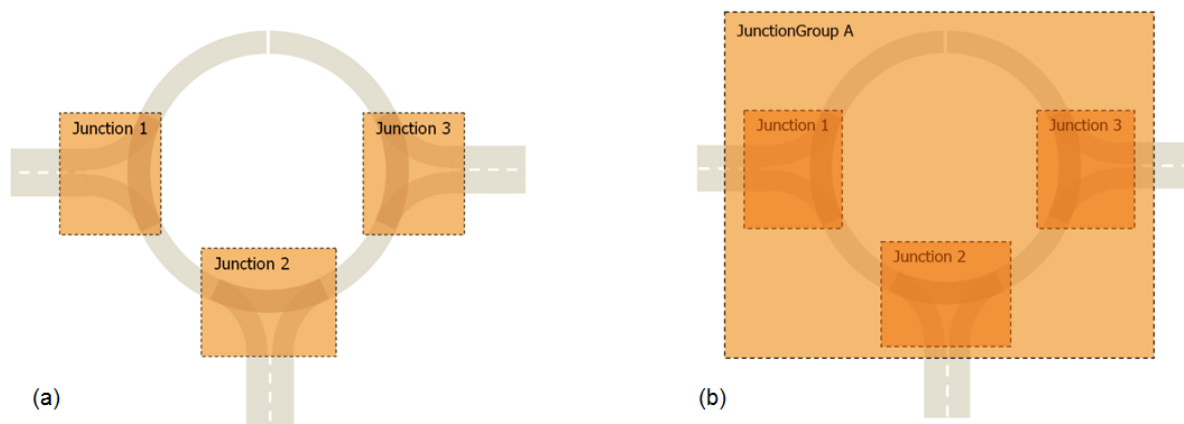


Abbildung 36: (a) Definition von Kreisverkehren als Folge von Einmündungen, (b) Räumliche Ausweisung als „Kreisverkehrsplatz“ (bzw. als „JunctionGroup“)

Abbildung 36 (a) zeigt einen Kreisverkehr bestehend aus 3 Einmündungen, welche als „Junction“ bezeichnet werden. Um eine Relation zwischen den Einmündungen herzustellen wird eine „Junction-Group“, wie in Abbildung 36b dargestellt, definiert. Diese „JunctionGroup“ entspricht der Bezeichnung „Kreisverkehrsplatz“. Als Zusatz zu den bereits beschriebenen Merkmalen der Kreuzungen (s. Abschnitt 1.1.1.1), die auch für Kreisverkehre gelten, wird das Merkmal „ÖPNV-Bevorrechtigung und Verkehrssteuerung“ hinzugenommen:

- ÖPNV-Bevorrechtigung (z.B. für Linienbusverkehr durch bauliche Möglichkeiten)
- Generelle Aussagen zur Verkehrssteuerung: Vollständige oder Teil-Signalisierung

Der Hintergrund dieser zusätzlichen Angaben liegt in den grundlegenden Unterschieden in Kapazitäten und Verkehrsabläufen an Kreisverkehren mit vollständiger oder teilweiser Signalisierung, sowie der möglichen ÖPNV-Bevorrechtigung und möglichen baulichen Elementen für den Linienbusverkehr.

Zu den statischen Merkmalen der Kreisverkehre gehören Entwurfselemente, Dimensionierung, Straßentyp(en), besondere Merkmale, Einschränkung(en) und Sichtbarkeit(en), Straßendeckschicht und Fahrbahnzustand, Verkehrssteuerung und -regeln, Konfliktfläche, Objekte und Landmarken, Netzwerktopologie, VRU-Infrastruktur und VRU-Hotspots. Hinsichtlich der Definition der jeweiligen Merkmale wird wieder auf die Dokumentation der Situationsbeschreibung verwiesen.

Objekte und Landmarken bilden ein Obermerkmal und lassen sich mit Hilfe weiterer Merkmale und Attribute detailliert beschreiben. Siehe hierzu Tabelle 17.

**Tabelle 17: Detaillierte Beschreibung des Merkmals Objekte- und Landmarken**


Merkmalsname	Erläuterung	Beispiel
ID	Identifikationsnummer	C0001
Name	Genaue Bezeichnung	Denkmal (säulenförmig)
Geometrie	Koordinaten (geografische u. inertielle), Maße und Form	48.150779, 11.570064; 3mx1m;
Geometrieklasse	Angabe der Geometrie und Erscheinungsform des Objektes oder der Landmarke, wie Punkt(e), Linie(n), Polylinie(n), Polygone, Volumen oder Oberfläche	 Volumen (solid Geometry)
Objektmerkmale	Textur, Muster, Farbe (z.B. (Warn-)Farben wie rot-weiß an Säulen, Baken, Mustern etc.)	einfarbig, rostbraun
Semantische Verknüpfung	Beschreibung der generellen Beziehung des Objektes zu Entwurfselementen, dynamischen Komponenten oder Verkehrsteilnehmern	Kreisinsel (teilweise befahrbar)
Bezug zu relevanten Entwurfselementen (Ontologien)	Beschreibung der speziellen Beziehung des Objektes zu den untersuchten Entwurfselementen, dynamischen Komponenten oder Verkehrsteilnehmern	Autofahrer haben eingeschränkte Sicht auf beschränkten (im Verlauf des Manövers variierenden) Bereich der Kreisfahrbahn und der Zufahrten
Nach OpenDrive 1.4	Spezifikation nach OpenDRIVE 1.4	fehlend

Abbildung 37 zeigt eine Übersicht der wichtigen statischen Infrastrukturelemente eines Kreisverkehrs.

### Zweistreifiger, befahrbarer Kreisverkehr

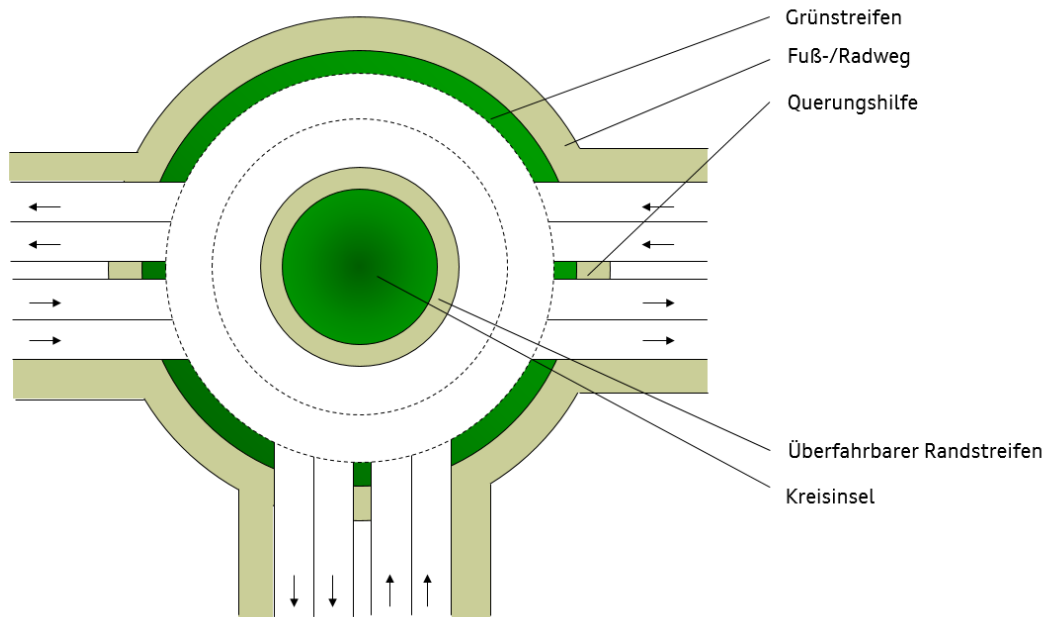
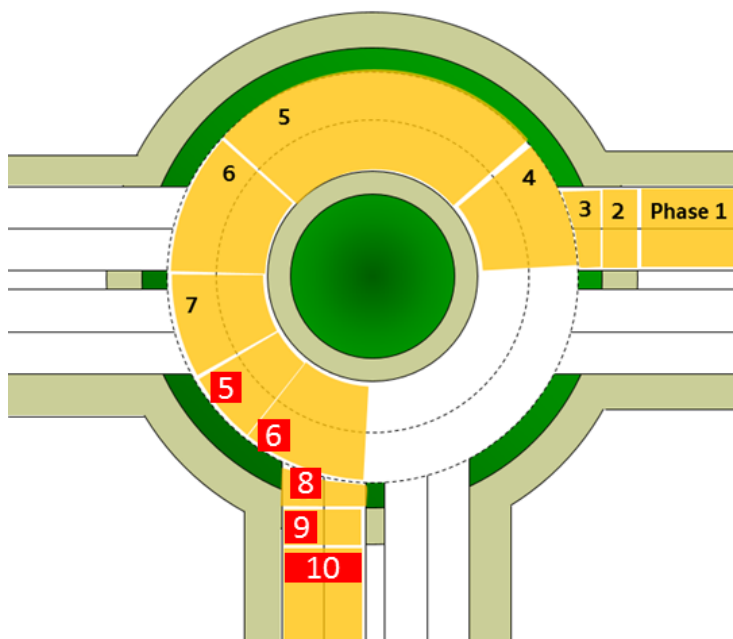


Abbildung 37: Übersicht der wichtigen statischen Infrastrukturelemente für eine beispielhafte Anwendung des Phasenmodells an Kreisverkehren

Die dynamischen, Topologie unspezifischen Merkmale sind für Kreisverkehre identisch zu denen für Kreuzungen. Kreisverkehre stellen im Grunde eine Untermenge von Kreuzungen dar, da sie aus einer Aneinanderreihung von dreiarmigen Kreuzungen bestehen, jeweils verbunden durch kurze Verbindungsstraßen mit kleinen Kurvenradien.

Das Phasenmodell für Kreisverkehre kann analog zu Kreuzungen in mehrere Phasen unterteilt werden. Bei Berücksichtigung identischer Fahraufgaben in einzelnen Segmenten ergibt sich die in nachfolgendem Bild gewählte Aufteilung in 10 Phasen.



Phase	Beginn	Ende
1	Zufahrt auf den Kreisverkehr vor der Querungshilfe	Anfang der Querungshilfe
2	Anfang der Querungshilfe	Ende der Querungshilfe
3	Ende der Querungshilfe	Einfahrt zum Kreisverkehr
4	Einfahrt zum Kreisverkehr	Zielspur des Kreisverkehr inkl. Manöverraum
5	Zielspur des Kreisverkehr inkl. Manöverraum	Zufahrt auf Ausfahrtmöglichkeit
6	Zufahrt auf Ausfahrtmöglichkeit	Zufahrt auf Einfahrtmöglichkeit
7	Zufahrt auf Einfahrtmöglichkeit	Ende der Einfahrtmöglichkeit
5	Ende der Einfahrtmöglichkeit	Zufahrt auf Ausfahrtmöglichkeit
6	Zufahrt auf Ausfahrtmöglichkeit	Ende der Ausfahrtmöglichkeit
8	Ende der Ausfahrtmöglichkeit	Anfang der Querungshilfe
9	Anfang der Querungshilfe	Ende der Querungshilfe
10	Ende der Querungshilfe	Abfahrt vom Kreisverkehr

Abbildung 38: Fahrmanöver an einem Kreisverkehr mit dem Phasenmodell mit Chronologie und Phasen

Die Fahrerbeschreibung ist ein von dem Fahrscenario unabhängiges Beschreibungselement und gilt für den Kreisverkehr genauso wie für die Kreuzung. Dementsprechend ergeben sich dieselben Merkmale wie bei der Beschreibung des Fahrers an Kreuzungen.

Auch die Systemausprägung ist bei Kreisverkehren identisch mit jener an Kreuzungen, die bereits weiter oben beschrieben wurde.

Hinsichtlich des Nominalverhaltens kann bei Kreisverkehren ähnlich wie bei Kreuzungen eine Hierarchisierung der Attribute mithilfe von Entscheidungsbäumen vorgenommen werden. Allerdings ergeben sich beim Kreisverkehr durch die Wiederholung von identischen Fahraufgaben vom Vorhergehenden abweichende Bedingungen, wie in Abbildung 39 dargestellt. In den einzelnen Phasen können jedoch einige Entscheidungen vorweggenommen werden, da beim Kreisverkehr bestimmte Bedingungen wie zum Beispiel die Vorfahrt der Kreisfahrbahn bereits gegeben sind.

Phasen 1-3 <b>Rechtsabbiegen an T-Kreuzung</b>		Phase 1 Einfahrt
		Phase 2 Abbiegen
		Phase 3 Ausfahrt
Phase 4 <b>Verbindungsstrecke</b>		Geradeausfahren
		Fahrstreifenwechsel
		Anhalten
Entscheidung von KV abfahren (Phasen 8-10) oder nicht (Phasen 5-7)		
Phasen 5-7 <b>Geradeausfahren an T-Kreuzung</b>	Phase 5 Einfahrt	Phasen 8-10 <b>Rechtsabbiegen auf T-Kreuzung</b>
	Phase 6 Überqueren	
	Phase 7 Ausfahrt	
		Phase 8 Einfahrt
		Phase 9 Abbiegen
		Phase 10 Ausfahrt
<b>Loop back</b> in Phase 4		

Abbildung 39: Auflistung der zur Anwendung kommenden Phasen für Hierarchisierung eines Fahrmanövers an einem Kreisverkehr

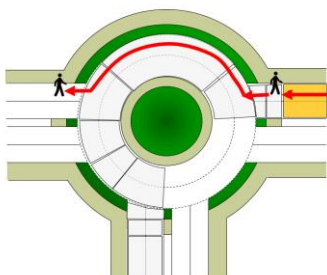
Wichtig ist die grundlegende Unterscheidung zwischen großen Kreisverkehren und allen anderen Formen nach FGSV (2006). Bei der Unterscheidung ist es hilfreich, eine Junction Group zu definieren, die allen Formen des Kreisverkehrs entspricht. Anschließend können die einzelnen Junctions auf das Vorhandensein von Lichtsignalanlagen geprüft werden. Falls das gänzlich oder teilweise zutrifft, kann man auf einen großen Kreisverkehr nach FGSV (2006) schließen.

Eine Auswahl an möglichen Nominalverhalten am Kreisverkehr mit drei Einmündungen wurde in der folgenden Tabelle 18 zusammengestellt. Diese Nominalverhalten resultieren aus der Ausführung des Entscheidungsbaums für Kreisverkehre.

Tabelle 18: Auflistung möglicher Nominalverhalten an einem zweistreifig befahrbaren Kreisverkehr

**Nr.**

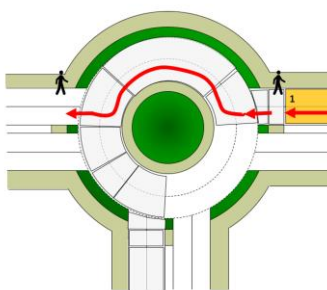
1



**Nominalverhalten**

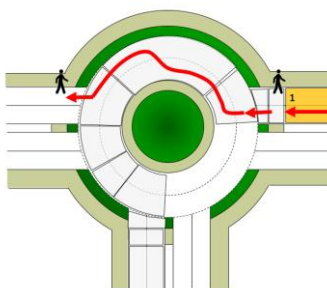
- Fahrzeug nähert sich aus Zufahrt 1 der Kreisfahrbahn auf dem rechten von zwei Fahrstreifen, bleibt kurz stehen, da Rad- und Fußweg; Einfahrt in die Kreisfahrbahn (rechter Fahrstreifen);
- nach Befahren der Kreisfahrbahn wird bei Ausfahrt 2 (Z2) abgebogen, dabei wird geblinkt und ein Schulterblick gemacht;
- Während der Ausfahrt ordnet sich das Fahrzeug wieder auf dem rechten Fahrstreifen der Ausfahrt 2 (Z 2) ein

2



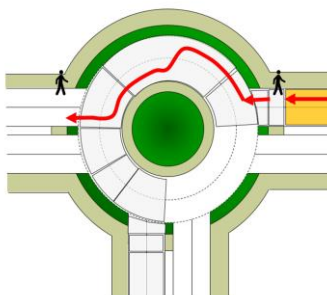
- Fahrzeug nähert sich aus Zufahrt 1 der Kreisfahrbahn auf dem linken von zwei Fahrstreifen, bleibt kurz stehen, da Rad- und Fußweg; Einfahrt in die Kreisfahrbahn (linker Fahrstreifen);
- nach Befahren der Kreisfahrbahn wird bei Ausfahrt 2 (Z2) abgebogen, dabei wird geblinkt und ein Schulterblick gemacht;
- Während der Ausfahrt ordnet sich das Fahrzeug wieder auf dem linken Fahrstreifen der Ausfahrt 2 (Z 2) ein

3



- Fahrzeug nähert sich aus Zufahrt 1 der Kreisfahrbahn auf dem linken von zwei Fahrstreifen, bleibt kurz stehen, da Rad- und Fußweg; Einfahrt in die Kreisfahrbahn (linker Fahrstreifen);
- Während dem Befahren wird ein Fahrstreifenwechsel auf den rechten Fahrstreifen gemacht; nach Befahren der Kreisfahrbahn wird bei Ausfahrt 2 (Z2) abgebogen, dabei wird geblinkt und ein Schulterblick gemacht;
- Während der Ausfahrt ordnet sich das Fahrzeug auf dem rechten Fahrstreifen der Ausfahrt 2 (Z 2) ein

4



- Fahrzeug nähert sich aus Zufahrt 1 der Kreisfahrbahn auf dem rechten von zwei Fahrstreifen, bleibt kurz stehen, da Rad- und Fußweg; Einfahrt in die Kreisfahrbahn (rechter Fahrstreifen);
- Während dem Befahren wird ein Fahrstreifenwechsel auf den linken Fahrstreifen gemacht; nach Befahren der Kreisfahrbahn wird bei Ausfahrt 2 (Z2) abgebogen, dabei wird geblinkt und ein Schulterblick gemacht;
- Während der Ausfahrt ordnet sich das Fahrzeug auf dem linken Fahrstreifen der Ausfahrt 2 (Z 2) ein



5	Variationen von Nr. 1 bis 4 für Ausfahrt 3 (Z3)
bis	
8	
9	Variationen von Nr. 1 bis 4 für Ausfahrt 1 (Z1)
bis	
12	
13	Variationen von Nr. 1 bis 12 für n zusätzliche Umfahrungen der Kreisfahrbahn
bis	
18	

Anhand der Tabelle sieht man, dass bereits für diesen recht einfach strukturierten Kreisverkehr 18 mögliche Nominalverhalten definiert werden können. Für den Fall eines mehrmaligen Durchfahrens der gesamten Kreisfahrbahn ergibt sich ein zusätzlicher Faktor **n**. Die textuelle Beschreibung der Nominalverhalten in

Tabelle 18 erfolgte so, dass je übergeordneter Phase der Fahrfunktion jeweils nur ein Stichpunkt genannt wird, um die Beschreibung übersichtlich zu halten.

Aufbauend auf dem möglichen Nominalverhalten und Ergänzung von dynamischen Merkmalen kann eine beispielhafte Situation am Kreisverkehr beschrieben werden, vgl. Abbildung 40.

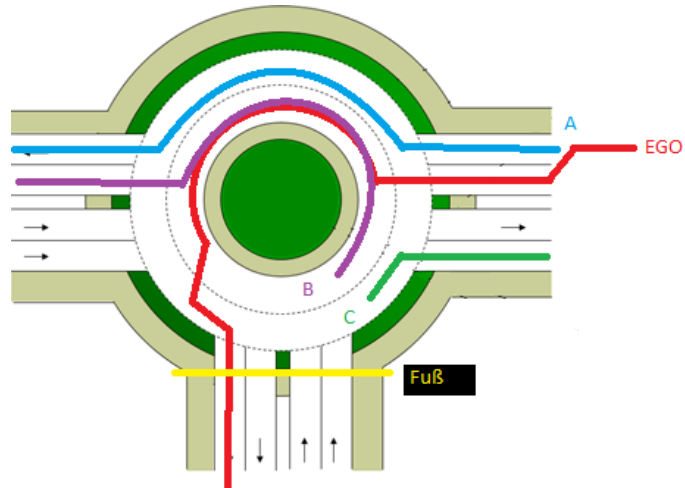


Abbildung 40: Darstellung einer speziellen Situation an einem Kreisverkehr mit drei PKW, dem EGO-Fahrzeug und einem Fußgänger

Für dieses Beispiel können die 10 Phasen wie folgt beschrieben werden:

*Phase 1:* Das Ego-Fahrzeug (rechts) nähert sich mit 50km/h dem Kreisverkehr auf dem rechten Fahrstreifen. Ein weiteres Fahrzeug (A) fährt in 10m Abstand vor dem Ego Fahrzeug mit gleicher Geschwindigkeit.

*Phase 2:* Das Ego-Fahrzeug möchte links abbiegen, setzt den Blinker und bremst mit  $-1\text{m/s}^2$  leicht auf 40km/h ab. Das Ego-Fahrzeug beginnt mit einem Fahrstreifenwechsel nach links.

*Phase 3:* Nach dem Fahrstreifenwechsel werden 2 weitere Verkehrsteilnehmer durch die Sensorik erkannt. Auf der Kreisfahrbahn nähern auf beiden Fahrstreifen je ein weiteres Fahrzeug (B) und (C). Das Fahrzeug (C) auf dem äußeren Fahrstreifen nähert sich mit 30km/h mit einer Bremsverzögerung von  $-4\text{m/s}^2$  und gesetztem Blinker nach rechts. Daraus kann ein abbiegen dieses Fahrzeuges impliziert werden. Das Fahrzeug (B) auf dem inneren Fahrstreifen nähert mit 30km/h ohne gesetztem Blinker. Das Fahrzeug (A) bremst mit  $-4\text{m/s}^2$  auf 30 km/h ab. Das Egofahrzeug bremst mit  $-3\text{m/s}^2$  bis zum Stillstand ab. Um dem Auf dem inneren Fahrstreifen Fahrenden Fahrzeug Vorrang zu gewähren.

*Phase 4:* Das Fahrzeug (C) biegt aus der Kreisfahrbahn nach rechts ab, und muss nichtmehr berücksichtigt werden. Das Fahrzeug (A) fährt auf den äußeren Kreisfahrstreifen ein. Das Ego-Fahrzeug steht im Stillstand an der Kreisverkehrseinfahrt. Das Fahrzeug (B) fährt an der Kreisverkehrseinfahrt vorbei.

*Phase 5:* Das Ego-Fahrzeug fährt nachdem es dem Fahrzeug (B) Vorfahrt gewährt hat mit einer Beschleunigung von  $5\text{ m/s}^2$  bis zu einer Geschwindigkeit von 30 km/h in den Kreisverkehr auf die innere Kreisfahrbahn ein. Die beiden vorfahrenden Fahrzeuge (A) und (B), setzen den Blinker rechts. Daraus kann ein abfahren von der Kreisfahrbahn abgeleitet werden.

*Phase 6:* Das Fahrzeug (A) fährt von der Kreisfahrbahn nach links auf den rechten Fahrstreifen ab und muss nichtmehr beachtet werden. Das Fahrzeug (B) fährt von der Kreisfahrbahn nach links auf den linken Fahrstreifen ab und muss nichtmehr beachtet werden. Das Egofahrzeug fährt an der Linken Kreisverkehrausfahrt vorbei, setzt den Blinker rechts und bereitet einen Fahrstreifenwechsel vor.

*Phase 7:* Von der Sensorik wird ein Fußfänger detektiert, der im Begriff ist die Zielfahrbahn des Ego Fahrzeugs mit 5 km/h von links zu überqueren. Das Ego Fahrzeug nimmt den Fahrstreifenwechsel nach rechts vor, und bereitet das Abfahren von der Kreisfahrbahn nach unten vor. Dabei bremst es mit  $-4\text{m/s}^2$ .

*Phase 8:* Der Fußgänger befindet sich auf dem rechten Fahrstreifen der Ausfahrtsfahrbahn. Das Ego Fahrzeug verlässt die Kreisfahrbahn nach unten auf den rechten Fahrstreifen und bremst weiter bis zum Stillstand vor der Querungshilfe (Fahrbahnteiler).

*Phase 9:* Der Fußgänger hat die Kreisverkehrausfahrt zur Hälfte überquert und muss nicht weiter berücksichtigt werden. Das Egofahrzeug beschleunigt mit  $3\text{m/s}^2$  auf 10 km/h quert die Querungshilfe auf dem Zielfahrstreifen.

*Phase 10:* Das Egofahrzeug beschleunigt weiter mit  $2\text{m/s}^2$  auf 50 km/h. Der Fußgänger bewegt weiterhin auf der Querungshilfe, jedoch jetzt auf der Einfahrtsseite, und muss daher nicht weiter berücksichtigt werden.

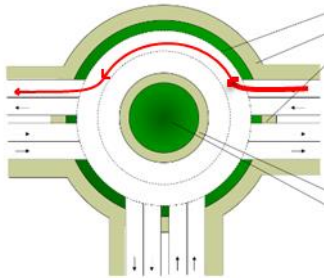
### Situationskatalog

Basierend auf dem beschriebenen Nominalverhalten an Kreisverkehren lässt sich nun eine beliebige Situation darstellen, indem andere dynamische Verkehrsteilnehmer berücksichtigt werden. Die nachfolgende Tabelle 19 zeigt exemplarisch einige Situationen, die für @CITY und @CITY-AF relevant sind. Erste Anforderungen an die anderen Teilprojekte sowie eine kurze Ausführung zu möglichen Teststrategien wurden bereits in AP3.1 erarbeitet, die weitere Detaillierung erfolgt in den anderen Teilprojekten/Arbeitspaketen.

Tabelle 19: Situationskatalog für Kreisverkehre

**Beschreibung der Situation**

1

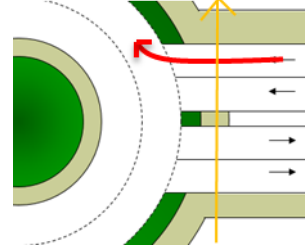


Szenario: KV1->Fahren auf Kreisverkehr

- Fahren auf zweispurigem Kreisverkehr
- Derzeit keine anderen Verkehrsteilnehmer

**Beschreibung der Situation**

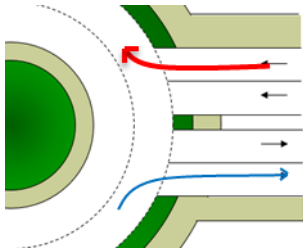
2



Szenario: KVE1->Einfahren in Kreisverkehr mit SV

- Einfahren in zweispurigen Kreisverkehr
- Fußgänger überquert Einfahrt auf Querungshilfe

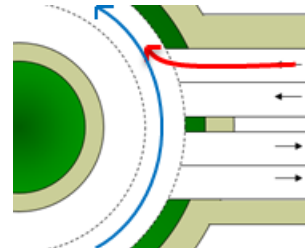
3



Szenario: KVE2->Einfahren in Kreisverkehr mit ausfahrendem Verkehr

- Einfahren in zweispurigen Kreisverkehr
- Mit ausfahrendem Verkehr

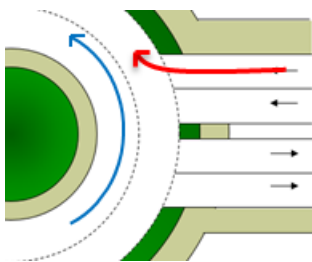
4



Szenario: KVE3.1->Einfahren in Kreisverkehr mit bevorrechtigtem Verkehr 1

- Einfahren in zweispurigen Kreisverkehr
- Mit bevorrechtigtem Verkehr auf Außenspur

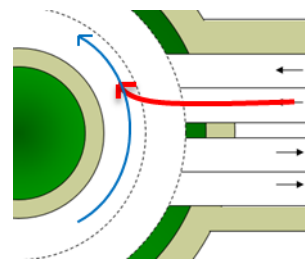
5



Szenario: KVE3.2-> Einfahren in Kreisverkehr mit bevorrechtigtem Verkehr 2

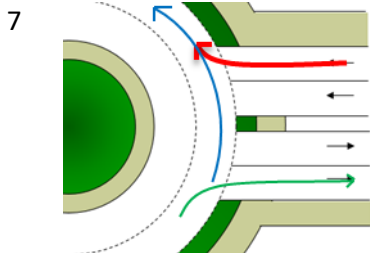
- Einfahren in zweispurigen Kreisverkehr auf Außenspur
- Mit bevorrechtigtem Verkehr auf Innenspur

6



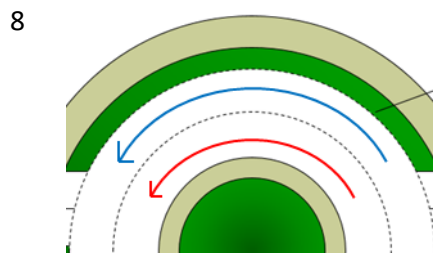
Szenario: KVE3.3-> Einfahren in Kreisverkehr mit bevorrechtigtem Verkehr 3

- Einfahren in zweispurigen Kreisverkehr auf Innenspur
- Mit bevorrechtigtem Verkehr auf Innenspur



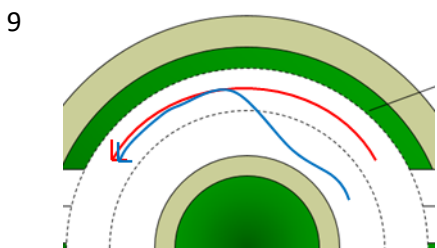
Szenario: KVE4->Einfahren in Kreisverkehr mit bevorzugtem Verkehr und ausfahrendem Verkehr

- Einfahren in zweispurigen Kreisverkehr
- Mit bevorzugtem Verkehr auf Außenspur
- Mit ausfahrendem Verkehr



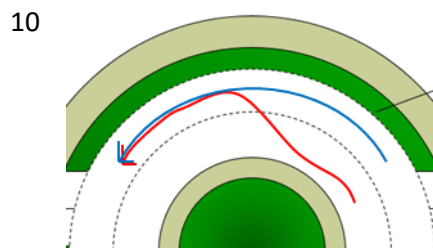
Szenario: KVV1->Befahren von Kreisverkehr mit benachbartem Verkehr

- Fahren auf zweispurigem Kreisverkehr
- Mit benachbartem Verkehr



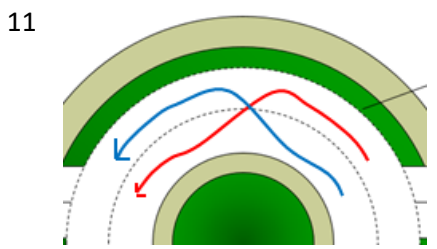
Szenario: KVV2->Befahren von Kreisverkehr mit spurwechselndem Verkehr

- Fahren auf zweispurigem Kreisverkehr
- Mit auf Ego-Fahstreifen wechselndem Verkehr



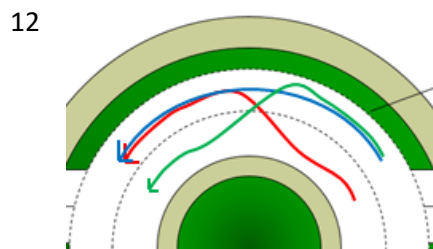
Szenario: KVV3->Spurwechsel in Kreisverkehr mit benachbartem Verkehr

- Spurwechsel auf zweispurigem Kreisverkehr
- Mit benachbartem Verkehr



Szenario: KVV4->Spurwechsel in Kreisverkehr mit spurwechselndem Verkehr

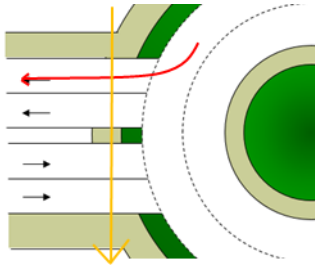
- Spurwechsel auf zweispurigem Kreisverkehr
- Mit gegenläufig spurwechselndem Verkehr



Szenario: KVV5->Spurwechsel in Kreisverkehr mit benachbartem Verkehr und spurwechselndem Verkehr

- Spurwechsel auf zweispurigem Kreisverkehr
- Mit benachbartem Verkehr
- Mit gegenläufig spurwechselndem Verkehr

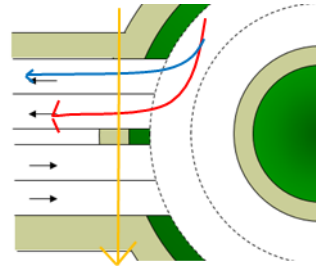
13



Szenario: KVA1->Ausfahrt aus Kreisverkehr mit SV

- Ausfahren aus zweispurigem Kreisverkehr
- Fußgänger überquert Ausfahrt auf Querungshilfe

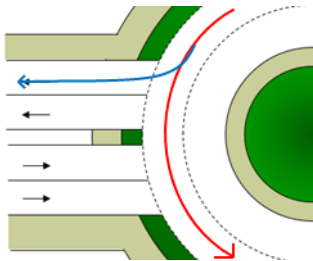
14



Szenario: KVA2->Ausfahrt mit Spurwechsel aus Kreisverkehr mit SV und vorfahrendem Verkehr

- Ausfahren mit Spurwechsel aus zweispurigem Kreisverkehr
- Fußgänger überquert Ausfahrt auf Querungshilfe
- Mit vorfahrendem Ausfahrtsverkehr

15



Szenario: KV2->Verbleiben in Kreisverkehr mit vor- und ausfahrendem Verkehr

- Verbleiben in zweispurigem Kreisverkehr
- Mit vorfahrendem Ausfahrtsverkehr

▪

## Urbane Straßen Spezifikationsmethodik und Nominalverhalten

Urbane Straßen verbinden urbane Knotenpunkte. Sie führen zu Kreuzungen und Kreisverkehren hin bzw. gehen von ihnen aus. Ebenso wie die Knotenpunkte lassen sich die urbanen Straßen mit Hilfe von statischen und dynamischen Merkmalen beschreiben. Der zeitliche Ablauf beim Durchfahren einer urbanen Straße lässt sich mit einem Phasenmodell beschreiben, wobei für jede Phase die dynamischen Komponenten und Merkmale mit Hilfe von Attributen gesondert beschrieben werden. Die Spezifikationsmethodik für statische Elemente besteht, soweit möglich, aus den gleichen Merkmalen, wie sie bereits zur Beschreibung der Kreuzungen verwendet wurden.

Die dynamischen, Topologie unspezifischen, Merkmale sind für urbane Straßen identisch zu denen für Kreuzungen. Hinsichtlich der Topologie spezifischen Merkmale ergeben sich folgende Anpassung: Die Topologie einer urbanen Straße kann temporär verändert sein, wenn z.B. aufgrund einer Baustelle oder eines in zweiter Reihe parkenden Fahrzeugs die Spurbreite verändert bzw. sogar ein ganzer Fahrstreifen nicht befahrbar ist.

Zur detaillierten Beschreibung ausgewählter dynamischer Fahrmanöver ist es wichtig, mittels eines Phasenmodells eine zeitliche Komponente in der Spezifikationsmethodik zu integrieren. Das Phasenmodell ermöglicht es, die dynamischen Attribute und deren Änderung beim Befahren von Verbindungsstraßen abzubilden. @CITY bzw. @CITY-AF verwendet das Phasenmodell nach Dozza et al. (2016)<sup>19</sup>, um das Passieren eines Hindernisses bzw. einer Engstelle auf einer Verbindungsstraße zu beschreiben, vgl. Tabelle 20.

Tabelle 20: Phasenmodell für das Passieren eines Hindernisses

		Beschreibung	Ausdehnung
<b>Phase 4</b> Einlenken nach rechts		Phase 4: Fahrt nach rechts	<i>Beginn:</i> Ab Beginn des Einlenkens nach rechts <i>Ende:</i> Bis zum Ende des Lenkvorgangs
<b>Phase 3</b> Vorbeifahrt		Phase 3: Vorbeifahrt	<i>Beginn:</i> Am Anfang des Passiervorgangs <i>Ende:</i> Am Ende des Passiervorgangs
<b>Phase 2</b> Einlenken nach links		Phase 2: Fahrt nach links	<i>Beginn:</i> Ab Beginn des Einlenkens nach links <i>Ende:</i> Bis zum Ende des Lenkvorgangs
<b>Phase 1</b> Freie Fahrt		Phase 1: Freie Fahrt	<i>Beginn:</i> Ab Ende der Phase 4 <i>Ende:</i> Bis zum Beginn des Einlenkens nach links

Die Fahrerbeschreibung ist ein von dem Fahrscenario unabhängiges Beschreibungselement und gilt für die urbane Straße genauso wie für die Kreuzung. Auch die Spezifikationsmethodik der Systemausprägung an urbanen Straßen ist äquivalent zu der Systemausprägung an Kreuzungen. Potentielle und fixe Systemgrenzen werden lediglich auf urbane Straßen bezogen.

<sup>19</sup> Dozza, M., Schindler, R., Bianchi-Piccinini, G. & Karlsson, J. 2016. How do drivers overtake cyclists? <https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.12.008>



Hinsichtlich des Nominalverhaltens auf urbanen Straßen sind im Allgemeinen folgende Manöver zu unterscheiden: Geradeausfahren und Fahrstreifenwechsel mit Unterscheidung der Fahrtrichtung. In Tabelle 21 sind die möglichen Manöver inklusive einer Hierarchisierung der als wichtig erachteten Attribute dargestellt.

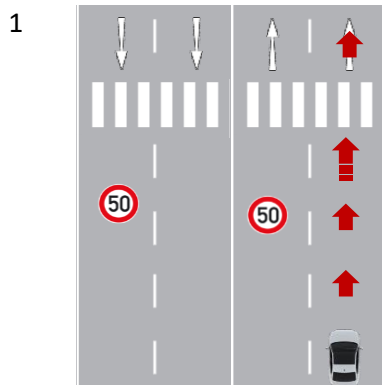
**Tabelle 21: Hierarchisierung der Attribute für Urbane Straßen**

Manöver	Geradeausfahren				Fahrstreifenwechsel nach links				Fahrstreifenwechsel nach rechts				
	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	
Dimensionierung													
Mehr als ein Fahrstreifen vorhanden?	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	
Baustellen / Behinderungen													
Ist Manöver möglich?	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	
Objekte auf der Fahrbahn													
Ist Manöver möglich?	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	
Verkehrssteuerung und Regeln													
Ist Fahrstreifenwechsel/Geradeausfahrt erlaubt?	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	
Besondere Merkmale													
Fußgängerüberweg vorhanden?	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	

Bei den rot markierten Bereichen muss jeweils ein anderes Manöver ausgeführt werden. Hierzu zählt auch Anhalten. Mit Hilfe dieser Hierarchisierung lässt sich das Nominalverhalten für eine beliebige urbane Straße ableiten. Zur Verdeutlichung listet die nachfolgende Tabelle 22 das abgeleitete Nominalverhalten an einer zweispurigen Verbindungsstraße mit Zebrastreifen.

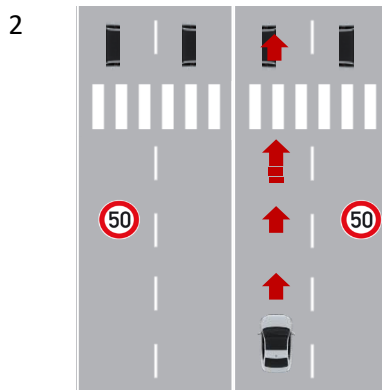
**Tabelle 22: Nominalverhalten an einer zweispurigen Verbindungsstraße mit Fußgängerüberweg (Zebrastreifen)**

**Nr. Szenario**



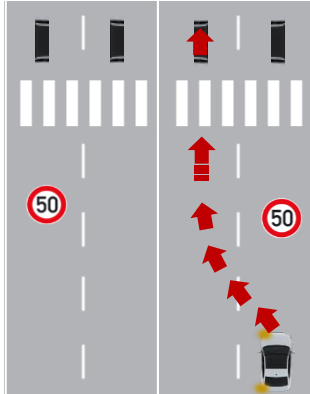
**Nominalverhalten**

- Fahrzeug fährt auf der Fahrbahn V1 der zweispurigen Verbindungsstraße;
- Nachdem der Zebrastreifen erkannt wird, beginnt das Fahrzeug zu verzögern;
- Fahrzeug erkennt Hindernisfreiheit voraus und beschleunigt wieder;
- Zebrastreifen wird überfahren und die Fahrt unvermindert fortgesetzt.



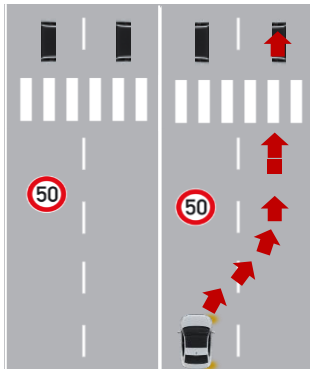
- Fahrzeug fährt auf der Fahrbahn V2 der zweispurigen Verbindungsstraße;
- Nachdem der Zebrastreifen erkannt wird, beginnt das Fahrzeug zu verzögern;
- Fahrzeug erkennt Hindernisfreiheit voraus und beschleunigt wieder;
- Zebrastreifen wird überfahren und die Fahrt unvermindert fortgesetzt.

3



- Fahrzeug fährt auf der Fahrbahn V1 der zweispurigen Verbindungsstraße;
- Fahrzeug führt einen Fahrstreifenwechsel von V1 auf V2 durch;
- Zebrastreifen wird erkannt und Fahrzeug beginnt zu verzögern;
- Fahrzeug erkennt Hindernisfreiheit voraus und beschleunigt wieder;
- Zebrastreifen wird überfahren und die Fahrt unvermindert fortgesetzt.

4



- Fahrzeug fährt auf der Fahrbahn V2 der zweispurigen Verbindungsstraße;
- Fahrzeug führt einen Fahrstreifenwechsel von V2 auf V1 durch;
- Zebrastreifen wird erkannt und Fahrzeug beginnt zu verzögern;
- Fahrzeug erkennt Hindernisfreiheit voraus und beschleunigt wieder;
- Zebrastreifen wird überfahren und die Fahrt unvermindert fortgesetzt.

5  
bis  
8

Variationen von Nr. 1 bis 4 für Fahrstreifenwechsel nach Zebrastreifen

### Situationskatalog

Auch für die urbanen Straßen kann basierend auf dem Nominalverhalten eine beliebige Situation dargestellt werden, indem andere dynamische Verkehrsteilnehmer berücksichtigt werden. Die nachfolgende Tabelle 23 zeigt exemplarisch einige Situationen, die im Rahmen von @CITY und @CITY-AF besonders von Interesse sind. Erste Anforderungen an die anderen Teilprojekte sowie eine kurze Ausführung zu möglichen Teststrategien wurden bereits in AP 3.1 erarbeitet und sind dem Dokument „Dokumentation\_Situationsbeschreibung\_V3.0\_2018\_11\_05\_white\_Version.docx“ in Kapitel 4.2 zu entnehmen. Die weitere Detaillierung erfolgt in den anderen Teilprojekten/Arbeitspaketen.

**Tabelle 23: Situationskatalog für Urbane Straßen**

**Nr. Beschreibung der Situation**

1



**Szenario:** VS1->Fahren auf Verbindungsstraße

- Fahren auf einspuriger Verbindungsstraße
- Derzeit kein Gegenverkehr

**Nr. Beschreibung der Situation**

2



**Szenario:** VS2->Fahren auf Verbindungsstraße mit Gegenverkehr

- Fahren auf einspuriger Verbindungsstraße
- Mit Gegenverkehr

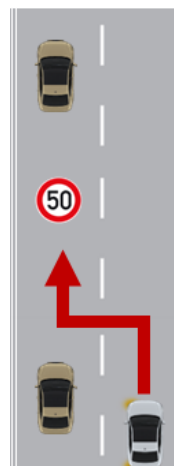
3



**Szenario:** VS3->Fahren auf Verbindungsstraße mit benachbartem Verkehr

- Fahren auf zweispuriger Verbindungsstraße
- Mit benachbartem Verkehr

4



**Szenario:** VS4->Fahren auf Verbindungsstraße mit benachbartem Verkehr und Fahrstreifenwechsel

- Fahren auf zweispuriger Verbindungsstraße
- Mit benachbartem Verkehr

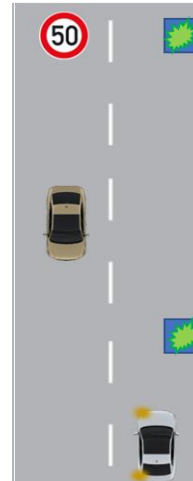
5



**Szenario: VSE1->Statische Engstelle**

- Statische Engstelle durch Blumenkübel auf einspuriger Verbindungsstraße<sup>20</sup>
- Derzeit kein Gegenverkehr

6



**Szenario: VSE2->Statische Engstelle**

- Statische Engstelle durch Blumenkübel auf einspuriger Verbindungsstraße
- Mit passierendem Gegenverkehr

7



**Szenario: VSE3->Statische Engstelle**

- Statische Engstelle durch Blumenkübel auf zweispuriger Verbindungsstraße
- Mitverkehr auf dem benachbarten Fahrstreifen

8



**Szenario: VSV1->SV überquert Straße**

- Fußgänger überquert die Fahrbahn auf dem Zebrastreifen auf der einfachen Verbindungsstraße
- Ohne Gegenverkehr

<sup>20</sup> Hinweis: Würde an Stelle des Blumenkübels ein Auto auf der Fahrbahn parken, so würde es sich um eine dynamische Engstelle handeln. Die Blumenkübel hingegen lassen sich auch auf der HD-Karte finden. Eine weitere dynamische Engstelle wäre z.B. durch ein vorausfahrendes Mähfahrzeug gegeben, welches gerade den Seitenstreifen mäht. Die Fahrstreifenplanung/Trajektorienplanung muss dementsprechend angepasst werden.

9



**Szenario: VSV2->SV überquert Straße**

- Fußgänger überquert die Fahrbahn auf dem Zebrastreifen auf der einfachen Verbindungsstraße
- Mit Gegenverkehr

10



**Szenario: VSV3->SV überquert Straße**

- Fußgänger überquert die Fahrbahn auf dem Zebrastreifen auf der zweispurigen Verbindungsstraße
- Mit benachbartem Verkehr

11



**Szenario: VSV4->SV überquert Straße**

- Fußgänger überquert die Fahrbahn auf dem Zebrastreifen auf der zweispurigen Verbindungsstraße
- Mit benachbartem Verkehr
- Mit Fahrstreifenwechsel

12



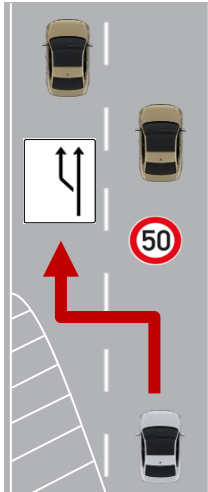
**Szenario: VSV5->SV überquert unerwartet Straße**

- Fußgänger überquert unerwartet die Fahrbahn ohne Fußgängerüberweg auf der einspurigen Verbindungsstraße mit Gegenverkehr





17



**Szenario: VA 1->Fahrstreifenaufweitung**

- Fahrstreifenaufweitung einer einstreifigen Verbindungsstraße auf zwei Fahrstreifen
- Mit voraus fahrendem benachbartem Verkehr

18



**Szenario: VH1->Haltestellenszenario**

- Omnibus fährt in Haltestelle ein
- Keine weiteren Verkehrsteilnehmer

19



**Szenario: VH2->Haltestellenszenario**

- Omnibus hält in Haltestelle
- Keine weiteren Verkehrsteilnehmer

20



**Szenario: VH3->Haltestellenszenario**

- Omnibus fährt aus Haltestelle heraus
- Keine weiteren Verkehrsteilnehmer

21



**Szenario:** VDE1->Haltestellenszenario/  
dynamische Engstelle

- Omnibus fährt aus Haltestelle heraus
- Ego-Fahrzeug muss ausweichen
- Zweispurige Verbindungsstraße mit benachbartem Verkehr

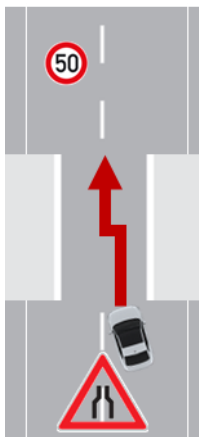
22



**Szenario:** VDE2->dynamische Engstelle  
Mähfahrzeug

- Mähfahrzeug mäht rechten Fahrstreifenrand
- Ego-Fahrzeug muss Hindernis folgen oder ausweichen/umfahren
- Einspurige Verbindungsstraße mit Gegenverkehr

23



**Szenario:** VSE4->Statische Engstelle Brücke

- Einspurige Verbindungsstraße mit Gegenverkehr
- Schmale Brückendurchfahrt
- Verengung der zwei Fahrstreifen zu einem

24



**Szenario:** VSE5->Statische Engstelle Brücke  
Vorrang vor dem Gegenverkehr

- Einspurige Verbindungsstraße mit Gegenverkehr
- Schmale Brückendurchfahrt
- Verengung der zwei Fahrstreifen zu einem
- Vorrang vor Gegenverkehr

25



**Szenario:** VSE6->Statische Engstelle Brücke mit Gegenverkehr hat Vorrang

- Einspurige Verbindungsstraße mit Gegenverkehr
- Schmale Brückendurchfahrt
- Verengung der zwei Fahrstreifen zu einem
- Gegenverkehr hat Vorrang

## Interaktion mit schwächeren Verkehrsteilnehmern Spezifikationsmethodik und Nominalverhalten

Die Spezifikationsmethodik der Interaktion mit schwächeren Verkehrsteilnehmern ist ähnlich aufgebaut wie die vorhergehenden. Die Merkmale unterteilen sich in statische und dynamische Merkmale und ergänzen die bereits identifizierten Merkmale für Knotenpunkte und urbane Straßen. Alle Teilnehmer einer Interaktion mit schwächeren Verkehrsteilnehmern (VRU) sind grundsätzlich dynamische Objekte. Dennoch bestimmen statische Merkmale, wie die Infrastruktur schwächerer Verkehrsteilnehmer (Fußgängerüberwege, Fahrradwege, ...) oder Sichtbarkeiten und Rahmenbedingungen den Ablauf der Interaktion. An Knotenpunkten haben manche statischen Komponenten in ihrer Rolle als Infrastruktur für schwächere Verkehrsteilnehmer eine besondere Bedeutung. Äquivalent zu den Knotenpunkten muss auch bei der Beschreibung von Kreisverkehren und urbanen Straßen auf für schwächere Verkehrsteilnehmer wichtige Infrastruktur geachtet werden. Des Weiteren wurden die folgenden Infrastrukturen identifiziert, an denen es vermehrt zu (speziellen) Interaktionen mit schwächeren Verkehrsteilnehmern kommt:

- Schulen, Kindergärten: Insbesondere vor dem Betreuungsbeginn und nach dem Betreuungsende kann es zu einer Gefährdung von schwächeren Verkehrsteilnehmern kommen, beispielsweise wenn Kinder bzw. Jugendliche aus parkenden Fahrzeugen steigen oder auf dem Schulweg die Straße kreuzen.
- Haltestellen: Bei haltenden öffentlichen Verkehrsmitteln ist eine erhöhte Vorsicht geboten. Fußgänger treten je nach Haltestelle unter Umständen direkt aus dem Verkehrsmittel auf die Straße oder queren die Straße direkt hinter dem öffentlichen Verkehrsmittel ohne vorher sichtbar zu sein. In wartenden Fußgängergruppen ist es in der Regel schwierig, alle Instanzen korrekt zu detektieren und zu verfolgen, was zu Schwierigkeiten führt, wenn einzelne Fußgänger plötzlich aus der Gruppe heraus auf die Straße treten.
- Andere Einrichtungen: An anderen Einrichtungen des öffentlichen Lebens wie Supermärkten oder kulturellen Einrichtungen kann es während der Öffnungszeiten ebenfalls zu einer erhöhten Anzahl an Interaktionen mit schwächeren Verkehrsteilnehmern kommen. Die Beschreibung von vorhandener Infrastruktur kann hilfreich sein, um Intentionen von Fußgängern zu präzisieren.

Die Klassifikation von VRU ist integriert in dem dynamischen *Merkmal der detaillierten Teilnehmerbeschreibung*. Schwächere Verkehrsteilnehmer unterteilen sich grundsätzlich in Radfahrer und Fußgänger, wobei sich für die Gruppe der Fußgänger weitere Untergruppen definieren lassen:

- einerseits Fußgänger mit besonderer Rolle im Straßenverkehr wie z.B. Baustellenarbeiter und Verkehrspolizisten und
- andererseits Fußgänger ohne besondere Rolle wie z.B. gewöhnliche Fußgänger, Rollstuhlfahrer, Inline-Skater und Skateboard-Fahrer.

Für die Interaktion zwischen Ego-Fahrzeug und VRUs ist die *Klassifikation der schwächeren Verkehrsteilnehmer* wesentlich. Dabei stellt die Schnittmenge der Klassifikation von Fußgängern und Radfahrern (siehe Abbildung 41) den Teil dar, der wichtig für die Intentionserkennung ist. Abhängig vom Alter und von der Einschätzung des Ablenkungsgrades des betreffenden schwächeren Verkehrsteilnehmers kann eine Prognose über die Zuverlässigkeit der Intentionserkennung gegeben, eine angepasste Kommunikationsstrategie seitens des Ego-Fahrzeugs gewählt und eine angepasste Fahrweise des Ego-Fahrzeugs (z.B. reduzierte Geschwindigkeit, Anhalten oder Warten) adaptiert werden.



Abbildung 41: Klassifikation von schwächeren Verkehrsteilnehmern

In den vorhergehenden Abschnitten wurden zur Kategorisierung und Beschreibung von Fahrmanövern eines automatisierten Fahrzeugs sog. Nominalfälle eingeführt. Diese beschreiben die verschiedenen Verhaltensoptionen eines automatisierten Fahrzeugs im statischen Verkehrsumfeld. In Situationen, in denen es zu einer Interaktion des automatisierten Fahrzeugs mit schwächeren Verkehrsteilnehmern kommt, müssen die Nominalfälle durch eine Beschreibung des Verhaltens des schwächeren Verkehrsteilnehmers in der jeweiligen Situation ergänzt werden. Dazu wird die Kategorie des Nominalverhaltens eines schwächeren Verkehrsteilnehmers eingeführt. Abhängig von der Art des betrachteten schwächeren Verkehrsteilnehmers ergeben sich unterschiedliche Verhaltensoptionen.

*Nominalverhalten Fußgänger:*

- Fußgänger nähert sich dem Fahrbahnrand und überquert die Fahrbahn
- Fußgänger nähert sich dem Fahrbahnrand und bleibt dort stehen
- Fußgänger steht am Fahrbahnrand ohne Absicht die Fahrbahn zu überqueren
- Fußgänger geht parallel zum Fahrbahnrand
- Fußgänger geht parallel zum Fahrbahnrand, wendet sich dann in Richtung Fahrbahn um und überquert die Fahrbahn
- Fußgänger geht parallel zum Fahrbahnrand, betritt dann die Fahrbahn und geht parallel zum Fahrbahnrand weiter
- Fußgänger geht auf der Fahrbahn parallel zum Fahrbahnrand

*Nominalverhalten Radfahrer:*

- Fahrrad fährt auf der Fahrbahn
- Fahrrad fährt auf der Fahrbahn und wechselt den Fahrstreifen nach links
- Fahrrad fährt auf der Fahrbahn und wechselt den Fahrstreifen nach rechts
- Fahrrad fährt auf der Fahrbahn und biegt links ab
- Fahrrad fährt auf der Fahrbahn und biegt rechts ab
- Fahrrad fährt parallel zur Fahrbahn
- Fahrrad fährt parallel zur Fahrbahn, fährt dann einen Bogen in Richtung der Fahrbahnbegrenzung und überquert die Fahrbahn
- Fahrrad fährt parallel zur Fahrbahn, fährt dann auf die Fahrbahn auf und fährt auf der Fahrbahn weiter
- Fahrrad fährt auf den Fahrbahnrand zu und überquert die Fahrbahn
- Fahrrad fährt auf den Fahrbahnrand zu und bleibt dort stehen
- Fahrrad hält am Fahrbahnrand ohne Absicht die Fahrbahn zu überqueren



Das *Merkmal VRU-Interaktion* beschreibt die Reaktion seitens eines VRU auf das Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer während der Durchführung seines geplanten Nominalverhaltens. Grundsätzlich verfolgt jeder schwächere Verkehrsteilnehmer seine Trajektorie, die er aufgrund seines beabsichtigten Manövers geplant hat. Dabei sendet er jederzeit Interaktionssignale an andere Verkehrsteilnehmer, verstärkt im Bereich von Konfliktflächen, für die er die im Merkmal VRU-Kommunikation angegebenen Kommunikationskanäle benutzt. Beispiele hierfür sind etwa: ein Fußgänger wartet am Fahrbahnrand an einer Fußgänger-LSA mit grünem Signal und gewährt den abbiegenden Fahrzeugen entgegen der Vorfahrtsregelung Vorrang, ein Fußgänger missachtet die Vorfahrt und überquert trotz rotem Signal der Fußgänger-LSA die Straße, ein Verkehrspolizist regelt den Verkehr oder ein Fußgänger ersucht Hilfe.

Für automatisierte Fahrzeuge im urbanen Bereich ist es wichtig, sowohl das Nominalverhalten als auch die VRU-Interaktion richtig zu interpretieren. Dazu müssen automatisierte Fahrzeuge erkennen, wie ein schwächerer Verkehrsteilnehmer seine Absichten kommuniziert. Die dabei genutzten Kommunikationskanäle werden im *Merkmal VRU-Kommunikation* dargestellt. Generell kann die Kommunikation auf explizite Art (z.B. Hand- oder Kopfgesten, lautmalerisch) oder implizite Art (z.B. Änderung von Geschwindigkeit oder Bewegungsrichtung, Blickrichtung, Posen, implizite Gesten, Kontext) ablaufen. Jedwede Art der Kommunikation des VRU muss jeweils auf den Kontext der Situation bezogen werden um schließlich auf die Intention schließen zu können. Denn letztendlich muss das automatisierte Fahrzeug erkennen, welches Ziel bzw. Manöver der VRU verfolgt und wie er dabei in den Interaktionsbereichen reagiert.

Bei dem *dynamischem Merkmal Verkehrssteuerung* wird hinsichtlich der Interaktion mit schwächeren Teilnehmern ergänzt, welche Faktoren der VRU-Topologie Einfluss auf die Verkehrssteuerung haben. Darunter fallen die Phasen der VRU-LSA sowie die Existenz eines Zebrastrreifens.

### **Situationskatalog**

Der Situationskatalog mit schwächeren Verkehrsteilnehmern wurde in die Situationskataloge der vorhergehenden Abschnitte integriert.

### AP 3.2 Funktionsumsetzung Situationserfassung

Verantwortung: Audi AG

Das AP 3.2 besteht aus vier Unterarbeitspaketen

- UAP 3.2.1 Digitale Karte und statisches Umfeld
- UAP 3.2.2 Lokalisierung und Landmarken
- UAP 3.2.3 Umfelderkennung und dynamisches Umfeldmodell
- UAP 3.2.4 Situationsverstehen und Situationsrepräsentation

Bei der Funktionsumsetzung Situationserfassung, geht es um die Entwicklung all jener Funktionen und Module, die notwendig sind Szenarien zu erkennen. Im Fall Valeo lag der Fokus auf der Erkennung von Engstellen und Parker in zweiter Reihe, sowie Kreuzungsspezifische Szenarien (Links-Abbiegen an T- und X-Kreuzungen, Gegenverkehr, Kreuzender Verkehr, LSA-Erkennung, Vorfahrtsregelung...) Die Funktionen wurden gem. den Anforderungen aus AP 1.1 und der Spezifikation aus AP 3.1 entwickelt.

Exemplarisch seien an dieser Stelle ein paar ausgewählte Ergebnisse vorgestellt. So wurden beispielsweise Versuchsfahrten und Aufnahmen an ausgewählten Kreuzungen in Kronach durchgeführt, um den Scala-LIDAR-Cocoon am Szenario Kreuzung zu testen und ihn daraufhin anzupassen. Die nachfolgende Abbildung zeigt die Aufnahme einer solchen Kreuzung in Kronach mit einer im Versuchsträger verbauten Fisheye-Kamera.



Abbildung 42: Kreuzungsbereich mit einer Valeo-SV<sup>21</sup>-Kamera mit Fischaugenobjektiv erfasst

Sowie die Erfassung der Szene mit Hilfe des SCALA<sup>®</sup>-Cocoons.

---

<sup>21</sup> Surround View

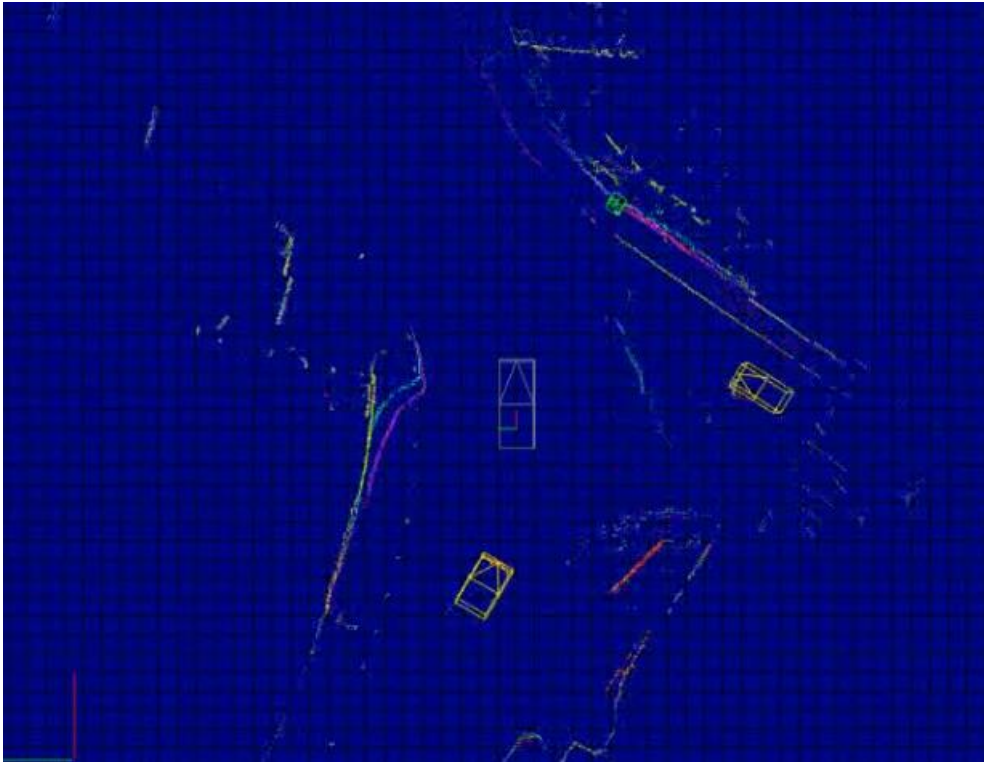


Abbildung 43: Entsprechende Erfassung der in Abbildung 16 gezeigten Umgebung mittels Lidar

Bei den Tests hat sich u.a. herausgestellt, dass gerade im Frontbereich die Erkennung nicht immer ausreichend ist. Aus diesem Grund wurde ein Scala-Sensor der zweiten Generation mit noch höherer Auflösung in die Fahrzeugfront des Range Rover Evoque integriert. Der SCALA® 2 hat anstelle von 4 Layern bereits 16 vertikale Layer mit einer Auflösung von  $0,125^\circ$  in horizontaler Richtung und ein FOV von  $145^\circ$  in horizontaler Richtung und  $10^\circ$  in vertikaler Richtung. Äußerlich ist der SCALA 2 nicht vom SCALA® 1 zu unterscheiden. Durch den größeren FOV können vom SCALA® 2 mehr Objekte erfasst werden. Die Algorithmen der semantischen Segmentierung und Objektklassifikation wurden anschließend für den SCALA® 2 optimiert.

Aufbauend auf der bereits vorgestellten Freiraum-Erkennung und Nutzung der örtlichen HD-Karten hat Valeo auf Basis oben beschriebener Objekterkennung und Objektnachverfolgung, die ersten Versuche unternommen „Parker in zweiter Reihe“ via Algorithmus zu erkennen. Hierfür wurde das von Valeo entwickelte Deep Manta Netz verwendet.

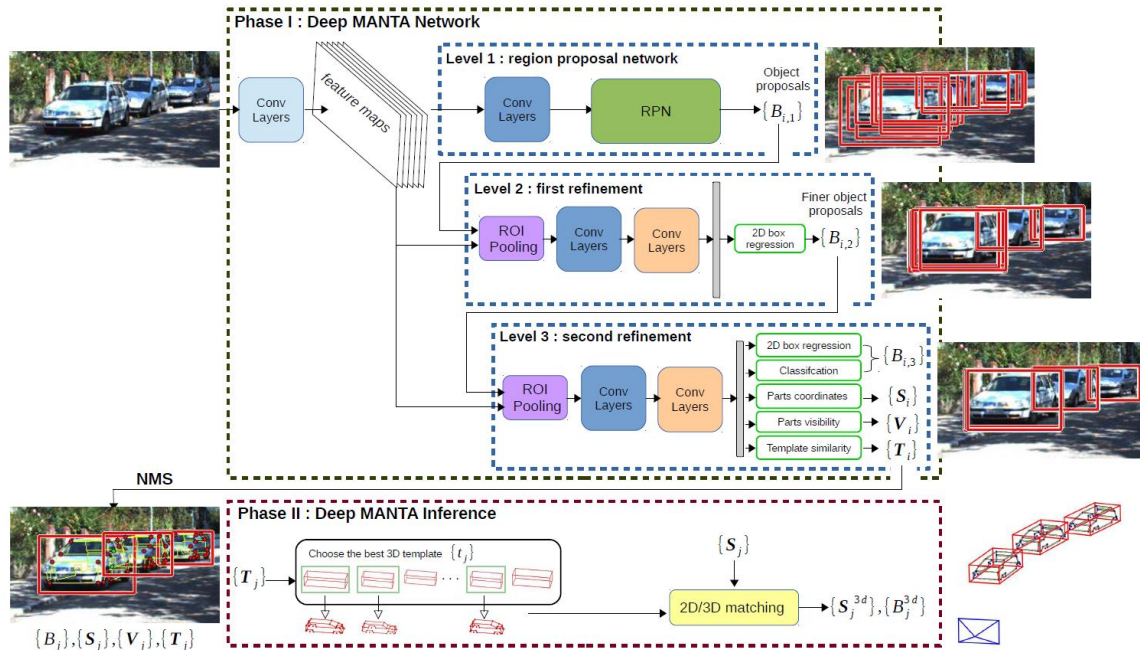


Abbildung 44: Deep Manta Netzstruktur zur Detektion sich überlappender Objekte

Gerade bei Parkern in zweiter Reihe oder Fahrzeuge die eine Engstelle verursachen (wie im Bild der Abbildung 44 links oben zu sehen) können scheinbar verbundene Objekte nicht so ohne weiteres als Einzelobjekte interpretiert werden. Hierzu wurde der Deep-Manta-Ansatz erweitert und in zwei Phasen unterteilt. Phase I bildet das eigentliche Deep-Manta-Netz mit 3 Stufen der Erkennung und einer Phase II, der Deep Manta Inferenz. In Phase zwei wird dem Objekt ein Punktenetz überlagert anhand dessen letztendlich eine Schlussfolgerung getroffen wird.

Ein Beispiel hierfür ist in Abbildung 45 gezeigt. Die Sichtbarkeit der Fahrzeugteile im Bild kann vier Zustände annehmen: 1. Sichtbar, 2. Von einem anderen Objekt verdeckt, 3. Vom eigenen Objekt verdeckt und 4. Außerhalb des Bildes. Abbildung 45(b) zeigt das überlagerte Punktenetz. Zu beachten sind die Punkte, die die verdeckten Fahrzeugteile beschreiben. Diese werden anhand bekannter Fahrzeuggeometrien ermittelt.

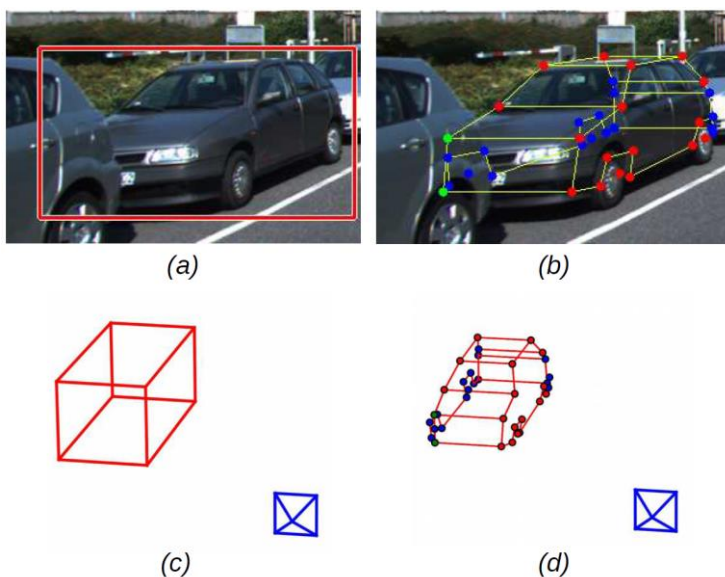


Abbildung 45: Beispiel eines 2D/3D Fahrzeugmodells. (a) 2D Bounding Box, (b) 2D Teilkoordinaten und Teilsichtbarkeit (rot: sichtbar, grün: verdeckt, blau: durch eigenes Objekt verdeckt), (c) 3D Bounding Box, (d) Detaillierte 3D Form

Mit Hilfe der separierten 3D Bounding Boxen können die erkannten Einzelobjekte nun mit der HD-Karte und den von den Sensoren erfassten dynamischen Objekten verglichen und unterschieden werden. Bei Parkern in zweiter Reihe ist dies besonders wichtig, weil der Parker ja meist auf dem Fahrstreifen steht, der eigentlich für den fließenden Verkehr gedacht ist. Mit Hilfe der vorgestellten Methode und der Zuordnung von Objektgeschwindigkeiten, können somit Parker in zweiter Reihe zuverlässig erkannt und unterschieden werden.

### **AP 3.3: Funktionumsetzung Fahrstrategie und Interaktion**

*Verantwortung: Daimler AG (Mercedes Benz AG)*

**Aufgabe:**

Hier wird die Komponente Fahrstrategie integriert und getestet. Es werden die Komponenten zum Situationsverständnis, wie in AP 1.4 entwickelt, in Betrieb genommen und entsprechend des jeweiligen Anwendungsfalles untersucht.

Die Fahrstrategie ist entsprechend des Anwendungsfalles im UAP anzupassen und zu erweitern. Dies erfordert die Implementierung von Simulationslösungen sowie in geringem Umfang auch das Einfahren, Labeln und Nachstellen entsprechender realer Fahrszenen.

Es erfolgen dann Tests im Valeo-Fahrzeug auf Testgeländen in Bietigheim, Prag und auf freigegebenen Strecken. Benötigte Werkstätten, Testfahrer und Gelände sind bei Valeo vorhanden.

Der aktuelle Stand der Arbeiten hinsichtlich der Fahrstrategie an Kreuzungen wurde fortlaufend im Dokument „2019\_09\_30Funktionumsetzung\_Fahrstrategie und Interaktion\_V0.3“ in den Kapiteln 3 und 3.1 beschrieben<sup>22</sup>. Dort wurde beispielsweise der Use Case „KP2->Verlassen einer Vorfahrtstraße durch Linksabbiegen ohne LSA“ erarbeitet und soll hier stellvertretend für viele andere Use Cases die bearbeitet wurden, vorgestellt werden.

Die Fahrstrategie für den Use Case Linksabbiegen an einer Verkehrszeichengeregelten Kreuzung ohne Fußgängerüberweg erfolgt mit Hilfe der aus AP3.1 bekannten Phasen und der in UAP1.1.2 erstellten Ablauf- und Flussdiagramme. Prinzipiell lässt sich die Befahrung der Kreuzung in 6 Unterarbeitsabschnitte unterteilen.

---

<sup>22</sup> Zugänglich für die Projektpartner auf dem @CITY-Projektserver



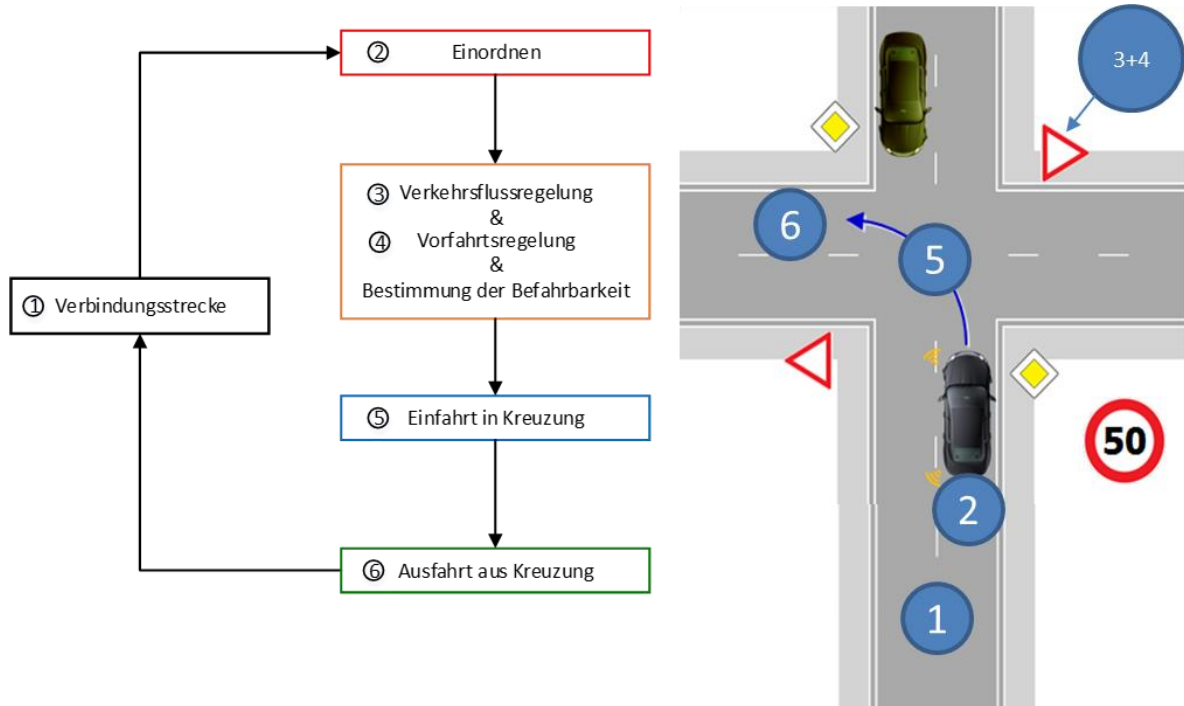


Abbildung 46: Ablaufdiagramm Linksabbiegen an Kreuzung

Im Phasenmodell bietet sich eine Einteilung in 6 Einzelphasen an.

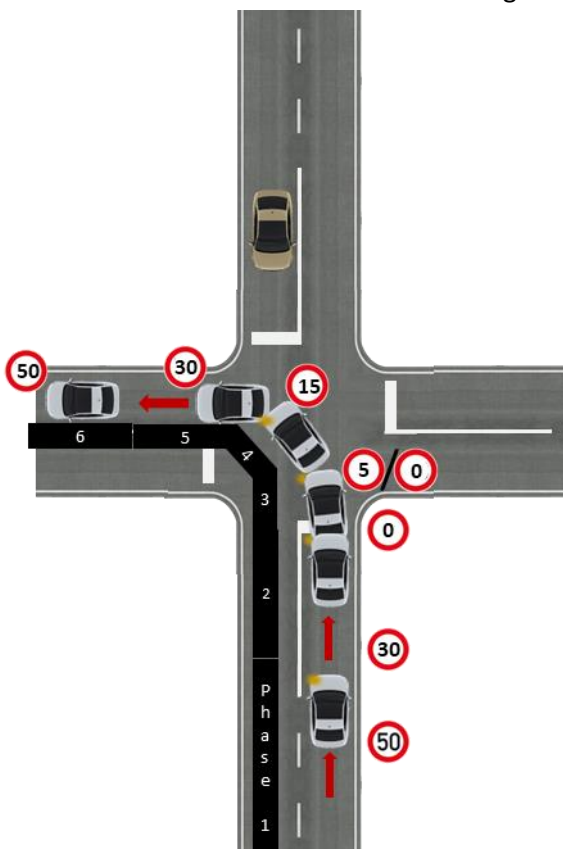


Abbildung 47: Auf Kreuzungsbeispiel angewandtes Phasenmodell

In Phase 1 befindet sich das EGO-Fahrzeug noch auf der Verbindungsstrecke. Vgl. 1. Schritt im Ablaufdiagramm. Der Blinker wird auf Links gesetzt. In Phase 2 fährt das Fahrzeug auf die Kreuzung zu und verlangsamt hierbei Schrittweise von 50 auf 30 auf 0 km/h, so dass das Fahrzeug an der Haltelinie



zum Stillstand kommt. Die Stillstandzeit wird für die Umfelderkennung genutzt. In Phase 3 beschleunigt das Fahrzeug auf Schrittgeschwindigkeit und tastet sich vorsichtig mit leichtem (10°) Linkseinschlag in die Kreuzung hinein. [Verhalten bei Rechts-Vor-Links: Falls von links Querverkehr kommt muss das Fahrzeug zum Stehen kommen, ohne die Durchfahrt des Querverkehrs zu behindern. Gleichzeitig werden der entgegenkommende Verkehr und der Durchgangsverkehr von rechts überwacht.] In obigem Beispiel wird die Fahrstrategie für den Fall entwickelt, dass weder Querverkehr von links noch Durchgangsverkehr von rechts vorhanden ist und darüber hinaus sich das Ego-Fahrzeug auf der Vorfahrtsstraße befindet. Somit muss nur mit entgegenkommendem Verkehr gerechnet werden. Ist der entgegenkommende Verkehr, der sich ebenfalls auf der Vorfahrtsstraße befindet, noch weit genug von der Kreuzung entfernt oder bereits durch die Kreuzung gefahren, so kann das EGO-Fahrzeug in die Phase 4 eintreten<sup>23</sup>. Andernfalls muss es in Phase 3 wieder zum Stillstand kommen und warten. Der Lenkeinschlag bleibt bestehen. In Phase 4 erfolgt eine Beschleunigung bis auf 15 km/h und ein Linkseinschlag (~45°/variabel) gem. der Lateralregelung aus dem Bahnplanungsmodul. Phase 5 betrifft nun schon die Ausfahrt aus dem Kreuzungsbereich. Hier gilt es der geplanten Trajektorie zu folgen, d.h. Gegenlenken nach rechts bis auf 0° und weiteres beschleunigen auf 30 km/h. In Phase 6 setzt das EGO-Fahrzeug die Fahrt auf der Verbindungsstrecke fort und beschleunigt auf 50 km/h, sofern es erlaubt und der vorausfahrende Verkehr zulässt. Ansonsten wird mit ACC geregelt.

Im Ablaufdiagramm wird der Übergang von Phase 1 in Phase 2 im Schritt 2 wie folgt beschrieben:

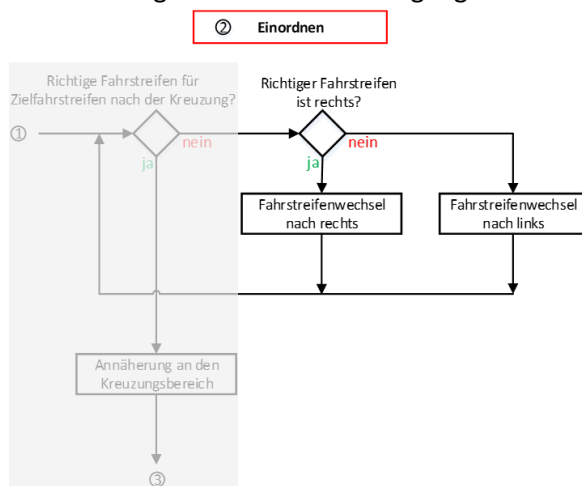


Abbildung 48: Vorgang Einordnen im Ablaufdiagramm

Danach erfolgt die Befahrbarkeit der Kreuzung (analog zu den Phasen 3-5) gem. folgender Vorfahrtsregelung:

<sup>23</sup> Es wird auch angenommen, dass der entgegenkommende Verkehr die Kreuzung nur in gerader Fahrtrichtung passieren möchte.

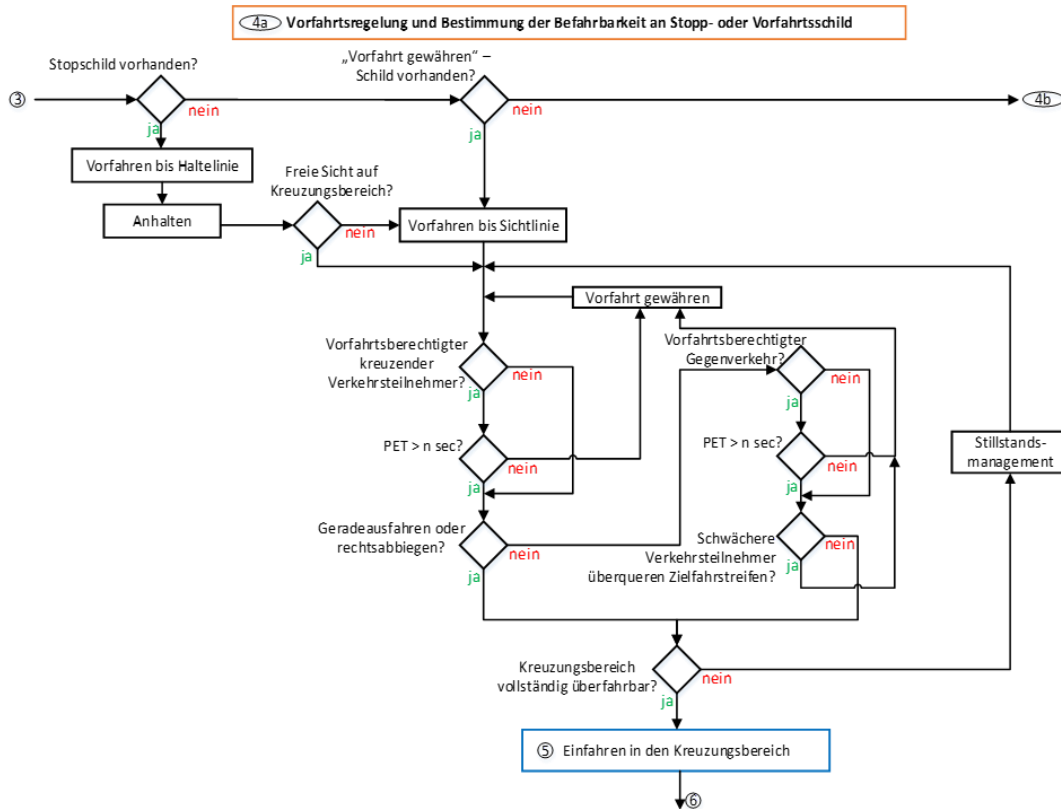


Abbildung 49: Vorfahrtsregelung gem. Ablaufdiagramm

Abschließend erfolgt die Ausfahrt aus der Kreuzung.

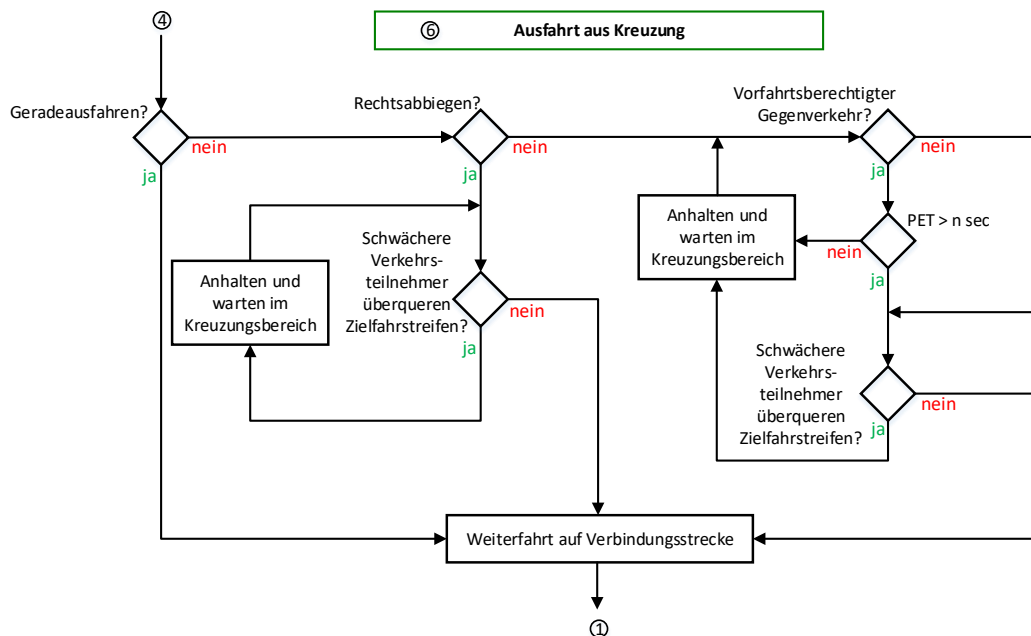


Abbildung 50: Vorgang Ausfahrt aus Kreuzung gem. Ablaufdiagramm

### Allgemeine Anforderungen

- a) Das Straßenbeschreibungsmodul soll der Trajektorienplanung die Straßentopologie mindestens 250 m vor dem Erreichen des Knotenpunktes bereitstellen, um max. drei Fahrstreifenwechsel zum Einordnen vor der Kreuzung durchführen zu können. Angenommen

werden 6 Sekunden pro Fahrstreifenwechsel und eine max. innerstädtische Geschwindigkeit von 50 km/h.

- b) Die Anforderungen für den Fahrstreifenwechsel im Straßenbeschreibungsmodul im Anforderungskatalog aus UAP 1.1.2, Freiraum Extraktionsmodul, dynamische Objektmodul an Situationsverstehen, Geschwindigkeitsbestimmungsmodul, Trajektorienplanung und Prognosemodul gelten auch für die Annäherung an den Kreuzungsbereich.
- c) Das statische Umfeldmodul soll vorfahrtsregelnde Verkehrselemente mindestens 64 m im Voraus an das Situationsverstehen senden, um eine Erwartungshaltung für die Position der Halte- oder Sichtlinie zu generieren und mit einer Komfortbremsung  $-1.5 \text{ m/s}^2$  bei max. Stadtverkehrsgeschwindigkeit 50 km/h davor zum Stillstand kommen zu können. Diese Information wird auch verwendet um eine Existenzwahrscheinlichkeit für eine Haltelinie zu generieren. In obigem Beispiel ist die Haltlinie real vorhanden und muss erkannt werden.
- d) Das statische Umfeldmodul muss das vorfahrtsregelnde Verkehrselement mindestens 16 m im Voraus an das Situationsverstehen senden, um eine Erwartungshaltung für die Position der Halte- oder Sichtlinie zu generieren und mit einer Notbremsung  $-6.0 \text{ m/s}^2$  bei max. Stadtverkehrsgeschwindigkeit 50 km/h davor zum Stillstand kommen zu können. Diese Information wird auch verwendet um eine Existenzwahrscheinlichkeit für eine Haltelinie zu generieren.
- e) Das Situationsverstehen muss die vorfahrtsregelnden Elemente des statischen Umfeldmoduls mit den Fahrstreifen des Straßenbeschreibungsmoduls verknüpfen und an die Trajektorienplanung senden, damit die Vorfahrtsregelung entlang der Route bestimmt werden kann. Dies gilt für den gesamten Detektionsbereich des statischen Umfeldmoduls.
- f) Das Situationsverstehen soll die vorfahrtsregelnden Verkehrselemente des statischen Umfeldmoduls mit dem Fahrstreifen des Straßenbeschreibungsmoduls mindestens 64 m im Voraus verknüpfen und an die Trajektorienplanung senden, damit die Vorfahrtsregelung eindeutig bestimmt werden kann und das Fahrzeug mit einer max. Verzögerung von  $-1.5 \text{ m/s}^2$  und einer maximalen Geschwindigkeit von 50 km/h zum Stillstand zu bringen.
- g) Die statischen und dynamischen Objektmodule sollen alle erkannten Objekte an das Unwissenmodul senden, um Beschränkungen der Sichtbarkeit des querenden Verkehrs und dem Gegenverkehr bestimmen zu können.
- h) Das statische Umfeldmodul soll die Vorfahrtsregelung zwischen der initialen Erkennung der vorfahrtsregelnden Elemente bis zu dem Passieren der relevanten Linie an dem jeweiligen Knotenpunkt zyklisch aktualisiert dem Situationsverstehen bereitstellen, damit diese die Sollgeschwindigkeit für die Halte- oder Sichtlinie bestimmen kann.
- i) Das statische Umfeldmodul muss die Nicht-Existenz vorfahrtsregelnder Verkehrselemente min. 16 m vor dem Knotenpunkt sensorisch bestätigen und an das Situationsverstehen senden, um mit einer Notbremsung  $-6.0 \text{ m/s}^2$  bei max. 50 km/h vor der Sichtlinie zum Stillstand zu kommen. In diesem Fall gilt "Rechts vor Links" an dem Knotenpunkt.
- j) Das statische Umfeldmodul muss spätestens 16 m vor der Haltelinie dem Unwissenmodul mitteilen, dass die vorfahrtsregelnden Verkehrselemente in der aktuellen Fahrsituation nicht sensorisch verifiziert werden können. Die Anpassung der Sollgeschwindigkeit basiert in diesem Fall primär auf der Kollisionsvermeidung mit dynamischen Objekten. Der Abstand entspricht in diesem Fall einer Notbremsung um das Fahrzeug aus max. 50 km/h und einer Verzögerung von  $-6.0 \text{ m/s}^2$  zum Stillstand zu bringen.

## Vorfahrtsregelnde Beschilderung

- a) Das statische Umfeldmodul soll vorfahrtsregelnde Verkehrsschilder unterscheiden können und deren Existenz dem Situationsverstehen bereitstellen. Unterschieden werden sollen Stoppschilder, "Vorfahrt gewähren" Schilder, Vorfahrtsstraße Schilder, "Vorfahrt an der nächsten Kreuzung" Schilder und "abbiegende Vorfahrtsstraße" Schilder. Die Equal-Error Rate soll mindestens n % für den individuellen Erkennen betragen.
- b) Das statische Umfeldmodul soll ein Grünpfeilschild spätestens an der Haltelinie erkennen und dem Situationsverstehen senden, um beim rechts abbiegen ein Vorfahren bis zur Sichtlinie zu ermöglichen. Die falsch-positiv Rate soll 1 aus n Erkennungen unterschreiten.
- c) Das statische Umfeldmodul soll Einbahnstraßenschilder oder Einfahrt verboten Schilder, die für abgehende Fahrstreifen an einer Kreuzung gelten, 16 m vor der Halte- oder Sichtlinie an das Situationsverstehen senden, um im Notfall bei  $-6.0 \text{ m/s}^2$  Verzögerung das Fahrzeug von max. 50 km/h vor dem Schild zum Stillstand zu bringen.
- d) Das statische Umfeldmodul muss Einbahnstraßenschilder oder "Einfahrt verboten" Schilder, die für abgehende Fahrstreifen an einer Kreuzung gelten, spätestens beim Halten oder Überfahren der Halte- oder Sichtlinie dem Situationsverstehen senden, um beim Befahren der Einbahnstraße bzw. beim Beachten der Vorfahrtsregelung die Information berücksichtigen zu können. Dies entspricht einer min. Detektionsreichweite 22.5 m, was 5 x 4.5 m Fahrstreifen entspricht. Dies ist eine Verstärkung der Anforderungen aus c).

Für die Durchführung des bisher beschriebenen Use Case ist folgende Mindestausstattung gem. Tabelle 24 notwendig:

Tabelle 24: Hardware- und funktionale Ausstattung des Versuchsträgers

Hardware	Software/Funktionen
Front SCALA® Laserscanner	Modul zur Erkennung von Szenerien (Situationsverstehen)
Frontkamera	Modul zur Objekterkennung
4 Surroundview-Kameras	Modul zur Fahrbahn-, Fahrstreifen-, Fahrspurerkennung
Steuerungsrechner (dSpace MABX II)	Lateralcontroller, Longitudinalcontroller
Sensor-PC	HD-Map
Functions-PC	Modul zur Bahnplanung
HMI-Monitor	Freespace-Modul
HD-Map-Monitor	Lokalisierungsmodul
HD-Map-PC	Hand- und Takeovermodul
	Modul zur Erkennung von Verkehrszeichen
	Modul Emergency-Brake

### Situationsverstehen

Die komplexe Herausforderung des Situationsverstehens wird im ersten Schritt übergangen. D.h. im Pilotprojekt wird die Situation vorab vom Menschen erkannt und dem Fahrzeug mitgeteilt um welchen

Use Case es sich handelt. Später soll das EGO-Fahrzeug von selbst in der Lage sein den Use Case zu erkennen.



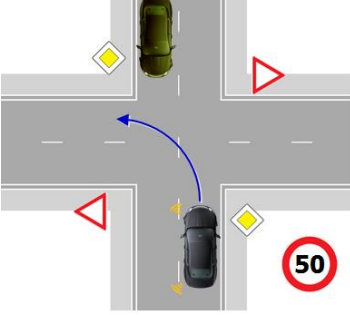


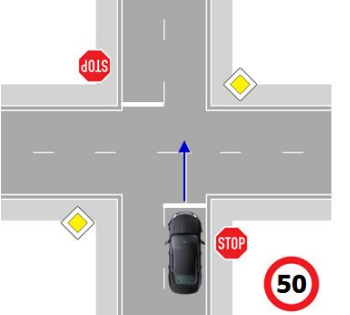

### UAP 3.3.3 Mensch-Maschine-Interaktion


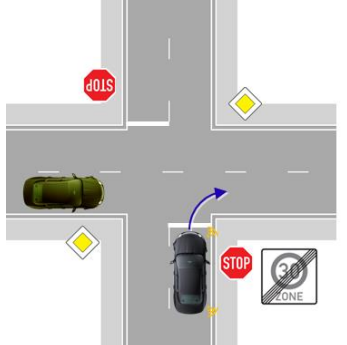


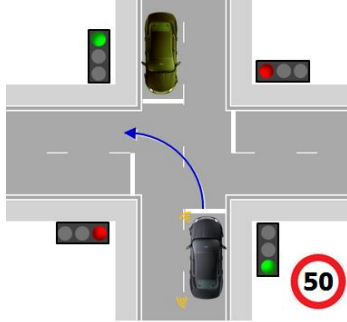
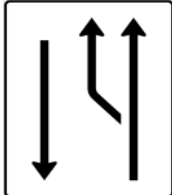




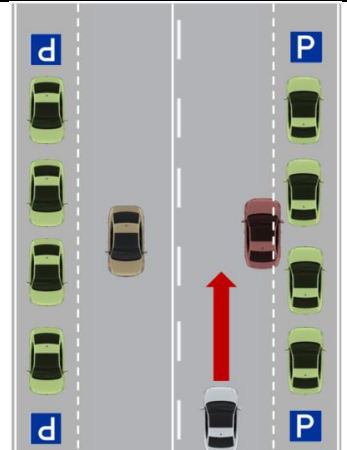

Weiterer Bestandteil der Arbeiten in AP 3.3 war die Mensch-Maschine-Interaktion. Hier hatte Valeo die folgende Aufgabe:

Es wird ein HMI entworfen, implementiert und anschließend getestet. Gerade bei autonomen Fahrzeugen ist eine permanente Überwachung des Fahrers essentiell und Übergabeszenarien (Fahrer<->Fahrzeug) müssen stets überwacht werden. Taucht zum Beispiel ein unvorhergesehenes Hindernis wie ein Parker in zweiter Reihe auf, ist es sicher anzuraten, den Fahrer zumindest zu informieren oder darauf aufmerksam zu machen. Entsprechende exemplarische Interaktionen sind daher ebenfalls zu implementieren.


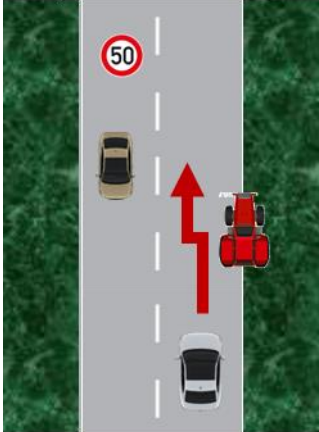


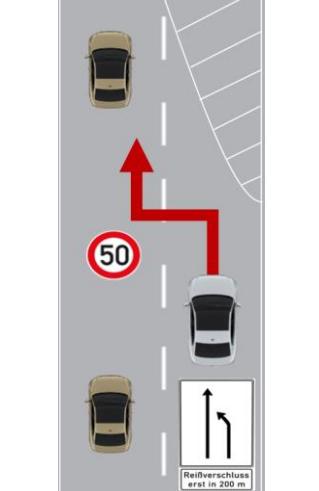





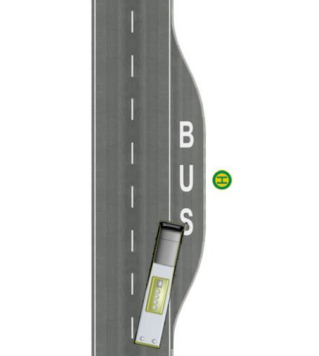

Auch hier soll exemplarisch von einigen ausgewählten Ergebnissen berichtet werden. Valeo hat sich überlegt, welche Symbole im HMI angezeigt werden sollen um die Insassen, insbesondere den Testfahrer, zu informieren. Hierzu werden die Informationen in verschiedene Arten unterteilt. Das HMI soll Auskunft über das aktuelle und geplante Manöver geben; für Manöver relevante Verkehrszeichen einblenden (LSA, STOP-Schild, ...) Handlungsanweisungen in Bild- und Textform ausgeben und erkannte Szenarien darstellen. Tabelle 25 zeigt eine Übersicht dieser Eingruppierungen und Elemente. Bei den Handlungsanweisungen muss noch unterschieden werden in Anweisungen die an den Fahrer gerichtet sind und Anweisungen, die den Ist-Zustand des Systems wiedergeben.







Tabelle 25: HMI-Content

Aktuelle und geplante Manöver	Handlungsanweisungen	Szenariendarstellung	Verkehrszeichen
			
	<p>Handover</p>		

	<p>Berechne</p>		
	<p>Stopp / Halt</p>		
	<p>Emergency Brake</p>		
	<p>Accelerate</p>		



	<p>Retard</p>		
	<p>Brake</p>		
	<p>Überholen</p>		
	<p>Wait</p>		

	<p>Traffic JAM</p>		
	<p>Undefined</p>		

Wie die einzelnen Piktogramme, Zeichen, Bilder und Anweisungen im HMI angezeigt werden wurde auf der Abschlussveranstaltung in Aldenhoven präsentiert. Wichtig war uns, dass die Insassen nicht mit Informationen überfrachtet werden und den Überblick verlieren. Obige Tabelle gilt für Pilotanwendungen von Valeo. Die übrigen Projektpartner haben ihr eigenes HMI entwickelt. Deshalb fehlen im Fall Valeo auch Kreisverkehrsszenarien, da dies nicht Bestandteil unserer Arbeiten war. Unser Fokus lag auf der automatisierten Erkennung des Szenarios Parker in zweiter Reihe und Engstelle. Wurde solch ein Szenario erkannt, so kann das entsprechende Schaubild aus obiger Tabelle im HMI eingeblendet werden.

### AP 3.4: Versuchsträgerintegration und Erprobung

Verantwortung: Continental Safety Engineering International GmbH

Die Ergebnisse von Valeo zur Versuchsträgerintegration und Erprobung waren Inhalt es Meilenstein 4. Meilenstein 4 beinhaltet den Bericht über den Abschluss der Erprobung der Pilotanwendungen im Rahmen des Teilprojekts 3 von @CITY. Die nachfolgende Tabelle gibt zunächst einen Überblick über den in TP 3 eingesetzten Versuchsträger und Pilotanwendungen.

**Tabelle 26: Art und Zweck des Valeo Versuchsträgers**

Partner	Anz.	Beschreibung/Zweck/Pilotanwendungen
Valeo	1	Als Versuchsträger kommt ein Range Rover Evoque zum Einsatz. Demonstriert werden sollen die Pilotanwendungen: Engstelle (Passieren eines auf dem EGO-Fahrbahnen liegenden PKW) und links abbiegen an einer LSA geregelten x-Kreuzung. Weiterhin dient der Versuchsträger der Demonstration der HD-Karte (vgl. hierzu MS4 TP2) und des Engineering HMI.

Der Versuchsträger der Valeo Schalter und Sensoren GmbH besitzt ein umfangreiches Sensor-Setup; angefangen vom einfachen Ultraschallsensor bis hin zu komplexen Lidar-Sensoren. Die Ausstattung im Detail zeigen Tabelle 27, Abbildung 51 und Abbildung 52.

Tabelle 27: Übersicht über die Hardware-Ausstattung des Versuchsträgers von Valeo

	Systeme	Einzelkomponenten	Fortschritt in %	Kommentar	
<b>Fahrzeug</b>	atCity Fahrzeug-ID	Valeo_1	<b>100%</b>	<b>30.06.2022</b>	
	Partner	Valeo Schalter und Sensoren GmbH			
	Partnerspezifische Fahrzeugnummer	LB VS 161			Kennzeichennummer
	Fahrzeugtyp	Land Rover Range Rover Evoque Si4			
	Motorisierung	2.0L Si4			
<b>Grundaufbau</b>	Powermanagement	Ladegerät, Zusatzbatterie, Wechselrichter	100%		
	Zusatzlüftung / Kühlung	-			
	Bussysteme	CAN, CAN FD, USB, Flexray, Ethernet, BRR	100%		
	Systemschalter	Not-Taster + Schlüsselschalter für Longitudinal- und Lateral-Controller + Touchscreen	100%		
	Zusatzkomponenten				
<b>Ansteuerbare Aktorik</b>	Längsaktorik	Bremsbooster, Bremse über Paravan-Interface ESC, ECU über ACC-Schnittstelle	100%		
	Queraktorik	Paravan-Interface	100%		
<b>Ego-Sensorik</b>	Inertialsystem	Serien-Inertialsystem (3x Beschleunigung, 3x Drehrate), iMAR iNAT-FSSG-1	100%		
	Odometriesensoren	4x Raddrehzahlsensoren, WPT-Sensor v. Kistler	100%		
	Fahrwerkssensoren				
	Globales Ortungssystem	GPS, GLONASS	100%		
<b>Umfeldsensorik</b>	Erfassungsbereich Front	2 x Short Range Radar front, Front camera (Tri-Focal-ME), Reference camera, 4 x Ultrasonic sensor, 2 x LIDAR SCALA, 1 x Viewing camera	100%		
	Erfassungsbereich Seite	4 x Ultrasonic sensor, 2 x Viewing camera, 2 x LIDAR	100%		
	Erfassungsbereich Hinten	3 x Short Range Radar rear, 2 x LIDAR, 4 x Ultrasonic sensor, 1 x Viewing camera	100%		
<b>Kommunikationseinheit</b>	Kommunikationsrechner, LTE-Modem, Antennen	ja	100%		
	SIM-Karten/Vertrag	ja (Vodafone 5G + AXIONet)	100%	AXIO-Net	
<b>Funktionsrechner</b>	CarPC's	1 x Messtechnik-PC, 1 x Car PC (Funktionen), 1 x Sensor Fusion PC	100%	PC vollständig konfiguriert	
	RP-Hardware (Autobox, ES1000, ...)	Autobox II,	100%	Autobox vollständig konfiguriert	
	Entwicklungssteuergeräte	Neosys PC, Jetson, Drive AGX	100%	Konfiguriert	
	Spezialhardware	Technica Media Gateway, div. Vector Hardware	100%		
<b>HMI</b>	HUD	nein			
	Kombidisplay	nein			
	Infotainmentdisplay	JA			
	Zusatzdisplays	2 Screens zur Visualisierung von Entwicklungsdaten, der HD-Karte und Bedienung der Systemfunktion	100%		
	Fahrerzustandserkennung	ja	100%	Rudimentäre Funktionen verfügbar	
	LED-Leiste	ja	100%		
	Bedienelement für HAF-Funktion	ja	100%		
	Driver Monitoring System DMS	ja	100%	System vorhanden und integriert. Inbetriebnahme steht noch aus	
<b>Sicherheitssystem</b>	Notlaufsystem	nein			
	Not-Aus (AD-System)	ja	100%		
	Not-Aus (Paravan-System)	ja	100%		



Abbildung 51: Versuchsträger PKW 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

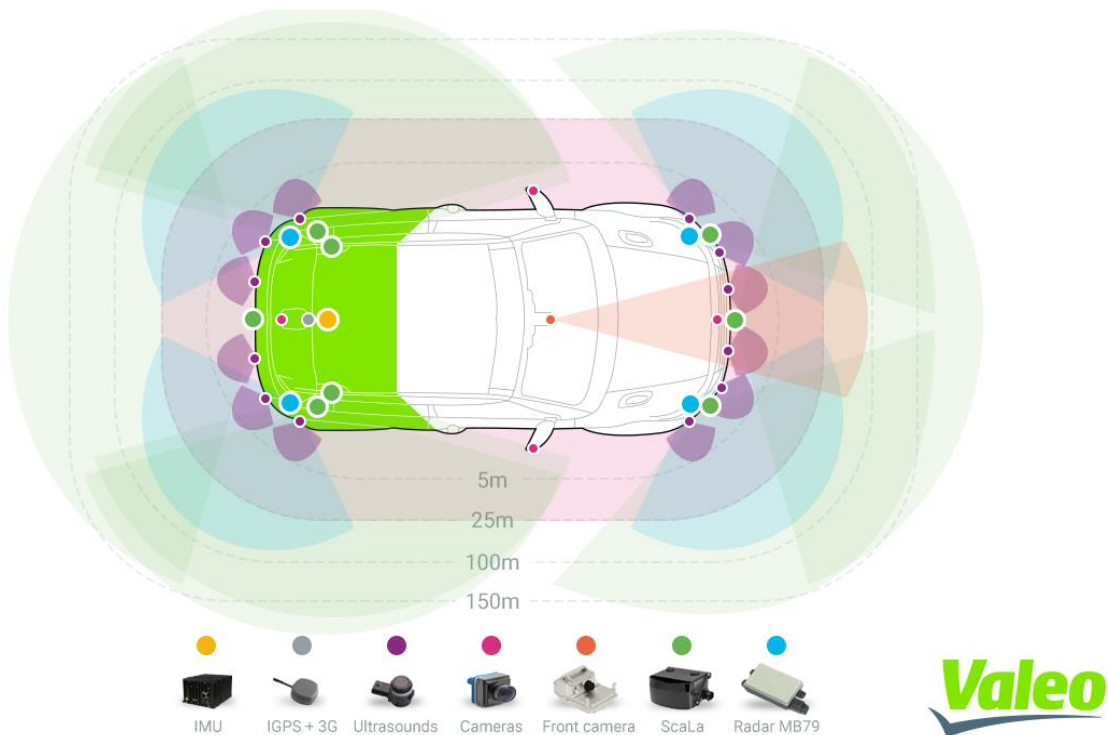


Abbildung 52: Im Versuchsträger Range Rover Evoque verbaute Sensorik und Darstellung der Erfassungsbereiche

### Beschreibung der Erprobung gem. UAP 3.4.3 Testmethodik/Erprobung:

Die Beschreibung der Inbetriebnahme und Erprobung des Versuchsträgers, sowie dessen Einzelkomponenten erfolgte bereits in den zurückliegenden Halbjahresberichten, wo gemäß Projektfortschritt berichtet wurde. So berichtete Valeo beispielsweise im Halbjahresbericht 2019 über die Erprobung der im Versuchsträger eingesetzten Lidar-SCALA®-Sensoren und Surround-View-Kameras, sowie die im Projekt angewandte Testmethodik (vgl. Abbildung 53), welche gemeinschaftliche und partnerübergreifend erarbeitet wurde.

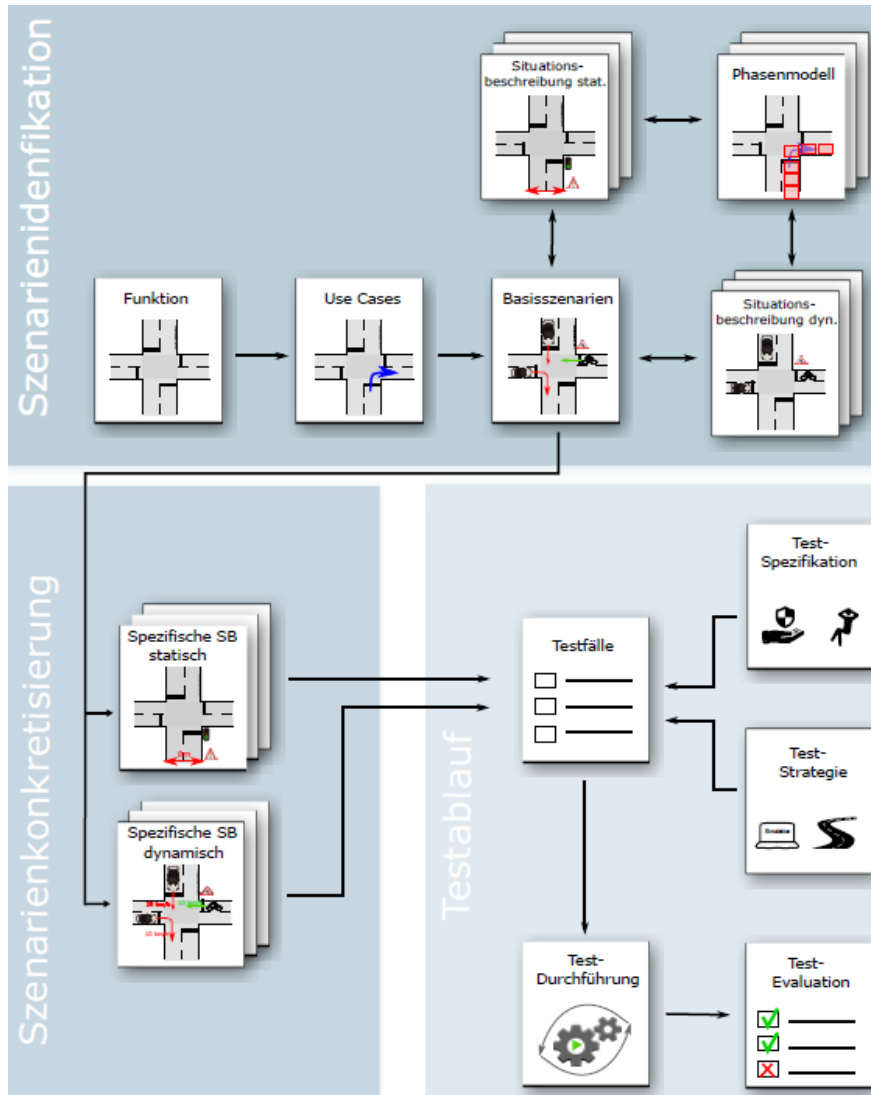


Abbildung 53: Testmethodik, Übersichtsgrafik

Im ersten Halbjahresbericht 2020 wurde über die eigens entwickelte Funktionskomponente zur Erkennung von Verkehrszeichen in RTMaps<sup>24</sup> berichtet und im zweiten Halbjahresbericht 2020 über die Modellierung des Versuchsträgers in der Simulationsumgebung IPG Car Maker. 2021 hat Valeo über die Erprobung des SCALA® II – Sensors und die Modellierung des Testgeländes des ATC Aldenhoven zur Erprobung in der Simulation berichtet. Parallel hierzu hatte Valeo die Erprobung der entwickelten Softwaremodule im urbanen Umfeld in Kronach durchgeführt. 2022 hat Valeo den Fokus

<sup>24</sup> Real-time Multisensor Applications - Entwicklungsumgebung für Multisensoranwendungen von Intempora®



dann auf die Erprobung der zahlreichen Softwaremodule, welche im EGO-Fahrzeug implementiert wurden, und der angedachten Use Cases direkt auf dem Testfeld des ATC-Aldenhoven gelegt. Hierzu hat Valeo Erprobungen in Form von Testtagen am 23-24.11.2021, 14.-16.03.2022, 13.-14.04.2022, 9.-10.05.2022, 30.-31.05.2022, 20.-21.06 auf dem Testgelände des ATC Aldenhoven durchgeführt. Am 22.-23.06.2022 hat Valeo dann die erreichten Ergebnisse auf der Abschlussveranstaltung<sup>25</sup> einem interessierten Publikum präsentiert. Der Schwerpunkt der Erprobung in den vergangenen Monaten lag auf folgenden Modulen und Komponenten.

- LSA-/Ampelerkennung
- Umfelderkennung (via Lidar, Kamera und Radar und Fusion)
- Segmentierung/Klassifikation
- Objektverfolgung (Object Tracker)
- Visualisierung und Lokalisierung in der HD-Karte
- Situationsverstehen (Erkennung Engstelle)
- Landmarken basierte Lokalisierung
- Trajektorienplaner
- Manöverplaner
- Geschwindigkeitsplaner
- HMI- und DMS (Driver Monitoring System)
- Hand-Over / Take-Over
- ALC (Automatic Lane Change Modul)
- Paravan-Interface (Lateral- und Longitudinalcontroller)
- ... zahlreiche Sub-Komponenten

Zur Verdeutlichung folgen hier nun einige ausgewählte Bilder, die Auszüge aus Modulen und Komponenten zeigen, die erprobt wurden.



Abbildung 54: Surround-View-Ansicht während der Vorbeifahrt an einer Engstelle durch einen liegen gebliebenem PKW

<sup>25</sup> [https://www.atcity-online.de/events/\\_Veranstaltungen.html](https://www.atcity-online.de/events/_Veranstaltungen.html)



Abbildung 55: Lidar SCALA® Verbaupositionen

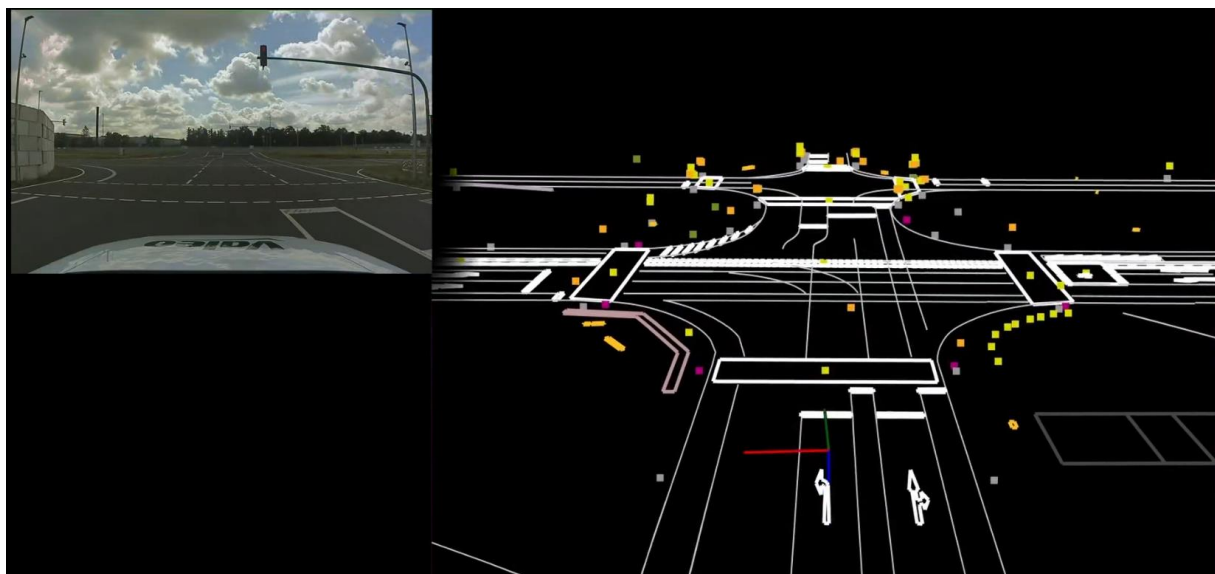


Abbildung 56: Verwendung und Abgleich mit der HD-Karte

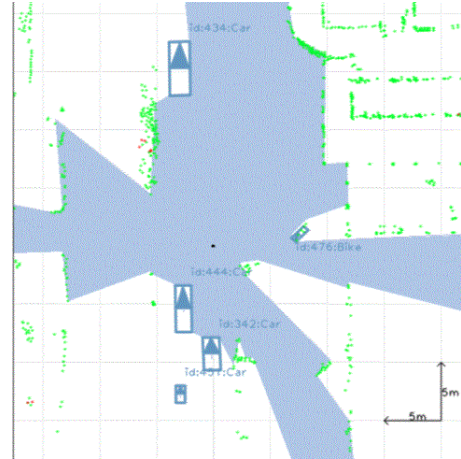
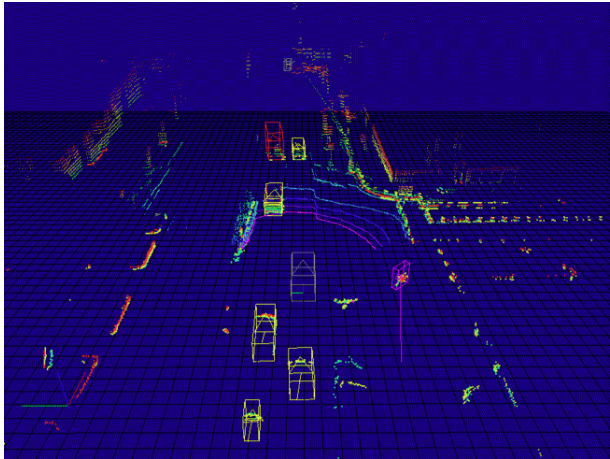


Abbildung 57: Lidar-Rohdaten, Objektclustering- und tracking



Abbildung 58: Erprobung des Engstellen Szenarios in der Simulationsumgebung IPG Car Maker





Abbildung 59: Simulation des Vorgangs Links-Abbiegen an einer Kreuzung mit Gegenverkehr ohne separater Abbiegespur unter Verwendung der von 3D-Mapping generierten HD-Karte von Kronach

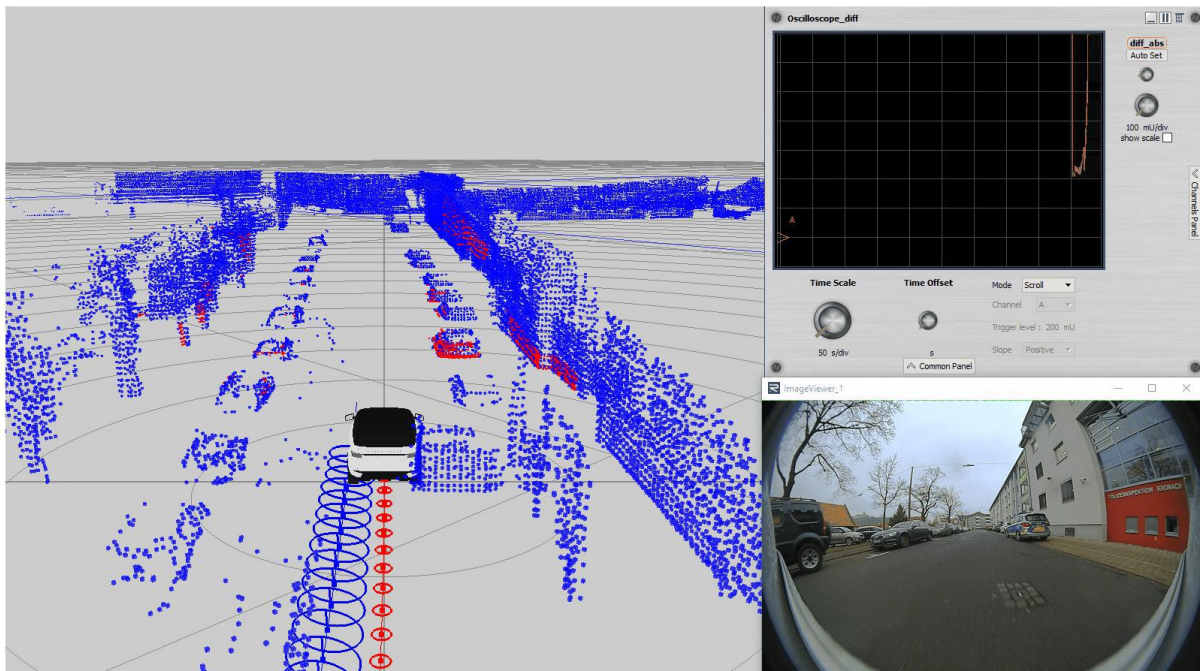


Abbildung 60: Erprobung der Lokalisierung mittels Lidar und GPS (dGPS/RTK)

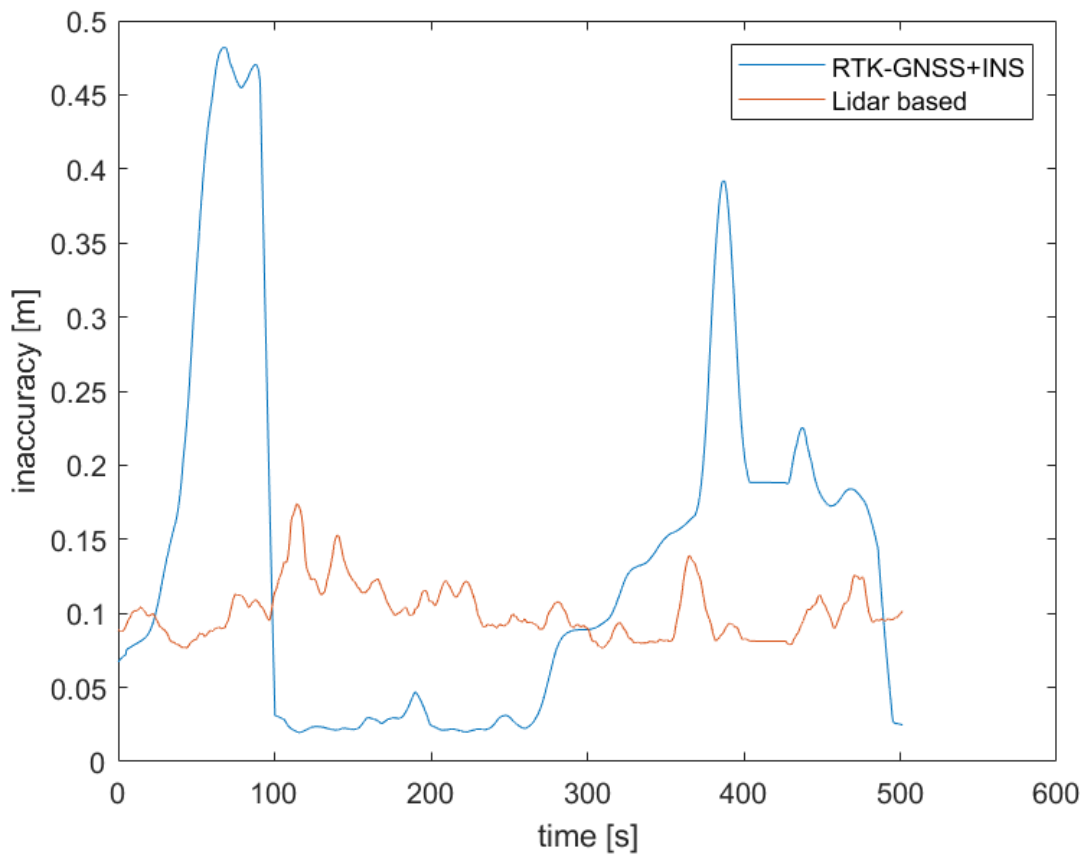


Abbildung 61: Messung der Abweichung zwischen Lidar basierter und GNSS basierter Lokalisierung

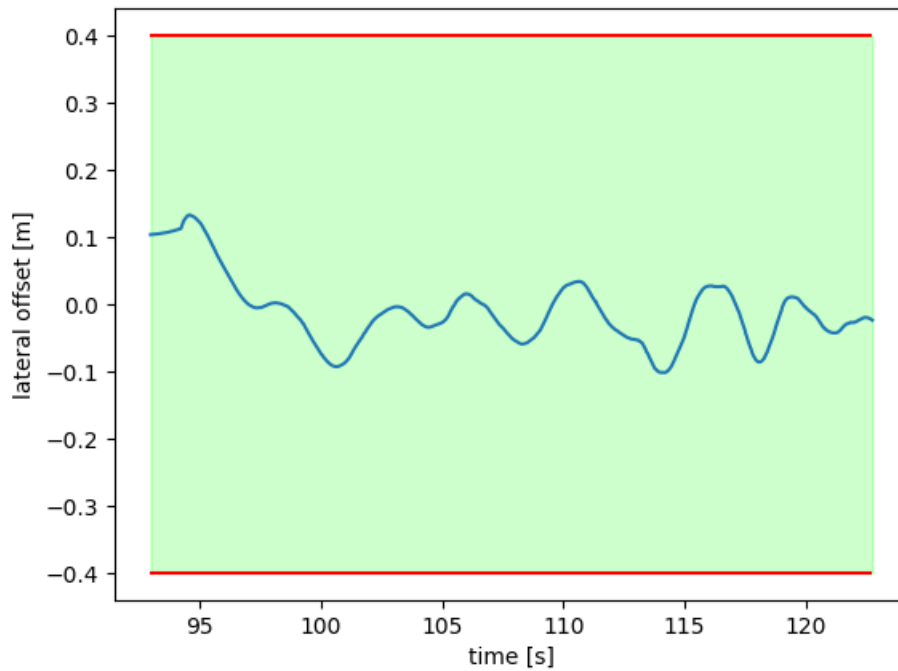


Abbildung 62: Erprobung des Lateralcontrollers und Messung des lateralen offset

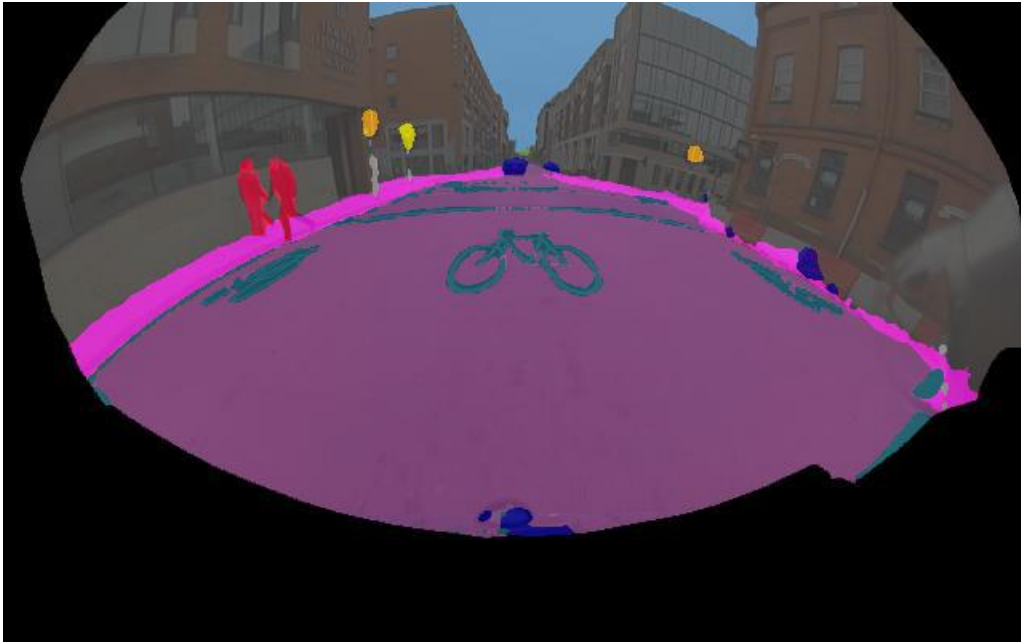


Abbildung 63: Erprobung der Segmentierung und Klassifizierung

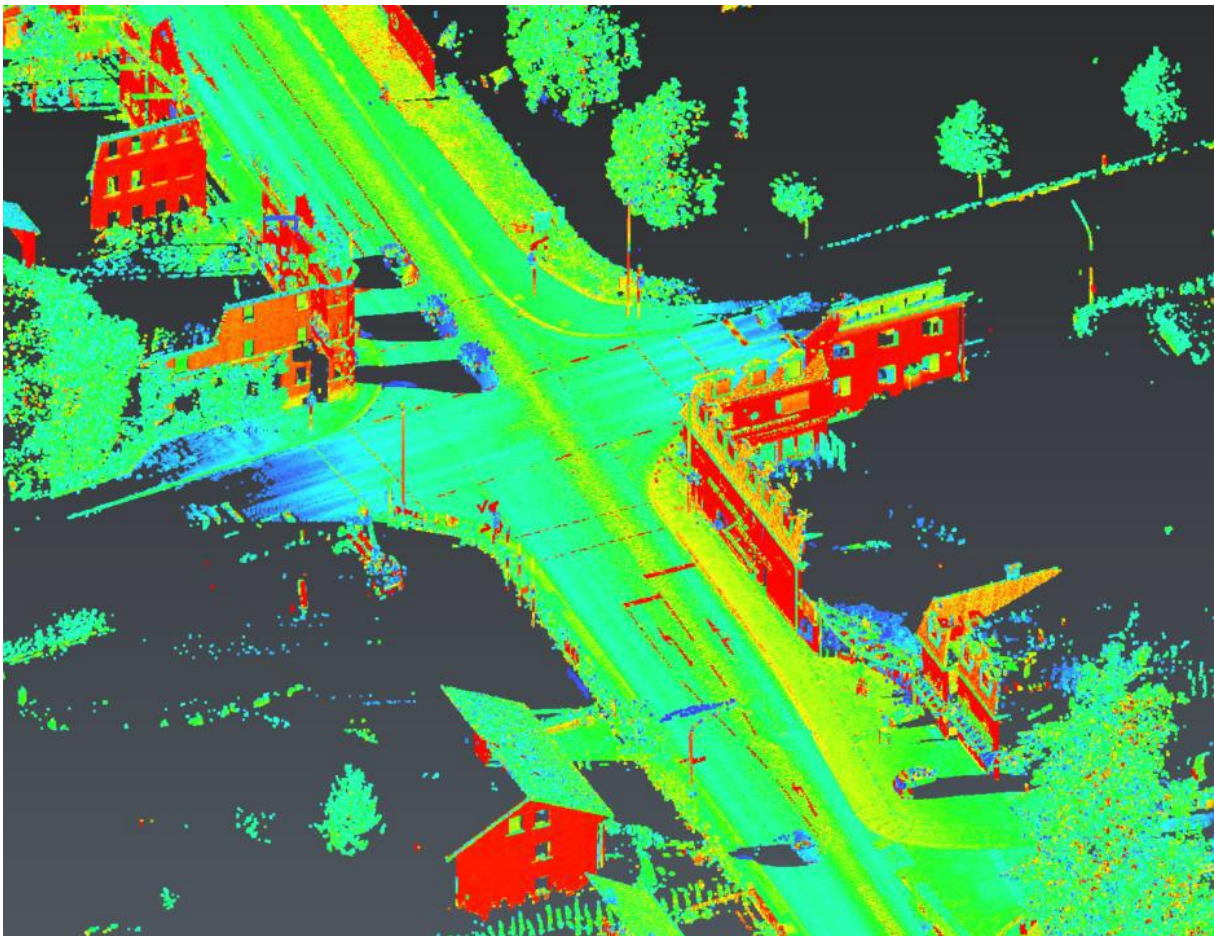


Abbildung 64: Erprobung der Lidar-Umfelderfassung und Visualisierung im urbanen Umfeld von Kronach



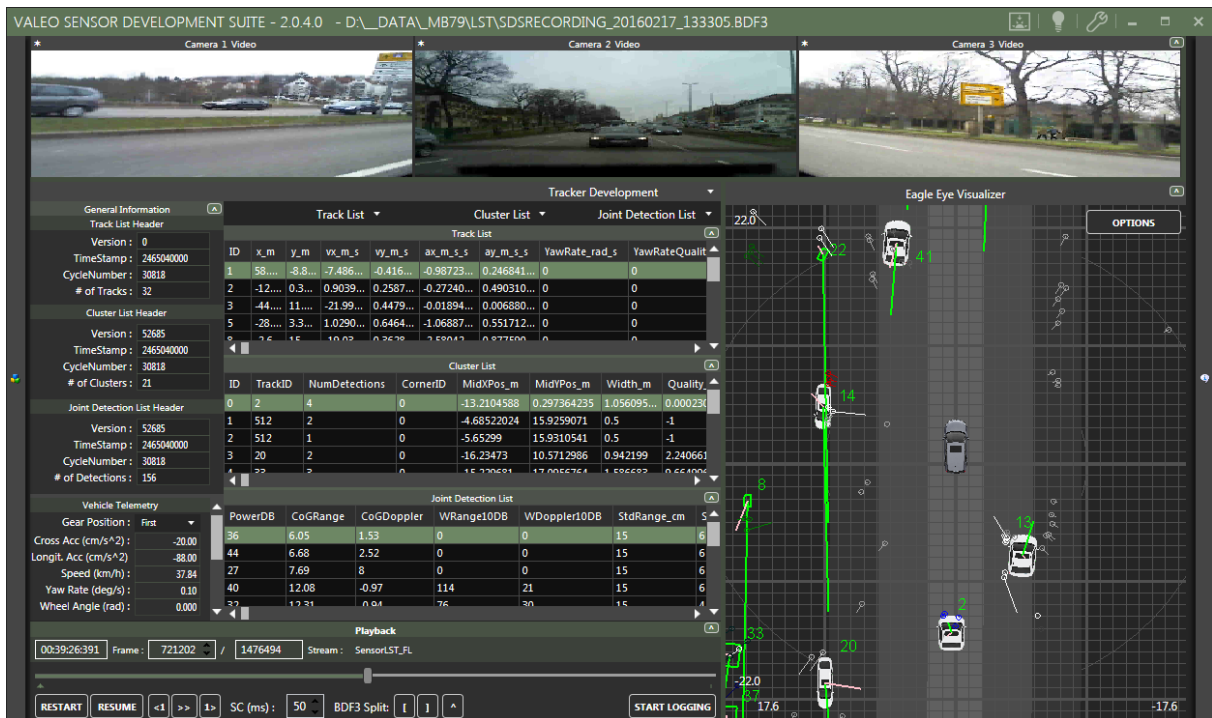


Abbildung 65: Erprobung der Objekterkennung via Radar mit der Valeo eigenen Sensor Development Suite (SDS)

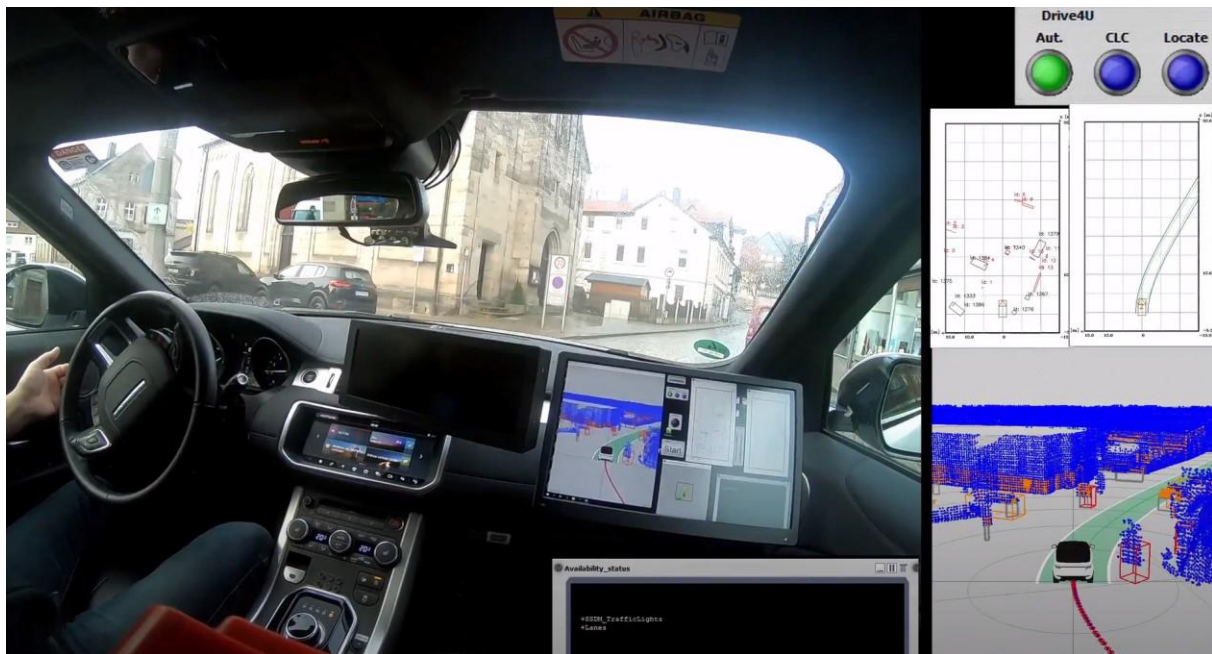


Abbildung 66: Systemerprobung des Versuchsträgers im urbanen Umfeld von Kronach



Abbildung 67: Erprobung des Manöverplaners an der Kreuzung Siechenangerstraße / Rodacher Straße in Kronach im realen urbanen Umfeld und nach vorheriger Simulation in IPG Car Maker

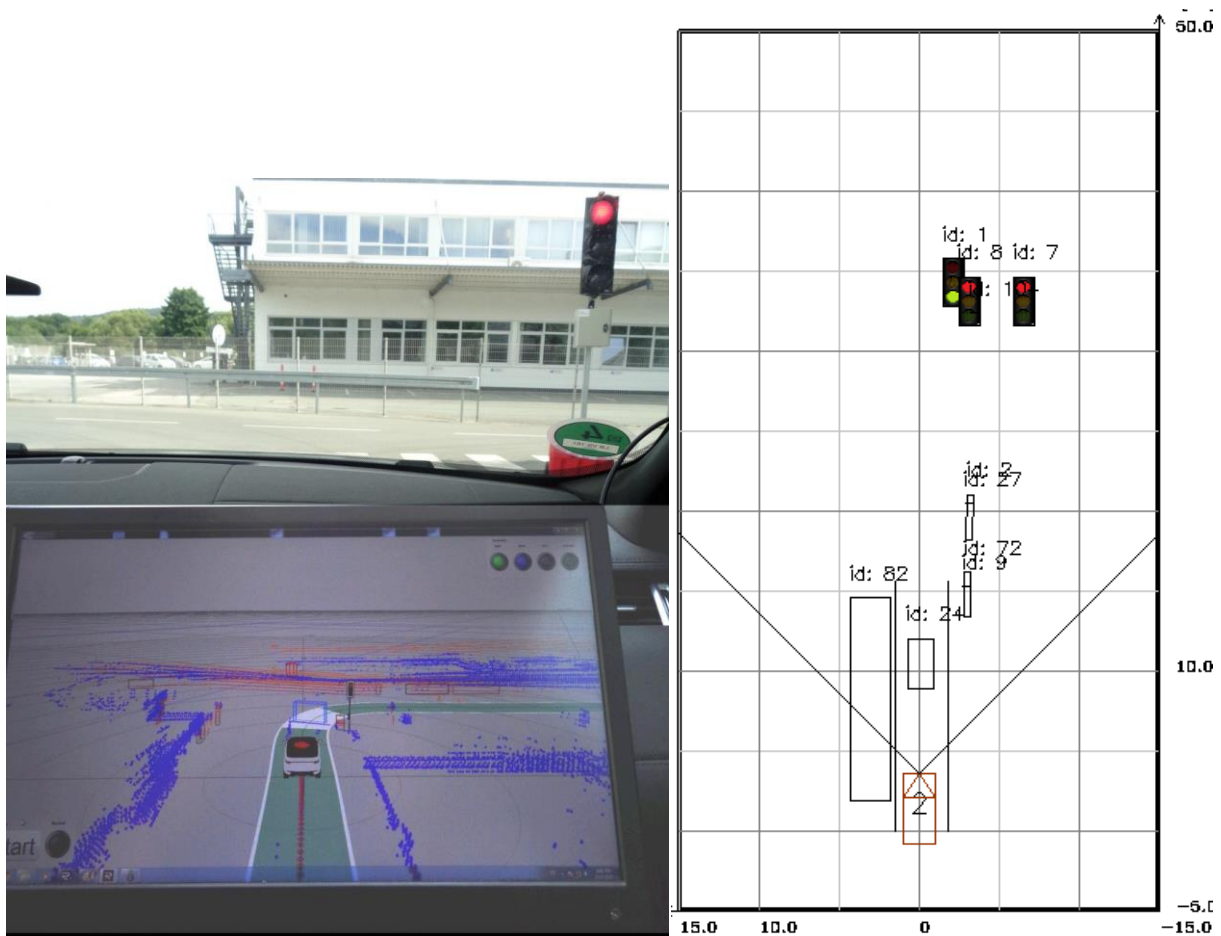


Abbildung 68: Erprobung und Visualisierung der LSA-Erkennung; links Aufnahme aus dem Versuchsträger heraus; rechts Bird-View-Darstellung des Umfeldes





Abbildung 69: Erprobung der LSA-Erkennung auf dem Valeo eigenen Testgelände mit eigens individuell programmierbaren mobilen Lichtsignalanlagen



Abbildung 70: Erprobung des „SAWA“- HMI zur Darstellung von „Kerninformationen“



Abbildung 71: Erprobung der NOT-Aus und Emergency-Buttons und Fahrverhaltens

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

Tabelle 28: Verwendung-Valeo

Geplantes Ergebnis	Verwendung der Zuwendung	Erzieltes Ergebnis
Fusions-Algorithmen	Personalmittel, Sachmittel (Software)	Teilfusionsalgorithmen (Lidar-Fusion RSPF (Raw Scan Point Fusion), Radarfusion, Kamerafusion), Gesamtfusion. Integration der HD-Karte als zusätzlichen „Sensor“.
Algorithmen zum automatisierten Fahren	Personalmittel, Sachmittel (Software)	Entwicklung eines vollständigen AD-Stack zum automatisierten Fahren in der Stadt bis Automatisierungslevel 3.
Algorithmen zur LiDAR-basierten Objekterkennung	Personalmittel, Sachmittel (Software)	Lidar-Semantic Segmentation, Lidar-Klassifikation, Lidar-Objekterkennung, Lidar basiertes Objekttracking
TP 1 Umfelderkennung und TP 3 Funktionsumsetzung	Personalmittel, Sachmittel (Hardware & Software)	Algorithmen zur Umfelderkennung und zum Situationsverstehen ausgewählter Pilotanwendungen (Engstelle, Kreuzung), Integration in den AD-Stack.
Algorithmen zur Kamera-basierten Objekterkennung	Personalmittel, Sachmittel (Hardware & Software)	Kamera-Semantic Segmentation, Kamera-Klassifikation, Kamera-Objekterkennung (z.B. DeepManta), Kamera basiertes Objekttracking
HMI und Visualisierung gem. UAP 3.3.3	Personalmittel, Sachmittel (Hardware & Software)	Engineering HMI für Übergabeszenarien Fahrer<->Fahrzeug und HMI für Visualisierungs-und Informationszwecke

## 2.2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Tabelle 29: zahlenmäßiger Nachweis – Valeo

Position	Benennung im Antrag (AZK/AZA)	Verwendung
F0837	Personalkosten	Das Projekt wurde kostenneutral verlängert. Dadurch das Valeo zur Projektlaufzeit Arbeiten von APTIV in TP 2 übernommen hat und auch die TP-Leitung übernommen hat, wurde der Projektumfang in diesem Bereich um 15 PM erhöht. Die Abweichung der Soll-/Ist-Kosten beträgt ~1,68 %
F0838	Reisekosten	Für Treffen der Partner untereinander, zu Veranstaltungen und zu den Testgeländen. Pandemiebedingt wurde in den Jahren 2020 und 2021 deutlich weniger gereist, also ursprünglich geplant. Die Abweichung der Soll-/Ist-Kosten beträgt ~18%
F0850	Sonstige unmittelbare Vorhabenkosten	Anschaffungen betrafen, das Projektbüro, die Ergebnisverbreitung, der Fahrzeugumbau, die Erstellung der HD-Karten, eine IPG Car Maker Lizenz und RTMaps-Lizenzen von Intempora. Die Abweichung der Soll-/Ist-Kosten beträgt ~1,5%
F0813	Material	Beschafft wurde ein Referenzlidar, Car-PCs, eine IMU, ein GPU-Server und Referenzkameras. Die Abweichung der Soll-/Ist-Kosten beträgt ~2,8%

Summa Summarum beträgt die Abweichung der Soll-/Ist-Kosten lediglich ~2,39 %. Die zeitliche Planung und die Erfüllung der Meilensteine 1 – 4 konnte vollumfänglich erzielt werden.



## 2.3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

### **Notwendigkeit**

Die Valeo Schalter und Sensoren GmbH ist einer der führenden OES. In manchen Bereichen sogar Marktführer. Die Konkurrenz ist und der allgemeine Fortschritt im Bereich Automotive Sensorik sind groß. Um den Anschluss nicht zu verlieren, gilt es stets innovative und marktgerechte Produkte zu entwickeln. Ohne Forschung ist das nicht möglich, weshalb Valeo auch jährlich große Summen des jährlichen Umsatzes in die Forschung investiert. Im Zuge von öffentlichen Forschungsprojekten ist es zudem möglich mit den einschlägigen OEM und OES zusammenzuarbeiten und zielgerichtet den Bedürfnissen des Marktes Rechnung zu tragen. Viele Themen die im Rahmen von @CITY bearbeitet wurden, können zudem nur gemeinschaftlich in dieser Größenordnung umgesetzt werden, wie z.B. die Etablierung und Nutzung der vielen verschiedenen Testfelder in unterschiedlichen Städten Deutschlands.

### **Angemessenheit**

@CITY ist eines der sog. Leuchtturmprojekte zum automatisierten Fahren in der Stadt und baut auf, auf den Ergebnissen einer ganzen Projektfamilie (Vorgängerprojekt UR:BAN). Das Projekt war nicht nur für die wirtschaftlichen und wissenschaftlichen Belange der einzelnen Projektpartner notwendig und angemessen, sondern trägt maßgeblich dazu bei den Forschungsstandort Deutschland zu sichern und eine führende Rolle im Bereich des automatisierten Fahrens einzunehmen. Die „Konkurrenz“ aus China und USA ist in diesem Bereich sehr stark und deshalb ist es angemessen hier gegenzuhalten. Gerade auch deshalb, weil viele der teilnehmenden Partner auch international geschäftlich tätig sind. Das Projekt @CITY trägt dazu bei wirtschaftlich nicht den Anschluss im Bereich des automatisierten Fahrens zu verlieren und sichert somit Arbeitsplätze bzw. hilft evtl. sogar dabei neue Arbeitsstellen zu schaffen. Das vorher gesagte trifft vollumfänglich auch auf die Valeo Schalter und Sensoren GmbH zu.

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

Tabelle 30: Verwertung – Valeo

Projektergebnis/ Inhalt	Nutzen/ Verwertung/Zeitraum
Fusions-Algorithmen	Sensorfusion / Fusionscontroller / ab 2024
Algorithmen zum automatisierten Fahren	AD-Stack / Steuergeräte / ab 2024
Algorithmen zur Detektion von Bordsteinen	Ultraschallsensoren / US-Stack / ab 07/2022
Algorithmen zur LiDAR-basierten Objekterkennung	Laserscanner
TP 1 Umfelderkennung und TP 3 Funktionsumsetzung	Surround View / Verbesserte Sicht beim Parken / ab 2025
Algorithmen zur Kamera-basierten Objekterkennung	Kameras (Rearview, Frontkamera) / Integration in Kamera-Stacks / ab 2025
HMI und Visualisierung gem. UAP 3.3.3	HMI / Nur zu Demozwecken für potentielle Kunden / ab 07/2022

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

Folgende Veröffentlichungen

- Adversarial Examples for Semantic Segmentation and Object Detection (Cihang Xie, et. al.)
- ENet: A Deep Neural Network Architecture for Real-Time Semantic Segmentation (Adam Paszke, et. al.)
- LOAD: Lidar Odometry and Mapping in Real-time (Ji Zhang, Sanjiv Singh)
- CNN based Depth Map Prediction on Raw Monocular Fisheye Camera Images Trained with Sparse Ground Truth (Ravi Kumar, et. al.)

und relevante F&E-Ergebnisse von dritter Seite,

- Verbundprojekt CERMcity (urbane Testumgebung)
- DENSE (Multi-Sensorensystem)
- KameRad (ausfallsicheres Sensorsystem)
- KoFFI (Fahrer-Fahrzeug-Interaktion)
- Drive Me (Testfahrzeug im Testbetrieb von Volvo)
- Tesla Model S, BVG, Navya, Easy Mile, DB-Shuttle,
- Alphabet (Google), Waymo, Apple, Samsung, Uber
- StreetScooter
- L3Pilot

sowie geförderte Forschungsprojekten,

- AdaptIVe
- AKTIV-AS
- HAVEit
- IMAGinE
- Ko-HAF
- PEGASUS
- PROSPECT
- RobustSENSE
- UR:BAN

hatten für das Projekt Relevanz und wurden hinsichtlich des Projektfortschritts beobachtet und beachtet. Weitere Veröffentlichungen oder Ergebnisse mit Bezug zu @CITY die Bekannt geworden sind:

- Monocular Fisheye Camera Depth Estimation Using Semi-supervised Sparse Velodyne Data, Varun Ravi Kumar, Stefan Milz, Senthil Yogamani  
Conference: 21<sup>st</sup> IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2018) Submission number 487
- Visual SLAM for Automated Driving: Exploring the Applications of Deep Learning at CVPR 2018, Stefan Milz, Georg Arbeiter, Christian Witt, Bassam Abdallah, Senthil Yogamani (Valeo) (Abbildung 72 zeigt ein Poster, welches auf der CVPR-Konferenz hierfür gezeigt wurde)

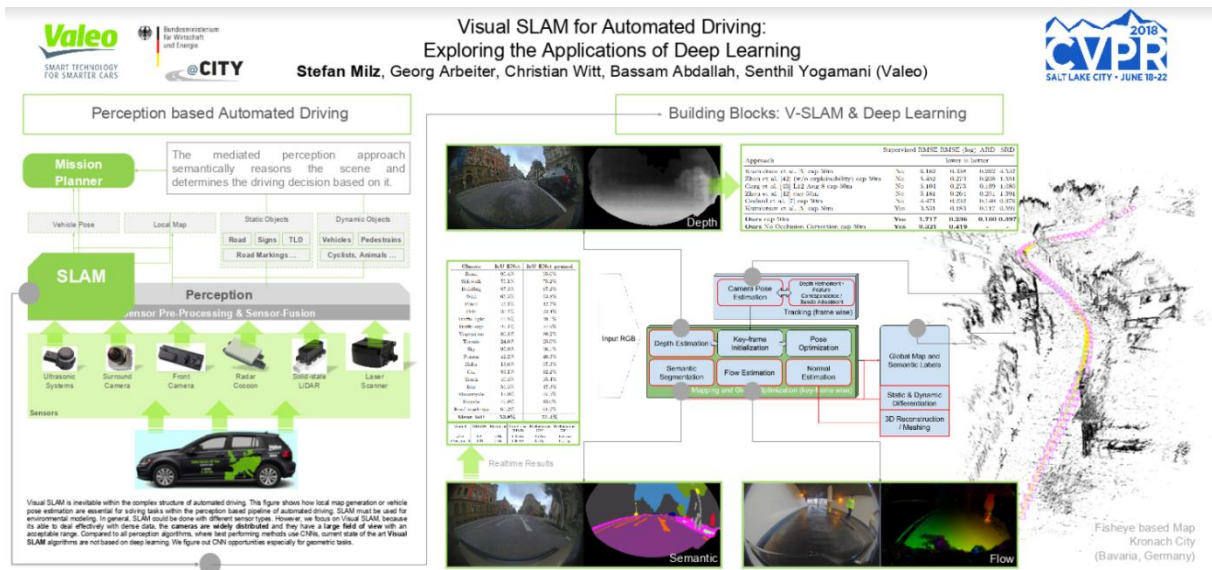


Abbildung 72: Beitrag auf der Conference on computer vision and pattern recognition (CVPR)

Auch die sog. Projekte der Leitinitiative (an denen auch Valeo beteiligt ist) wurden stets beachtet.

- Li: V&V
- Li: KI-Absicherung
- Li: KI-Daten
- Li: KI-Wissen
- Li: KI-Delta Learning
- Li: KI-Plattform

## 2.6. Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses

Veröffentlichungen, an denen mehrere Partner beteiligt waren:

Tabelle 31: Veröffentlichungen – Gemeinsame Veröffentlichungen

Titel	Datum	Ort (Zeitungsname, ISBN, ggf. Link etc.)	Inhalt (kurz)
Plenum	09.10.2019	@CITY-Plenum, TU München, Garching	<p>Exakt ein Jahr nach dem Kick Off Meeting von @CITY-AF trafen sich am 09. und 10. Oktober 2019 rund 85 Projektbeteiligte aus den Partnerfirmen, dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie und dem Projektträger TÜV Rheinland zu einer zweitägigen Plenumsveranstaltung an der TU München in Garching.</p> <p>Am ersten Tag der Veranstaltung wurden der aktuelle Stand der Arbeiten in den Teilprojekten und die bisher erreichten Zwischenergebnisse präsentiert. Außerdem auf der Tagesordnung standen Beiträge zu verwandten Projekten aus dem @CITY-Umfeld sowie ein Gastvortrag mit anschließender Diskussion über die gesellschaftspolitische Relevanz und Akzeptanz des autonomen Fahrens. Am zweiten Veranstaltungstag fanden am Vormittag Arbeitstreffen in den Teilprojekten statt, während am Nachmittag teilprojektübergreifende Themen in Workshops behandelt wurden. So bot die Veranstaltung – insbesondere auch den neuen Projektkollegen – jede Menge Gelegenheit zum Informationsaustausch zwischen allen Projektbeteiligten.</p>
Halbzeitpräsentation	26.11.2020	@CITY- Halbzeitpräsentation, Virtuelle Veranstaltung	<p>Am 26. November 2020 präsentierten die Projektpartner nach etwas mehr als der Hälfte der Projektlaufzeit die bislang erreichten Ergebnisse in einem neuen, digitalen Veranstaltungsformat.</p> <p>Der Begrüßung durch den Projektkoordinator Dr. Ulrich Kreßel (Mercedes-Benz AG) und dem Grußwort des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie durch Matthias Marx</p>

			<p>folgte ein Überblick über die Gesamtinitiative @CITY + @CITY-AF und ihrer sieben Teilprojekte. Anschließend wurden in drei parallelen Livestreams die bisherigen Arbeiten von 40 Referenten detailliert präsentiert. Um den Besuchern die Gelegenheit zu bieten, möglichst viele der interessanten Beiträge zu verfolgen, wurden am Nachmittag die jeweiligen Teilprojekt-Sessions in den drei Live-Streams wiederholt. So konnte sich jeder Teilnehmer sein individuelles Programm frei gestalten und dabei beliebig zwischen den Streams wechseln.</p> <p>Auch der persönliche Austausch kam während der ganztägigen Veranstaltung nicht zu kurz: in den Pausen und nach offiziellem Veranstaltungsende konnten die rund 250 Teilnehmer im virtuellen „Café“ dank eines neuartigen Tools per Ad-hoc-Videochats – zu zweit oder auch in Gruppen – ins direkte Gespräch kommen.</p>
IAA	07-12. 09.2021	@CITY auf der IAA Mobility 2021	<p>Die IAA Mobility fand 2021 erstmals mit neuem Konzept in der Münchner Innenstadt und auf dem Messegelände München statt. Auf der mit rund 400.000 Teilnehmern weltweit größten Mobilitätsplattform wurden über eine Woche innovative Lösungen für die Mobilität der Zukunft vorgestellt und diskutiert.</p> <p>@CITY war auf dem Stand des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie vertreten. Unter anderem konnten die Besucher dort in einer interaktiven Virtual Reality Demo im Innenraum eines Busses oder als Fußgänger in einer Stadtumgebung verschiedene Anzeigeconzepte von automatisierten Fahrzeugen erleben. Am Mittwoch, den 8. September, besuchten die Parlamentarische Staatssekretärin Elisabeth Winkelmeier-Becker und VDA-Präsidentin Hildegard Müller den Messestand und zeigten sich sehr interessiert an den Forschungsinhalten und den Zwischenergebnissen von @CITY.</p>



Plenum	14.-15. 10.2021	Virtuelle Veranstaltung	<p>Das diesjährige @CITY Plenum konnte aufgrund der anhaltenden Pandemiesituation nicht wie ursprünglich geplant als Präsenztreffen stattfinden, sondern wurde in einer zweitägigen virtuellen Veranstaltung mit rund 70 Projektbeteiligten am 14. und 15. September 2021 online durchgeführt.</p> <p>Nach der Präsentation des aktuellen Stands der Arbeiten in den einzelnen Teilprojekten lag der Fokus der Veranstaltung auf den Planungen für die im kommenden Jahr anstehende Abschlussveranstaltung des Projekts. Am zweiten Veranstaltungstag fanden am Vormittag Workshops zu den am Vortag identifizierten Themenclustern offener Forschungsfragen statt. Die anschließende Präsentation der Gruppenergebnisse im Plenum bot den Projektbeteiligten weitere, themenübergreifende Diskussions- und Ansatzpunkte für zukünftige Forschungsinhalte im Bereich des hochautomatisierten Fahrens.</p>
Abschluss- präsentation	22.-23. 06.2022	@CITY- Abschlussveranstal- tung in Aldenhoven	<p>Nach über vier Jahren gemeinsamer Forschungsaktivitäten wurden die Projektergebnisse von @CITY im Rahmen einer offiziellen Abschlusspräsentation am 22. und 23. Juni im Aldenhoven Testing Center präsentiert.</p> <p>Auf dem Testgelände wurden in Fahrdemonstrationen mit elf Versuchsfahrzeugen vielfältige Szenarien des automatisierten Stadtverkehrs demonstriert. Gezeigt wurden 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 vorzusehen. 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</p>

			<p>und an der Bushaltestelle erlebten die Besucher automatisierte Fahrfunktionen unter Berücksichtigung anderer Verkehrsteilnehmer.</p> <p>Auf rund 1.200 Quadratmetern Ausstellungsfläche wurden neben statischen Fahrzeugdemos sowie Video-, Poster- und Bildschirmpräsentationen insbesondere auch interaktive Virtual Reality-Demonstrationen und Simulationen mit dem Fokus auf der Mensch-Fahrzeug-Interaktion präsentiert.</p>
--	--	--	---

**Valeo:**

**Tabelle 32: Veröffentlichungen – Valeo**

Titel	Datum	Art	Status
HD map improvement by Visual SLAM	2017	Patentanmeldung	Patent applied for (SDE2774): AZ 102018127468.8
LIDAR based mark detection	2018	Erfindungsmeldung	Nicht patentierbar
Surround View Omni-Directional Stereo Sensor	2018	Erfindungsmeldung	Nicht patentierbar
Deep Lidar Semantic and Motion Segmentation to Improve Odometry and Mapping	2019	Idee	Nicht patentierbar
Occlusion filter for depth maps	2019	Erfindungsmeldung	Filed -> SDE3241
HD maps from air photography & land property maps for lidar relocalization	2020	Erfindungsmeldung	Filed
Kamerabasierter Überholassistent mit überlegenem Sichtbereich	2019	Patentanmeldung	2018ID02901, rejected by patent committee

Im Rahmen der Bearbeitung der Projektinhalte von @CITY kam die Frage auf, inwiefern die Infrastruktur zur Lokalisation und Umfelderkennung in städtischen Gebieten genutzt werden kann. Hierbei wurde eine Idee ausgearbeitet, wie Längs- und Quermarkierungen auf urbanen Straßen im Zusammenspiel mit LIDAR-Sensorik die Lokalisation, Ausrichtung des Fahrzeugs zur Fahrspurmitte und Geschwindigkeitskontrolle unterstützen können. Die Idee wurde von Dr.-Ing. Alexander Nagel vorerst intern als Erfindungsmeldung innerhalb von Valeo zur Prüfung veröffentlicht. Leider konnte die Erfindungsmeldung nicht patentiert werden. Ebenso abgelehnt wurde die Erfindungsmeldung „Surround View Omni-Directional Stereo Sensor“, die zu Beginn von 2018 eingereicht wurde.

In der Zwischenzeit wurde von Kai Fischer (Valeo) eine weitere Erfindungsmeldung mit Bezug zu TP 2 eingereicht. Der Titel der Erfindungsmeldung lautet: „Deep Lidar Semantic and Motion Segmentation to Improve Odometry and Mapping“.

Eine weitere Erfindungsmeldung die eingereicht wurde, trägt den Namen „Occlusion filter for depth maps“. Die Erfindung kommt zum Einsatz für den Fall, dass der Blickwinkel des LiDARs höher liegt, als der von den Fisheye-Kameras. 3D-Punkte vom Objekt (hier: Person) werden auch dann korrekt zugeordnet, wenn das Objekt (aus Sicht der Fisheye-Kamera) verdeckt ist. Siehe hierzu Abbildung 73.

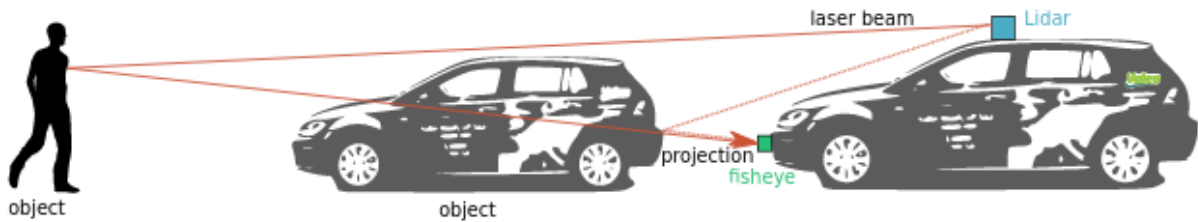


Abbildung 73: Erfindung zur Erkennung von verdeckten Objekten

Diese Erfindung trägt zur Umfelderkennung aus TP1 und zur HD-Map aus TP2 bei. Weitere Details werden hier aus Patentschutzgründen nicht bekanntgegeben. Die erste Prüfung der Erfindungsmeldung wurde jedoch bestanden.

Eine weitere Erfindungsmeldung die gemacht wurde, hat den Titel „HD map improvement by Visual SLAM“ von Georg Arbeiter (Valeo) und Stefan Milz (Valeo). Diese dient der Verbesserung der Qualität der Karten durch Kombination von HD-Karten und Visual SLAM basierten 3D-Karten. Abbildung 74 zeigt eine HD-Karte mit klassifizierten Objekten und Abbildung 75 eine mit Visual SLAM erzeugte 3D-Karte.

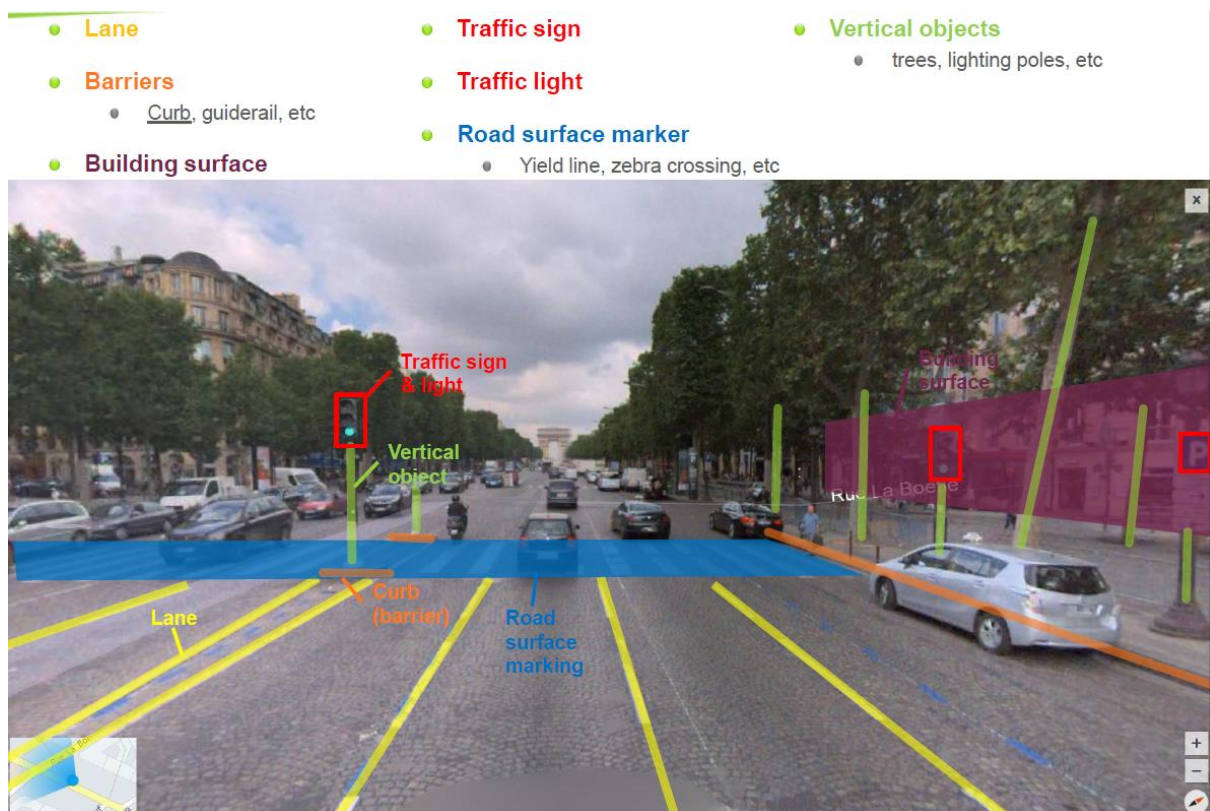


Abbildung 74: Beispiel für eine HD-Karte

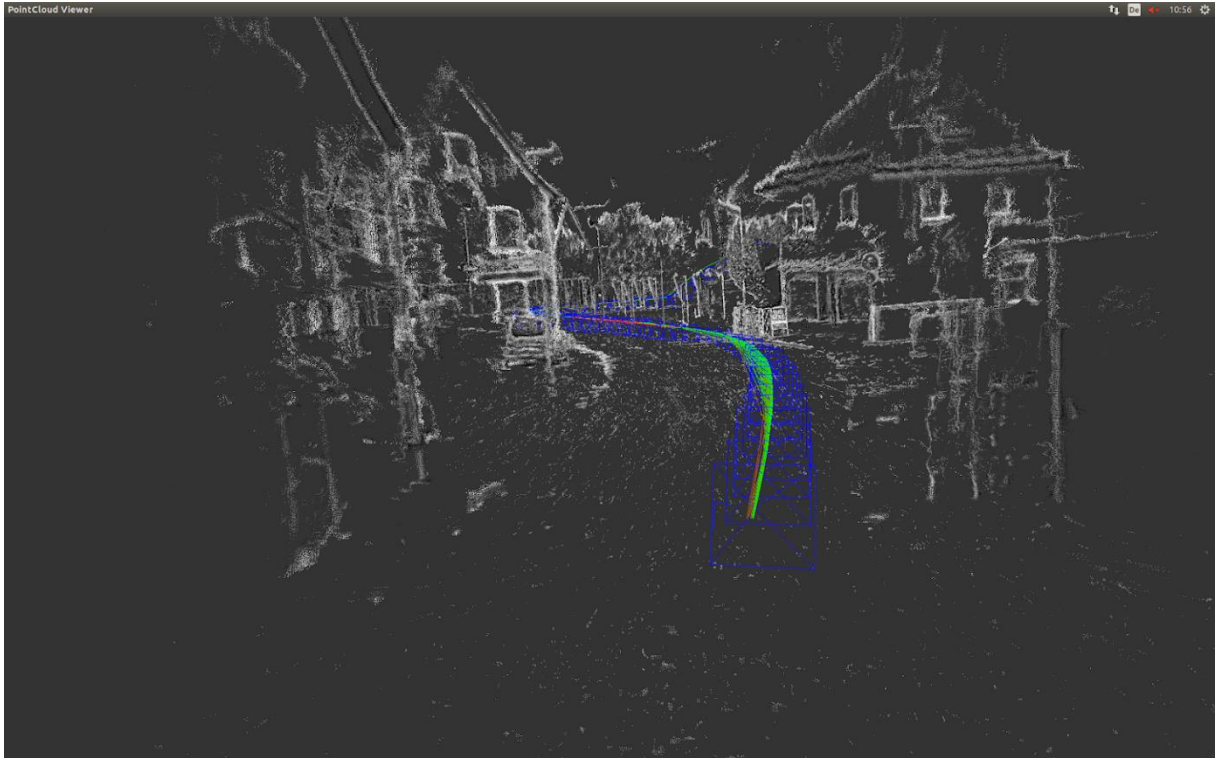


Abbildung 75: Beispiel für eine 3D generierte Karte mit Visual SLAM

Das Patent ist registriert unter AZ 102018127468.8.

## Anlage 01: Literaturverzeichnis

### Verwendete Fachliteratur sowie benutzte Informations- und Dokumentationsdienste:

ADAC. Automatisiertes Fahren: Die 5 Stufen zum selbstfahrenden Auto, 2018.

Bengler, Klaus, Michael Rettenmaier, Nicole Fritz, und Alexander Feierle. „From HMI to HMIs: Towards an HMI Framework for Automated Driving.“ Special Issue Automotive User Interfaces and Interactions in Automated Driving, 2020.

Berrada, Jaâfar/Mouhoubi, Ilyes/Christoforou, Zoi (2020): Factors of successful implementation and diffusion of services based on autonomous vehicles: users' acceptance and operators' profitability. In: Research in Transportation Economics, S. 100902.

Bochkovskiy, Alexey and Wang, Chien-Yao and Liao, Hong-Yuan Mark (2020) YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection <https://doi.org/10.48550/arxiv.2004.10934>

Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. Gesetz über die Pflichtversicherung für Kraftfahrzeughalter (Pflichtversicherungsgesetz) [online]. § 1 [Zugriff am: 3. November 2020]. Verfügbar unter: [https://www.gesetze-im-internet.de/pflvg/\\_1.html](https://www.gesetze-im-internet.de/pflvg/_1.html)

Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) [online]. § 21 Betriebserlaubnis für Einzelfahrzeuge [Zugriff am: 26. Oktober 2020]. Verfügbar unter: [http://www.gesetze-im-internet.de/stvzo\\_2012/BJNR067910012.html](http://www.gesetze-im-internet.de/stvzo_2012/BJNR067910012.html)

Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) [online]. § 70 Ausnahmen [Zugriff am: 12. Oktober 2020]. Verfügbar unter: [https://www.gesetze-im-internet.de/stvzo\\_2012/BJNR067910012.html](https://www.gesetze-im-internet.de/stvzo_2012/BJNR067910012.html)

Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. Straßenverkehrsgesetz (StVG) [online]. § 1 Zulassung [Zugriff am: 26. Oktober 2020]. Verfügbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/stvg/>

Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) [online]. § 20 Allgemeine Betriebserlaubnis für Typen [Zugriff am: 26. Oktober 2020]. Verfügbar unter: [http://www.gesetze-im-internet.de/stvzo\\_2012/\\_20.html](http://www.gesetze-im-internet.de/stvzo_2012/_20.html)

Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) [online]. § 71 Auflagen bei Ausnahmegenehmigungen [Zugriff am: 26. Oktober 2020]. Verfügbar unter: [http://www.gesetze-im-internet.de/stvzo\\_2012/\\_71.html](http://www.gesetze-im-internet.de/stvzo_2012/_71.html)

Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. Straßenverkehrsgesetz (StVG) [online]. § 7 Haftung des Halters, Schwarzfahrt [Zugriff am: 28. Oktober 2020]. Verfügbar unter: [https://www.gesetze-im-internet.de/stvg/\\_7.html](https://www.gesetze-im-internet.de/stvg/_7.html)

Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. Straßenverkehrsgesetz (StVG) [online]. § 18 Ersatzpflicht des Fahrzeugführers [Zugriff am: 28. Oktober 2020]. Verfügbar unter: [https://www.gesetze-im-internet.de/stvg/\\_18.html](https://www.gesetze-im-internet.de/stvg/_18.html)

Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. Straßenverkehrsgesetz (StVG) [online]. § 1a Kraftfahrzeuge mit hoch- oder vollautomatisierter Fahrfunktion [Zugriff am: 28. Oktober 2020]. Verfügbar unter: [https://www.gesetze-im-internet.de/stvg/\\_1a.html](https://www.gesetze-im-internet.de/stvg/_1a.html)

Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. Verordnung über die Zulassung von Fahrzeugen zum Straßenverkehr (Fahrzeug-Zulassungsverordnung - FZV) [online]. § 1 Anwendungsbereich [Zugriff am: 3. November 2020]. Verfügbar unter: [https://www.gesetze-im-internet.de/fzv\\_2011/BJNR013900011.html](https://www.gesetze-im-internet.de/fzv_2011/BJNR013900011.html)

Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. Verordnung über die Zulassung von Fahrzeugen zum Straßenverkehr (Fahrzeug-Zulassungsverordnung - FZV) [online]. § 4



- Voraussetzungen für eine Inbetriebsetzung zulassungsfreier Fahrzeuge [Zugriff am: 3. November 2020]. Verfügbar unter: [https://www.gesetze-im-internet.de/fzv\\_2011/BJNR013900011.html](https://www.gesetze-im-internet.de/fzv_2011/BJNR013900011.html)
- Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. Verordnung über die Zulassung von Fahrzeugen zum Straßenverkehr (Fahrzeug-Zulassungsverordnung - FZV) [online]. § 3 Notwendigkeit einer Zulassung [Zugriff am: 26. Oktober 2020]. Verfügbar unter: [https://www.gesetze-im-internet.de/fzv\\_2011/BJNR013900011.html](https://www.gesetze-im-internet.de/fzv_2011/BJNR013900011.html)
- Dozza, M., Schindler, R., Bianchi-Piccinini, G. & Karlsson, J. 2016. How do drivers overtake cyclists? <https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.12.008>
- Dupuis, Marius. 2015. "OpenDRIVE® Format Specification, Rev. 1.4 Issue H." VIRE Simulationstechnologie GmbH.
- Fastenmeier, Wolfgang, and Herbert Gstalter. 2007. "Driving Task Analysis as a Tool in Traffic Safety Research and Practice." *Safety Science* 45 (9). Elsevier: 952–79.
- FGSV. 1988. "Richtlinien Für Die Anlage von Straßen (RAS) Teil: Knotenpunkte (RAS-K) Abschnitt 1: Plangleiche Knotenpunkte." Köln.
- . 2006a. "Merkblatt Für Die Anlage von Kreisverkehren." Köln.
- . 2006b. "Richtlinien Für Die Anlage von Stadtstraßen, RAS 06." Köln.
- . 2010. "Richtlinien Für Lichtsignalanlagen, RiLSA." Köln.
- . 2018. "FGSV Technisches Regelwerk." 2018. [http://www.fgsv-verlag.de/catalog/\\_pdf-files/Inhaltsuebersicht\\_Premium\\_Bau\\_und\\_Verkehr.pdf](http://www.fgsv-verlag.de/catalog/_pdf-files/Inhaltsuebersicht_Premium_Bau_und_Verkehr.pdf).
- Gasser, T. M., Frey, A. T., Seeck, A. & Auerswald, R. (2017). Comprehensive Definitions for Automated Driving and ADAS (Paper Number: 17-0380). Verfügbar unter <http://indexsmart.mirasmart.com/25esv/PDFfiles/25ESV-000380.pdf>
- GDV. 1998. "Unfalltypen-Katalog - Leitfaden Zur Bestimmung Des Unfalltyps." Köln. <https://udv.de/de/publikationen/broschueren/unfalltypen-katalog>
- Gerstenberger, Marcus. 2015. "Unfallgeschehen an Knotenpunkten - Grundlagenuntersuchung Zu Ursachen Und Ansätzen Zur Verbesserung Durch Assistenz." Technische Universität München. <http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn:nbn:de:bvb:91-diss-20150521-1239434-1-4>
- Leue, Anke, and Wolfgang Bouska. 2018. StVO Straßenverkehrs-Ordnung: Textausgabe Mit Erläuterungen, Allgemeiner Verwaltungsvorschrift Zur Straßenverkehrs-Ordnung, Verkehrsrechtlichen Bestimmungen Des Bundes-Immissionsschutzgesetzes, Fernreiseverordnung Sowie Ausgewählten Ausnahmeverordnungen. CF Müller GmbH.
- Mages, Mark. 2009. Top-Down-Funktionsentwicklung Eines Einbiege-Und Kreuzenassistenten. Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Michon, John A. 1985. "A Critical View of Driver Behavior Models: What Do We Know, What Should We Do?" In *Human Behavior and Traffic Safety*, 485–524. Springer.
- SAE J3016. (2016). Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles.
- Ulbrich, S., Menzel, T., Reschka, A., Schuldt, F., Maurer, M. (2015). Definition der Begriffe Szene, Situation und Szenario für das automatisierte Fahren. In *Workshop Fahrerassistenzsysteme, Walting, Deutschland, 2015*, S. 105-117
- Caputo, Ariel & Giachetti, Andrea & Giannini, Franca & Lupinetti, Katia & Monti, Marina & Pegoraro, Marco & Ranieri, Andrea. (2020). SFINGE 3D: A novel benchmark for online detection and recognition of heterogeneous hand gestures from 3D fingers' trajectories. *Computers & Graphics*, Volume 91, 2020, Pages 232-242, <https://doi.org/10.1016/j.cag.2020.07.014>



- Caputo, Ariel & Giachetti, Andrea & Soso, Simone & Pintani, Deborah & D'Eusanio, Andrea & Pini, Stefano & Borghi, Guido & Simoni, Alessandro & Vezzani, Roberto & Cucchiara, Rita & Ranieri, Andrea & Giannini, Franca & Lupinetti, Katia & Monti, Marina & Maghoumi, Mehran & Jr, Joseph & Le, Minh-Quan & Nguyen, Hai-Dang & Tran, Minh-Triet. (2021). SHREC 2021: Skeleton-based Hand Gesture Recognition in the Wild. *Computers & Graphics*. <https://doi.org/10.1016/j.cag.2021.07.007>
- Caputo, F.M., Burato, S., Pavan, G., Voillemin, T., Wannous, H., Vandeborre, J., Maghoumi, M., Taranta, E.M., A., Razmjoo, LaViola, J.J., Manganaro, F., Pini, S., Borghi, G., Vezzani, R., Cucchiara, R., Nguyen, H., Tran, M., & Giachetti, A. (2019). SHREC 2019 Track: Online Gesture Recognition.
- Chandran und Amudha (2018): Chandran, J.; Amudha, J.: Eye Gaze as an Indicator for Stress Level Analysis in Students, 2018 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics. <https://doi.org/10.1109/ICACCI.2018.8554715>
- Europäische Kommission. Rechtmäßigkeit der Verarbeitung [online]. Art. 6 DSGVO [Zugriff am: 12. Oktober 2020]. Verfügbar unter: <https://dsgvo-gesetz.de/art-6-dsgvo/>
- Europäische Union. Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) [online]. Art. 6 Rechtmäßigkeit der Verarbeitung [Zugriff am: 27. Oktober 2020]. Verfügbar unter: <https://dsgvo-gesetz.de/art-6-dsgvo/>
- Europäische Union. Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) [online]. § 4 Videoüberwachung öffentlich zugänglicher Räume [Zugriff am: 27. Oktober 2020]. Verfügbar unter: <https://dsgvo-gesetz.de/bdsg/4-bdsg/>
- Europäische Union. Ted - tenders electronic daily: Supplement zum Amtsblatt der Europäischen Union [online]. Deutschland-Hofheim am Taunus: Reparatur, Wartung und zugehörige Dienste für Fahrzeuge und zugehörige Ausrüstungen, 2020 [Zugriff am: 9. November 2020]. Verfügbar unter: <https://ted.europa.eu/udl?uri=TED:NOTICE:518315-2019:TEXT:DE:HTML&src=0>
- Hartwig, Matthias und Mathilde Krampitz. Eine Experimentierklausel für Kraftfahrzeuge mit automatisierter, vernetzter und teleoperierter Fahrfunktion im StVG. Zukünftige Fahrzeugkonzepte: Experimentierklausel im StVG. Berlin, 2020.
- Hurt et al. (1977): Hurt, H. T.; Joseph, K.; Cook, C. D.: Scales for the measurement of innovativeness, in: *Human Communication Research* 4 (1977), Nr. 1, S. 58–65. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2958.1977.tb00597.x>
- Lenz B, Fraedrich E (2015) Gesellschaftliche und individuelle Akzeptanz des autonomen Fahrens. In: *Autonomes Fahren*. Springer, Berlin, Heidelberg, S 639–660
- Mitteregger, Mathias et al. (2020): AVENUE21. Automatisierter und vernetzter Verkehr: Entwicklungen des urbanen Europa. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Nationale Plattform Zukunft der Mobilität. Handlungsempfehlung zum automatisierten Fahren. Arbeitsgruppe 3: Digitalisierung für den Mobilitätssektor (zweiter Zwischenbericht). Berlin, 2019.
- Nill, D. und M. Hartwig. Einsatzmöglichkeiten automatisierter Fahrzeuge [online]. I- AT - Interregional Automated Transport, 2017 [Zugriff am: 1. Oktober 2020]. Verfügbar unter: <https://www.i-at.eu/iatdeutsch/Datenbank>
- Osokin, Daniil. (2018). Real-time 2D Multi-Person Pose Estimation on CPU: Lightweight OpenPose. <https://doi.org/10.48550/arxiv.1811.12004>
- Oudah M, Al-Naji A, Chahl J. Hand Gesture Recognition Based on Computer Vision: A Review of Techniques. *Journal of Imaging*. 2020; 6(8):73. <https://doi.org/10.3390/jimaging6080073>
- Presse- und Informationsamt der Bundesregierung. Rechtssicherheit für automatisiertes Fahren [online]. Wiener Übereinkommen [Zugriff am: 3. November 2020]. Verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/rechtssicherheit-fuer-automatisiertes-fahren-349048>

Q. Gao, Y. Chen, Z. Ju and Y. Liang, "Dynamic Hand Gesture Recognition Based on 3D Hand Pose Estimation for Human-Robot Interaction," in *IEEE Sensors Journal*, doi: 10.1109/JSEN.2021.3059685.

Riedl und Wengler (2019): Riedl, J.; Wengler, S.: *Autonomous Driving 2019. Driving Forces and Restrictions on the Way to Autonomous Driving from the Perspective of Drivers*, Weidenberg: Access Marketing Management 2019.

Verband der Automobilindustrie e. V. *Automatisiertes Fahren – Einführung – Rechtsrahmen – Testen* [online]. Vorschriften zum Verhalten im Straßenverkehr - Internationale Rahmenabkommen, 2018 [Zugriff am: 3. November 2020]. Verfügbar unter:  
[https://www.dlr.de/ts/PortalData/16/Resources/veranstaltungen/2018/Gustke\\_DLR\\_Symposium\\_Testen\\_AVF\\_fuer\\_Druck\\_pdf.pdf](https://www.dlr.de/ts/PortalData/16/Resources/veranstaltungen/2018/Gustke_DLR_Symposium_Testen_AVF_fuer_Druck_pdf.pdf)

Verband der Automobilindustrie e. V. *Automatisierung. Von Fahrerassistenzsystemen zum automatisierten Fahren*, 2015, (8).

Wengler et al. (2018): Wengler, S.; Schelter, A.; Zips, S.: *Autonomes Fahren in Deutschland. "Disruption, Kundenakzeptanz und die mögliche Nutzung von Diffusionstreibern"*, 1. Auflage, Bayreuth 2018. ISBN 978-3945456170

Wiederer, Julian & Bouazizi, Arij & Kreßel, Ulrich & Belagiannis, Vasileios. (2020). *Traffic Control Gesture Recognition for Autonomous Vehicles*. 10676-10683.  
<https://doi.org/10.48550/arxiv.2007.16072>

Z. Cao, G. Hidalgo, T. Simon, S. -E. Wei and Y. Sheikh, "OpenPose: Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation Using Part Affinity Fields," in *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 43, no. 1, pp. 172-186, 1 Jan. 2021, doi: 10.1109/TPAMI.2019.2929257.

Monocular Fisheye Camera Depth Estimation Using Semi-supervised Sparse Velodyne Data, Varun Ravi Kumar, Stefan Milz, Senthil Yogamani  
Conference: 21<sup>st</sup> IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2018)  
Submission number 487

Visual SLAM for Automated Driving: Exploring the Applications of Deep Learning at CVPR 2018, Stefan Milz, Georg Arbeiter, Christian Witt, Bassam Abdallah, Senthil Yogamani (Valeo)

## Berichtsblatt

<b>1. ISBN oder ISSN</b> -	<b>2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung)</b> Schlussbericht
<b>3. Titel</b> Individueller Schlussbericht zum Verbundbericht „@CITY“  Verbundprojekt: @CITY - Automatisierte Fahrzeuge und Intelligenter Verkehr in der Stadt; Teilvorhaben: Bahnplanung, Lokalisation, digitale Karte, Testfahrzeug, Umfeld erfassung	
<b>4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)]</b> Nagel, Alexander	<b>5. Abschlussdatum des Vorhabens</b> 30.06.2022
	<b>6. Veröffentlichungsdatum</b> 19.09.2022
	<b>7. Form der Publikation</b> Online + Gebundener Bericht
<b>8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse)</b> Valeo Schalter und Sensoren GmbH (Verbundpartner) Laiernstrasse 12 74321 Bietigheim-Bissingen  Weitere im Verbundprojekt beteiligte Partner: Aptiv Services Deutschland GmbH, AUDI AG, Continental Safety Engineering International GmbH, Continental Teves AG & Co. oHG, MAN Truck & Bus SE, Robert Bosch GmbH, Technische Universität München, ZF Friedrichshafen AG, 3D Mapping Solutions GmbH  Projektkoordinator: Mercedes-Benz AG	<b>9. Ber. Nr. Durchführende Institution</b> -
	<b>10. Förderkennzeichen:</b> 19A17015H
	<b>11. Seitenzahl</b> 149
<b>12. Fördernde Institution (Name, Adresse)</b>  Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) Scharnhorststr. 34-37 10115 Berlin	<b>13. Literaturangaben</b> 54
	<b>14. Tabellen</b> 32
	<b>15. Abbildungen</b> 75
<b>16. Zusätzliche Angaben</b> -	
<b>17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)</b> Technische Informationsbibliothek (TIB), Deutsche Forschungsberichte, Postfach 6080, D-30060 Hannover, 19.09.2022	
<b>18. Kurzfassung</b> 15 Partner aus der Automobil- und Zulieferindustrie, sowie Universitäten und Forschungsinstitute haben sich im Verbundprojekt @CITY zusammengeschlossen. Unterstützt durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz erforschen sie gemeinsam neue automatisierte Fahrfunktionen für die Stadt. Die Automation von Fahrzeugen bietet das Potenzial für eine Steigerung von Sicherheit und Komfort – insbesondere in Situationen, die den Fahrer stark beanspruchen. Verbesserte Verkehrseffizienz und Reduktion von Staus sind weitere Ziele, die mithilfe automatisierter Fahrzeuge erreicht werden sollen. Bisher konzentrieren sich Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten zum Automatisierten Fahren in erster Linie auf gut strukturierte Gebiete wie Autobahnen und autobahnähnliche Straßen. Das Projekt @CITY stellt sich der Herausforderung, erstmalig automatisierte Fahrfunktionen für das weitaus komplexere, urbane Umfeld prototypisch in Versuchsträgern umzusetzen und unter realitätsnahen Bedingungen zu erproben. Im Fokus steht hierbei das automatisierte Fahren durch Engstellen, über komplexe Kreuzungen und Kreisverkehre sowie die Interaktion des automatisierten Systems mit Fußgängern und Radfahrern. Der Verbundpartner Valeo hatte zum Schwerpunkt die Themen Bahnplanung, Lokalisation, digitale Karte, Testfahrzeug und Umfeld erfassung.	

19. Schlagwörter Automatisiertes Fahren, Umfelderkennung, HD-Karte, Lokalisation, VRU, Mensch-Maschine-Interaktion, Digitale Karte, Use Cases, HMI, Sensorik, Versuchsträger, Engstelle, Kreuzung, Kreisverkehr, Stadt, Urban, City, Situationsverstehen, Spezifikation	
20. Verlag -	21. Preis -

## Document Control Sheet

<b>1. ISBN or ISSN</b> -	<b>2. type of document (e.g. report, publication)</b> Final Report
<b>3. title</b> Individueller Schlussbericht zum Verbundbericht „@CITY“  Verbundprojekt: @CITY - Automatisierte Fahrzeuge und Intelligenter Verkehr in der Stadt; Teilvorhaben: Bahnplanung, Lokalisation, digitale Karte, Testfahrzeug, Umfelderkennung	
<b>4. author(s) (family name, first name(s))</b> Nagel, Alexander	<b>5. end of project</b> 30.06.2022  <b>6. publication date</b> 19.09.2022  <b>7. form of publication</b> Online + Written report
<b>8. performing organization(s) (name, address)</b> Valeo Schalter und Sensoren GmbH (collaborative partner) Laiernstrasse 12 74321 Bietigheim-Bissingen  Further collaborative partner: Aptiv Services Deutschland GmbH, AUDI AG, Continental Safety Engineering International GmbH, Continental Teves AG & Co. oHG, MAN Truck & Bus SE, Robert Bosch GmbH, Technische Universität München, ZF Friedrichshafen AG, 3D Mapping Solutions GmbH  Project coordinator: Mercedes-Benz AG	<b>9. originator's report no.</b> -  <b>10. reference no.</b> 19A17015H  <b>11. no. of pages</b> 149
<b>12. sponsoring agency (name, address)</b>  Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action Scharnhorststr. 34-37 10115 Berlin	<b>13. no. of references</b> 54  <b>14. no. of tables</b> 32  <b>15. no. of figures</b> 75
<b>16. supplementary notes</b> -	
<b>17. presented at (title, place, date)</b> Technische Informationsbibliothek (TIB), Deutsche Forschungsberichte, Postfach 6080, D-30060 Hannover, 19.09.2022	
<b>18. abstract</b> 15 partners from the automobile and automotive supplier industry have joined forces with universities and research institutes to participate in the collaborative project @CITY. With the support of the Federal Ministry of Economic Affairs and Climate Action, they are collaborating on research into new automated driving functions for the city. The automation of vehicles has the potential to increase safety and comfort - particularly in situations, which make high demands on the driver. Improved efficiency in traffic flow and a reduction in the number of traffic jams are other objectives that automated vehicles can help to achieve. Previous research and development activities examining automated driving primarily concentrated on areas with good infrastructure, such as motorways and other types of dual carriageways. The @CITY project has set itself the challenge of turning automated driving functions for the much more complex urban environment into reality for the first time in the form of prototypical test vehicles and testing them in conditions close to reality. A particular focus is being directed at automated driving when bottlenecks occur; driving through complex intersections and roundabouts, and the way the automated system interacts with pedestrians and cyclists. The collaborative partner Valeo focused on the topics of path planning, localization, digital maps, test vehicles and environment detection.	
<b>19. keywords</b> Automated driving, perception, HD map, localization, VRU, HMI, digital map, use cases, sensors, test vehicle, narrow road, intersection, crossing, roundabout, specification	
<b>20. publisher</b> -	<b>21. price</b> -