



HOCHSCHULE RUHR WEST  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

INSTITUT **INFORMATIK**

Internal Report 19-01

**AUTONOMES FAHREN IN BAUSTELLEN ANHAND ZWEIER AUTOS**

Thorsten Tatarek, Niklas Lingenauber, Jan Thomas, Jan Kronenberger, Uwe Handmann





# Autonomes Fahren in Baustellen anhand zweier Autos

Thorsten Tatarek, Niklas Lingenauber, Jan Thomas, Jan Kronenberger, Uwe Handmann

**Zusammenfassung**—Das vorliegende Paper gibt einen Überblick über das Verhalten von modernen, autonom navigierenden Fahrzeugen in Baustellen. Dabei werden besondere Herausforderungen für die autonome Navigation im Baustellenbereich benannt. Außerdem wird ein Überblick über die Sensorausstattung und die Fahrerassistenzsysteme von modernen Fahrzeugen gegeben und es werden Technologien vorgestellt, die für eine Verbesserung der autonomen Navigation durch Baustellen genutzt werden können. Es wird ein Versuch durchgeführt, der aufzeigt, wie zuverlässig moderne Fahrzeuge durch Baustellensituationen navigieren können. Dabei werden Schwachstellen, wie bspw. die mangelnde Verfügbarkeit von Fahrerassistenzsystemen bei niedrigen Geschwindigkeiten, aufgedeckt.

**Index Terms**—Tesla Motors, Mercedes-Benz, Autopilot, Advanced Driver Assistance Systems, Roadwork, Construction Site, HRW.

## 1 EINLEITUNG

Die Automobilindustrie legt in der Entwicklung den Fokus auf das Thema „Autonomes Fahren“. Moderne Fahrzeuge sind zunehmend in der Lage, den Fahrer beim Navigieren durch den Straßenverkehr zu entlasten. Dabei kommen die Assistenzsysteme meist nur in bestimmten Situationen zum Einsatz, beispielsweise bei der Autobahnfahrt oder beim Einparken. Da über die Verhaltensweise der Fahrzeuge im Baustellenbereich jedoch nur wenig bekannt ist, soll in dieser Ausarbeitung untersucht werden, wie moderne Fahrzeuge in solchen Situationen reagieren. Der Fokus liegt hierbei auf der Untersuchung, wie zuverlässig die Fahrerassistenzsysteme der Fahrzeuge in Baustellen funktionieren, welche Probleme auftreten und wie die autonome Navigation in diesem Bereich verbessert werden kann.

### 1.1 SAE-Level

Zur Klassifizierung der Automatisierung von Systemen wurden durch die Norm SAE J3016 sechs Stufen von 0 bis 5 definiert, die international gültig sind. Diese Automatisierungsgrade beschreiben die Anforderungen, die an ein System bzw. den Fahrer auf der jeweiligen Stufe gestellt werden. Abbildung 1 zeigt eine Visualisierung der definierten Automatisierungsgrade.

Der Großteil der aktuellen Fahrzeuge, die mit Fahrerassistenzsystemen ausgestattet sind, erreichen SAE-Level 2 und sind somit teilautomatisierte Systeme. Sie sind in der Lage die Quer- und die Längsregelung des Fahrzeugs in bestimmten Situationen zu übernehmen. Die Überwachung des Systems liegt jedoch weiterhin beim Fahrer. Dieser muss jederzeit in der Lage sein, die Kontrolle über das Fahrzeug zu übernehmen.

Beispiele für Fahrerassistenzsysteme auf SAE-Level 2 sind [1, S.15]

- Schlüsselparken
- Stauassistent
- Parkmanöverassistent

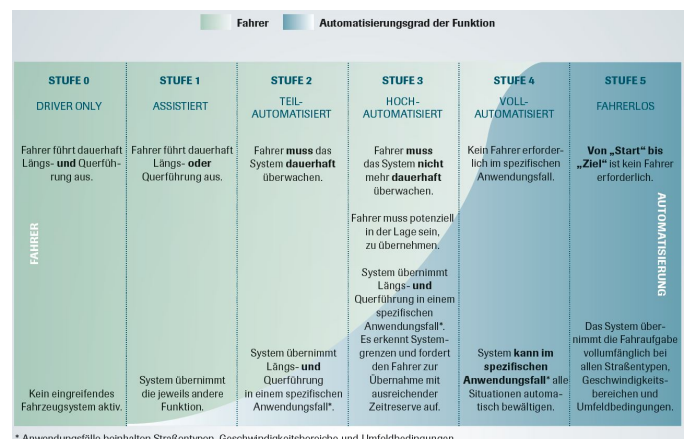


Abbildung 1. Automatisierungsgrade nach SAE J3016 [1, S.15].

Im Juli 2017 wurde in Barcelona mit dem Audi AI Stau-piloten im Audi A8 (D5) das erste Fahrzeug mit SAE-Level 3 vorgestellt [2, S.1]. Mit bis zu 60 km/h ist der Stau-pilot in der Lage, im stockenden und zweispurigen Verkehr die Kontrolle über das Fahrzeug zu übernehmen, ohne dass der Fahrer permanent den Assistenten überwachen muss [3, S.5]. Der Fahrer darf dabei die Hände dauerhaft vom Lenkrad nehmen und sich beispielsweise mit den Funktionen des bordeigenen Infotainmentsystems beschäftigen. Die geltenden Landesvorschriften müssen weiterhin beachtet werden. Beim Überschreiten der Systemgrenzen wird der Fahrer aufgefordert die Kontrolle über das Fahrzeug zu übernehmen [4]. Bei einem Unfall im automatisierten Fahrmodus haftet der Fahrzeughersteller, wenn zu diesem Zeitpunkt die Fahraufgabe vom System ausgeführt wurde und der Unfall aus einem Systemfehler resultiert [5]. Dabei dürfen sich weder Ampeln noch Fußgänger im relevanten Sichtbereich der Fahrzeugsensorik befinden [3, S.5].

## 1.2 Besonderheiten für autonome Fahrzeuge in Baustellensituationen

Baustellensituationen im Straßenverkehr weisen einige Besonderheiten gegenüber der Fahrt in Alltagssituationen auf, die das automatisierte Fahren erheblich erschweren. Die Fahrzeuge müssen die Szenerie einer Baustelle erst einmal erfassen und interpretieren [6].

Ein Aspekt liegt dabei in der Erkennung der Fahrspuren. Die weißen Fahrbahnmarkierungen werden in Baustellen häufig mit gelben Markierungen überlagert, sodass das System erkennen muss, welche Markierung nun führend ist. Hinzu kommt häufig eine verschmutzte Fahrbahn, sowie die Gefahr, dass die gelben Fahrbahnmarkierungen verrutschen. Nicht selten kommt es vor, dass diese komplett fehlen oder die Fahrbahn nur durch Betontrennwände, Baken oder Pylonen gekennzeichnet ist.

Weitere Schwierigkeiten können durch alternative Fahrbahnbeschilderungen hervorgerufen werden. An dieser Stelle müssen als ungültig markierte Verkehrszeichen vom System auch als ungültig erkannt werden. Außerdem gilt es leuchtende LED-Beschilderungen zu erkennen und diese von anderen Leuchtsignalen wie den Warnleuchten auf Leitbaken oder am Fahrbahnrand befindlicher Leuchtreklame zu unterscheiden.

Neben der veränderten Streckenführung kommt es häufig auch zu verengten Fahrbahnen oder verkürzten Autobahnauf- bzw. Ausfahrten, die vom System erkannt und berücksichtigt werden müssen.

In Baustellen ist es außerdem zwingend nötig die Baustellenarbeiter am Fahrbahnrand oder auf der Straße zu erkennen und diese nicht zu gefährden.

Erst nachdem die genannten Aspekte von einem System in Betracht gezogen und auf ihre Relevanz geprüft wurden, kann ein Fahrzeug mit einem entsprechenden Verhalten reagieren.

Die Umsetzung der autonomen Fahrt in Baustellen wird außerdem durch fehlende internationale Standards für Baustellenkennzeichnung und Führung erschwert.

## 2 STAND DER TECHNIK

Dieses Kapitel soll einen Überblick über den Stand der Technik im Bereich des autonomen Fahrens mit Fokus auf Baustellensituationen vermitteln.

Zunächst werden zwei verschiedene Herangehensweisen zur Entwicklung von autonomen Fahrzeugen vorgestellt. Darauf werden mit dem Tesla Model S 60D Facelift und dem Mercedes-Benz S 350d zwei moderne Oberklassenfahrzeuge und dessen jeweilige Assistenzsysteme vorgestellt. Ein weiterer Schwerpunkt dieses Kapitels befasst sich mit Technologien, die möglicherweise zur Verbesserung der autonomen Navigation in Baustellenbereichen führen können.

### 2.1 Autonome Assistenzsysteme gegen selbstfahrende Fahrzeuge

Viele Automobilhersteller beschäftigen sich momentan stark mit der Entwicklung teilautonomer Fahrzeuge. Besonders in Marketinganzeigen werden immer wieder neue Aspekte der Fahrerassistenzsysteme vorgestellt und vermarktet [3]

[7] [8] [9] [10]. Der Ansatz zur Umsetzung des autonomen Fahrens besteht häufig darin, aktuelle Modelle mit einem Facelift zu versehen und in diesem Schritt neue Teilbereiche der Assistenzsysteme zu integrieren.

Andere Hersteller verfolgen jedoch den Ansatz, ein autonomes Fahrzeug von Grund auf als Ganzes zu entwickeln. Volvo arbeitet z.B. an Fahrzeugen die auf autonomes Fahren ausgelegt sein sollen. Diese sind für das Dienstleistungsunternehmen Uber gedacht, um einen Meilenstein in der Taxiindustrie zu gründen [11]. Uber selbst gründet weitere Partnerschaften mit Fahrzeugherstellern und möchte so das erste Unternehmen sein, das als Dienstleister allein auf autonomisierte Fahrzeuge setzt. Jedoch ist dieses Vorhaben noch nicht Alltag [12] [13] [14].

Google ist eines der wenigen Unternehmen, das an komplett selbstfahrenden Fahrzeugen arbeitete. Waymo, eine Tochtergesellschaft von Alphabet, hat das Projekt übernommen. Der große Vorteil von selbstfahrenden Autos besteht darin, dass stetig die Gesamtsituation, in der sich das Fahrzeug befindet, analysiert wird und anhand dessen Erkenntnisse denkbare Entscheidungen abgewägt werden. So ist es möglich, dass das Fahrzeug selbst auf unbekannte Situationen reagieren kann, indem es automatisch langsamer fährt, die Situation genauer untersucht und die Gefahrensituation so entschärft [15].

Abbildung 2 visualisiert die Klassifikation aller Objekte und Fahrzeuge, die für das selbstfahrende Fahrzeug sichtbar sind. Anhand von bisher gesammelten Informationen versuchen Algorithmen zu berechnen, wie sich jedes einzelne erkannte Objekt verhalten wird.

Die Szenerie wird mit Hilfe von vielen Sensoren, unter anderem von Light Detection and Ranging Sensoren (LIDAR), erfasst und mit ähnlichen Daten verglichen, die bereits gesammelt und in den Google Datenbanken gespeichert wurden. So werden ähnliche Vorkommnisse erkannt und das Fahrzeug wertet aus, wie es zu reagieren hat.



Abbildung 2. Google-Car Szenerie [16].

Tesla dagegen setzt auf die Entwicklung von verschiedenen Assistenzsystemen, die einzelne Teilaufgaben für sich übernehmen und so den Fahrer unterstützen. Die verwendeten Assistenzsysteme werden in Kapitel 2.2.3 näher erläutert.

### 2.2 Oberklassefahrzeuge im Vergleich

In diesem Kapitel wird näher auf die folgenden zwei Limousinen der Oberklasse eingegangen (Abbildung 3), welche

eine hohe Anzahl an Assistenzsystemen vorweisen.

- Tesla Model S 60D Facelift (Baujahr 2016) mit Auto-pilot 2.0 Hardware und Software Version v8.1.
- Mercedes-Benz S 350d (Baujahr 2017) mit allen für dieses Modell verfügbaren Assistenzsystemen.



Abbildung 3. Links: Mercedes-Benz S 350d, rechts: Tesla Model S 60D Facelift.

### 2.2.1 Sensorik Tesla Model S 60D Facelift

Tesla stattet alle aktuellen Facelift Modelle mit der gleichen Technik aus und regelt die Motorisierung bzw. freigegebene Leistung der Lithium-Ionen-Akkus softwareseitig.

Verbaut sind acht Kameras, ein Radar und zwölf Ultraschallsensoren (siehe Tabelle 1).

Die Positionen der Sensoren und Kameras sind in Abbildung 4 dargestellt.

Die seitlichen Kameras (forward-side und reward-side) haben bisher keinen Nutzen für die Assistenzsysteme und stehen für spätere Software-Updates zur Verfügung (Stand 2018 v8.1). Seit Software-Version v9.0 sind alle Kameras aktiv und funktionsfähig [17].

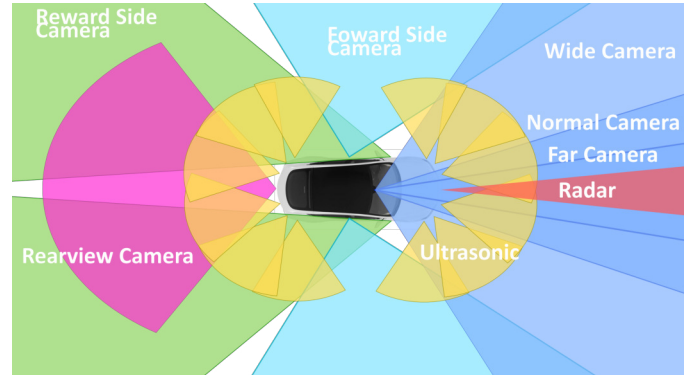


Abbildung 4. Sensorik des Tesla Model S 60D Facelift [18].

Fernbereichsradar und ein Multimode-Radar im Heckbereich des Fahrzeugs.

Ebenfalls verwendet werden Ultraschallsensoren, die rund um die Front und das Heck des Fahrzeugs installiert sind. Zusätzlich wird eine Infrarotkamera für Analysen bei dunklen Verhältnissen verwendet (Tabelle 2).

Einen Überblick über die Positionen der verbauten Sensoren liefert die Abbildung 5.

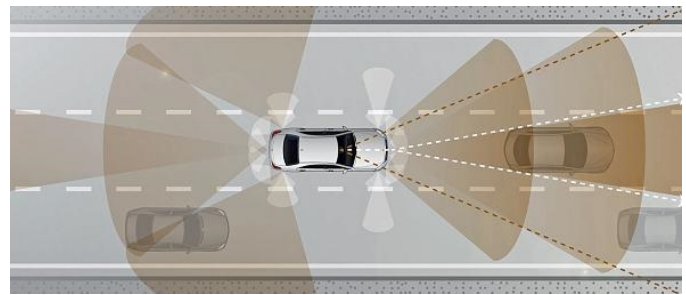


Abbildung 5. Sensorik des Mercedes-Benz S 350d [19].

Sensor	Funktion	Reichweite
Radar	Tempomat, AEB <sup>1</sup>	160 m
Front-Haupt-Kamera	LKA <sup>2</sup> , AEB, TSR <sup>3</sup> , ...	150 m
Front-Weitwinkel-Kamera	z.B. Ampeln, Spurbreite	60 m
Front- Narrow Kamera	Tempomat	250 m
Front-Seiten-Kamera	Seitliche Kollisionswarnung (ungenutzt)	80 m
Rückwärtige Seiten-Kamera	LCA <sup>4</sup> (ungenutzt)	100 m
Rückfahr-Kamera	Park-Assistent	50 m
Ultraschall	Park-Assistent, LCA	8 m

Tabelle 1  
Liste der verbauten Sensoren.

Sensor	Funktion	Reichweite
Stereokamera	Magic Body Control, Spurerkennung, ...	50 m = 3D, 500 m
Nahbereichsradar	Distronic Plus, Kollisionswarnung, ...	
Fernbereichsradar	Spurerkennung, Tempomat, ...	
Infrarotkamera	Nachtsicht	160 m
Multimode-Radar	Heck Kollisionswarnung	
Ultraschall	Park-Assistent	8 m
Rückfahr-Kamera	Park-Assistent	50 m

Tabelle 2  
Liste der verbauten Sensoren.

### 2.2.2 Sensorik Mercedes-Benz S 350d

Der Mercedes-Benz S 350d verfügt hinter der Frontscheibe über eine Stereokamera, womit ein 3D Bild erzeugt wird.

Anders als beim Tesla, bei dem nur ein Radarsensoren verbaut ist, kommen im Mercedes-Benz S 350d mehrere Radarsensoren zum Einsatz. Dazu zählen Nahbereichs- und

1. Automatic Emergency Brake (Automatische Notbremsung)
2. Lane Keeping Assist (Spurhalte-Assistent)
3. Traffic Sign Recognition (Schilderkennung)
4. Lane Change Assist (Spurwechsel-Assistent)

### 2.2.3 Assistenzsysteme Tesla Model S 60D Facelift

In diesem Kapitel werden die genutzten Fahrerassistenzsysteme des Tesla Model S 60D Facelift aufgelistet und in ihrer Funktion beschrieben [20].

Sobald der Spurhalte-Assistent von Tesla die Fahrspuren ausreichend erkannt hat, kann dieser bei einer Geschwindigkeit zwischen 12 und bis zu 150 km/h aktiviert werden. Dies wird mit einem grauen Lenkradsymbol im

Kombiinstrument visualisiert. Nach Aktivierung ist dieses Symbol blau. Der Assistent ist tolerant und bleibt aktiv, auch wenn nur eine Spurlinie deutlich erkennbar ist. In solch einem Fall hält sich der Assistent nicht nur an den erkannten Spuren, sondern folgt einem vorausfahrenden Fahrzeug in derselben Spur.

Ein Spurwechsel-Assistent ermöglicht, während des teilautonomen Fahrens auf Autobahnen einen Spurwechsel durch Antippen des Blinkerhebels zu aktivieren und automatisch durchzuführen. In der getesteten Software von Tesla werden allerdings nur die Ultraschallsensoren für die Überprüfung des toten Winkels genutzt und nicht die rückwärtig installierten Kameras in den seitlichen Kotflügeln. Diese kommen erst seit Softwarestand v9.0 zum Einsatz [17]. Bei einem Spurwechsel basierend auf den Ultraschallsensoren besteht ein hohes Unfallrisiko. Nur Fahrzeuge in unmittelbarer Fahrzeugnähe werden als Hindernis erkannt. Falls ein Fahrzeug mit höherem Tempo auf einer Überholspur vorbeifahren möchte, besteht die Möglichkeit, dass dieses heranfahrende Fahrzeug übersehen wird.

Essentiell für das autonome Fahren ist der adaptive Geschwindigkeitsregler - genannt Cruise Control. Dieses Assistenzsystem beschleunigt und bremst das Fahrzeug auf die gewünschte Geschwindigkeit und hält einen eingestellten Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug ein. Sobald Fahrzeuge in der Spur erkannt werden, werden diese im Kombiinstrument angezeigt.

Ein System zur Verkehrszeichenerkennung ist in einem älteren Tesla Model S verfügbar, allerdings nicht in dem neueren Facelift Modell. Dieses System wird in Zukunft über ein Softwareupdate nachgerüstet.

Ebenfalls zu den Assistenzsystemen zählt der Park-Assistent, der autonom eine Parklücke erkennt und das Fahrzeug selbstständig in die Parkposition steuert. Quer- und Längsparklücken können vom System als Parkmöglichkeiten erkannt werden. Hat das Fahrzeug bei langsamer Fahrt eine Parklücke entdeckt, erscheint ein **P** im Kombiinstrument. Für den Start des Parkvorgangs muss lediglich der Rückwärtsgang eingelegt werden und per Tastendruck das Assistenzsystem aktiviert werden.

Die Kollisionswarnung funktioniert unabhängig von einem aktivierten Autopiloten. Stehender Verkehr oder langsam fahrende Autos werden erkannt und als potentielle Kollisionsgefahr bewertet. Ist dies der Fall, gibt es visuelle und akustische Warnmeldungen. Ist der Autopilot aktiv und ein Fahrzeug wird erkannt, regelt das Fahrzeug frühzeitig langsam und stetig die Geschwindigkeit bis zum Stillstand herunter. Ist kein adaptiver Geschwindigkeitsregler bzw. Autopilot aktiv, wird mit der Kollisionswarnung eine automatische Notbremsung eingeleitet. Hierfür ist der automatische Notbremsassistent zuständig. Für seitliche Kollisionen könnten die seitlichen Kameras verwendet werden, jedoch sind diese, in dem getesteten Modell bzw. Softwarestand nicht aktiv.

Für den Fall, dass der Fahrer während der Fahrt nicht mehr im Stande ist zu Fahren oder nicht reagiert gibt es einen Nothalt-Assistent. Dieser bremst das Fahrzeug kontrolliert und langsam bis zum Stillstand ab und kontaktiert den Notruf.

Tesla sammelt mit all ihren Fahrzeugen Daten über Straßen und Situationen, in denen das Fahrzeug im Autopilot

selbstständig fährt. Diese Daten werden gesammelt und für zukünftige Verbesserungen analysiert. Diesen Prozess nennt man Fleet learning [21].

#### 2.2.4 Assistenzsysteme Mercedes-Benz S 350d

Die genutzten Fahrerassistenzsysteme des Mercedes-Benz S 350d werden in diesem Kapitel aufgelistet und in ihrer Funktion beschrieben [22].

Der aktive Abstands-Assistent DISTRONIC regelt den Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug. Falls die eigens vom Fahrer eingestellte Geschwindigkeit höher ist als die des vorausfahrenden Fahrzeug, wird die Geschwindigkeit entsprechend angepasst. Dieser Assistent funktioniert im Geschwindigkeitsbereich von 0 bis 210 km/h.

Ein verwendeter Lenk-Assistent zusammen mit dem Spurhalte-Assistent kann das Fahrzeug auf längeren Strecken autonom steuern. Zu diesem Zeitpunkt müssen sich die Hände des Fahrers am Lenkrad befinden. Der aktive Spurhalte-Assistent funktioniert im Geschwindigkeitsbereich von 60 - 200 km/h und vibriert bei unbeabsichtigtem Verlassen einer durchgezogenen Linie am Lenkrad. Zusätzlich wird eine leichte, einseitige Bremsung durchgeführt, die das Fahrzeug auf die ursprüngliche Spur lenkt.

Genau wie bei dem Tesla Model S 60D Facelift, lässt sich ein Spurwechsel durch Antippen des Blinkerhebels initiieren und unterstützend ausführen. Der aktive Spurwechsel-Assistent überprüft mit den Ultraschallsensoren und Multimode-Radar, ob die Nebenspur frei ist. Er hat einen Arbeitsbereich von 80 bis 180 km/h.

Der aktive Geschwindigkeitslimit-Assistent, eine zuschaltbare Teilfunktion des Verkehrszeichen-Assistenten, erkennt mit der Kamera Verkehrszeichen mit Geschwindigkeitsbegrenzungen. Zusätzlich werden die bekannten Limits berücksichtigt wie z.B. 50 km/h innerorts oder 100 km/h auf Landstraßen. Der Verkehrszeichen-Assistent erkennt zulässige Höchstgeschwindigkeiten und weitere Verkehrszeichen wie z.B. Überholverbote und visualisiert diese Informationen im Kombiinstrument. Diese Informationen werden ebenfalls an den Geschwindigkeitslimit-Assistenten übermittelt.

Auf Autobahnen und ähnlichen Straßenverhältnissen kann der Mercedes-Benz S 350d bei einem Stopp von bis zu 30 Sekunden automatisch wieder anfahren und dem vorausfahrenden Verkehr folgen. So ist eine Stop & Go Staufolgefahrt autonom möglich.

Falls der Fahrer nicht reagiert, z.B. auf Grund eines medizinischen Notfalls, greift der aktive Nothalt-Assistent ein. Dieser bremst das Auto stetig bis zum Stillstand ab, aktiviert das Warnblinklicht und kontaktiert das Mercedes-Benz Notrufsystem. Ein Eingriff während dieser Prozedur seitens des Fahrers stoppt den Assistenten.

Bei drohenden Kollisionen greift ein aktiver Brems-Assistent ein, falls der Fahrer nicht reagiert. Dies erfolgt in mehreren Schritten. Es startet mit einer Abstandswarnung über das Kombiinstrument, verstärkt sich zu einer akustischen Kollisionswarnung bis hin zur automatischen Bremsdurchführung. Ebenfalls bei drohender Kollision, z.B. mit einem Fußgänger, unterstützt ein Ausweich-Lenk-Assistent den Fahrer beim Umfahren des Hindernisses. Dies geschieht

mit einem zusätzlichen Lenkmoment in die Richtung, in die der Fahrer ausweichen möchte.

Der aktive Totwinkel-Assistent warnt visuell im Außenspiegel und akustisch vor einer seitlichen Kollision. Das System ist in einem Geschwindigkeitsbereich von 10 - 200 km/h aktiv und kann ab 30 km/h zusätzlich mit einer einseitigen Bremsung eine Kollision verhindern.

Mercedes-Benz besitzt eine eigenständige Lösung für Car-to-X Kommunikation (siehe Kapitel 2.4.1) mit der Mercedes-Benz Cloud. Alle von Mercedes-Benz gesammelten Daten werden dort gespeichert und sind verfügbar in der COMAND Online Live Traffic Kartendarstellung. So warnen andere Fahrzeuge von Mercedes-Benz über die Cloudanbindung vor kommenden Gefahrensituationen.

Ebenfalls verfügbar sind diverse Park-Assistenten. Der aktive Park-Assistent - genannt PARKTRONIC ermöglicht automatisches Ein- und Ausparken in Längs- und Querparklücken. Hierfür werden sowohl der Totwinkel-Assistent als auch diverse Kameras, die eine 360° Ansicht des Fahrzeugs ermöglichen, verwendet. Zusätzlich ist es möglich das Fahrzeug eigenständig per Remote Park-Assistent aus engen Parklücken navigieren zu lassen.

### 2.3 Entwicklungsstand der autonomen Navigation in Baustellen

Während viele Automobilhersteller in Marketinganzeigen ihre neusten Produkte an Fahrerassistenzsystemen vorstellen, lassen sich zum Thema „Baustellen“ und „autonomes Fahren“ nur wenige Entwicklungsstände und Lösungsansätze zusammentragen.

Um Informationen und Fakten zu diesem Thema aus erster Hand zu erlangen, wurden verschiedene Automobilhersteller per E-Mail um eine Auskunft gebeten. Konkret ging es bspw. um Fragen, wie der Fahrspurassistent bei verengten und überlagernden Baustellenmarkierungen reagiert und ob der adaptive Abstandsregeltempomat durch ein Verkehrszeichenerkennungssystem in der Lage ist, sich innerhalb der Baustelle der entsprechenden Geschwindigkeitsbegrenzung anzupassen [23].

Befragt wurden die Audi AG, Daimler AG, BMW AG und Volkswagen AG, sowie die Ford Motor Company, Opel Automobile GmbH und Toyota Motor Corporation. Aus Wettbewerbsgründen konnten die Hersteller zu diesem Thema keine Antworten veröffentlichen. Lediglich eine der Firmen teilte mit, dass sie bemüht sei, durch die Weiterentwicklung von Assistenzsystemen künftig Fahrzeuge auf SAE Level 3 vorstellen zu können und die Car2X-Kommunikation dabei ein aktueller Bestandteil der Entwicklung sei [23].

### 2.4 Mögliche Technologien zur autonomen Navigation in Baustellen

Zur autonomen Navigation in Baustellen befinden sich verschiedene Technologien in der Entwicklung. Die Lösungen der Car2X-Kommunikation und des Unternehmens 3M werden in den folgenden Kapitel erläutert.

#### 2.4.1 Car2X-Kommunikation

Große Automobilhersteller verfolgen derzeit den Ansatz, Fahrzeuge mit einem speziellen WLAN Protokollzusatz zu erweitern. Das IEEE 802.11p Protokoll ist speziell für

die Kommunikation zwischen Fahrzeugen und verkehrsleitenden Objekten im Straßenverkehr entwickelt worden. Die Kommunikationstechnologie hinter dieser Entwicklung ist unter dem Begriff „Car-to-Car (C2C)“- (engl. für: Fahrzeug-zu-Fahrzeug) oder „Car-to-X (C2X)“- (engl. für: Fahrzeug-zu-X, die Infrastruktur somit einbezogen) Kommunikation bekannt. Geläufig ist auch von „Vehicle-to-X (V2X)“-Kommunikation die Rede. Durch die Vernetzung von Fahrzeugen und verkehrsleitenden Objekten des Straßenverkehrs, entsteht eine kommunikative Infrastruktur, die als Grundlage für den Austausch von Informationen dient.

Die Realisierung sieht vor, dass sich Fahrzeuge untereinander anonym über standardisierte Nachrichten über den Verkehrsfluss oder Gefahrenhinweise austauschen können. Gefährdungsrelevante Nachrichten werden dem Fahrzeugführer unmittelbar bekannt gegeben, sodass dieser entsprechend frühzeitig auf das Event reagieren und ggf. die Geschwindigkeit verringern kann. Auch verkehrsleitende Objekte des Straßenverkehrs, wie zum Beispiel Lichtsignalanlagen oder dynamische Geschwindigkeitsbegrenzungsanzeigen, werden mit in die Kommunikation einbezogen [24].

Ziel dieser Infrastruktur ist die Sicherheit im Straßenverkehr stetig zu verbessern und für einen effizienteren Verkehrsfluss zu sorgen, wodurch auch ein ökonomischer Aspekt als beiläufiges Ziel herbeigeführt wird [25].

Bislang sind zwei Nachrichtentypen mit der Entwicklung vorerst abgeschlossen. Das sind zum einen die Co-operative Awareness Messages (kurz CAM), welche in einer dynamischen Frequenz generiert werden und zum Abgleich von Fahrzeug- und Positionsdaten dienen. Zum anderen werden Decentralized Environmental Notification Messages (kurz DENM) erzeugt, um Fahrzeugführer unter bestimmten Bedingungen frühzeitig auf mögliche Gefahrenhinweise zu warnen [26].

Beide Nachrichtentypen können in Baustellen auf unterschiedliche Art und Weise genutzt werden, um dem Fahrer vorab Informationen vermitteln zu können.

CAM Nachrichten können von Baustellenfahrzeuge erzeugt werden. Neben den allgemeinen Informationen einer CAM Nachricht (bspw. die Position des Fahrzeugs), können Sonderfahrzeuge auch folgende Informationen innerhalb der Nachricht vermitteln [27]:

- Art und der Grund der Baustelle
- Zustand der Rundumleuchte und Aktivierung eines Warntons des Fahrzeugs
- Benutzbarkeit der Fahrspuren

Gerade für autonome Fahrzeuge können diese Informationen sehr hilfreich sein.

DENM Nachrichten können weitaus mehr Informationen beinhalten. Sie sind positionsbedingt und weisen auf mögliche Gefahren hin. In Baustellen reicht die Informationspalette von folgender Liste [28]:

- Benutzbarkeit der Fahrspuren
- Zustände möglicher Rundumleuchten
- Liste aller positionierten ITS-Stations<sup>5</sup> (bspw. auch Baustellenfahrzeuge)
- Geltende Geschwindigkeitsbegrenzung

5. Intelligent Transport Systems - Station: Funkkommunikationsplattform für Car2X-Anwendungen [29].

- Art und Grund der Baustelle
- Empfohlene Umleitung durch Wegpunkte
- Position, an der die Geschwindigkeitsbegrenzung beginnt
- Verlauf der Fahrbahn (bspw. Straßenseite)
- Mögliches Überholverbot
- Liste weiterer DENM Nachrichten, die dasselbe Event betreffen

Auch durch diesen Nachrichtentyp können Fahrer und Fahrzeug viele Informationen im Vorfeld über den Aufbau der Baustelle erfahren.

#### 2.4.2 Retroreflektierende Folien im Straßenverkehr

Einen weiteren Lösungsansatz verfolgt die amerikanische Firma 3M. Erfahrung hat das Unternehmen besonders mit der Herstellung verschiedener Klebprodukte. Dieses Wissen stellt 3M nun auch im Straßenverkehr vermehrt in den Vordergrund.

Das Unternehmen entwickelte bereits eine retroreflektierende Folie für Verkehrszeichen, die besonders bei Nacht durch einstrahlendes Licht die Lesbarkeit der Schilder verbessert [30]. Diese Folie wird momentan auch auf Fahrbahnmarkierungen und Baustellenobjekten erprobt, sodass Menschen und Sensoren autonomer Fahrzeuge diese besser erfassen können. Durch langanhaltenden Klebstoff und mikrokristall-Keramikperlen als Beschichtung, sollen die modernen Fahrbahnmarkierungen und Baustellenobjekte besonders bei schlechter Witterung noch gut erkennbar sein [31] [32].

#### 2.4.3 „Smart-Sign-Technology“

Einen alternativen Ansatz führt das Unternehmen 3M mit ihrer sogenannten „Smart-Sign-Technology“ ein. Dabei werden digitale Informationen in Form eines Barcodes als zusätzliche Verkehrsschilder eingesetzt.

Durch den Einsatz von Barcodes entfällt die Bildverarbeitung für die Erkennung regulärer Verkehrszeichen und die Deutung ist für Informationssysteme unmissverständlich [31].

Zudem lassen sich mehr Informationen in einem dieser Barcode-Schilder hinterlegen, als es in üblichen Verkehrszeichen der Fall ist. Als Beispiel nennt 3M eine Umleitungsbeschreibung bei möglichen Straßensperrungen. Es lassen sich auch Informationen in den Schildern kodieren, die für Menschen nicht gleich transferierbar sind. Beispielsweise können Koordinationsdaten in den Barcodes hinterlegt werden, wodurch in GPS-schwächeren Gebieten sich dennoch Lokalisierungsalgorithmen ausführen ließen [33] [34].

Ein weiterer Vorteil von Barcodes ist, dass sie weder eine Kommunikationsverbindung zu einer Zentrale, noch eine digitale Anzeigemöglichkeit benötigen. Sie kommen somit ohne zusätzliche elektronische Bauteile aus und verbrauchen daher auch keine Energie [35].

### 3 VERSUCHSDURCHFÜHRUNG: NACHBILDUNG VON BAUSTELLENSITUATIONEN

Als Testschwerpunkt der Assistenzsysteme wird eine Baustellensituation in Einzelszenarien eingeteilt, sodass sich mehrere Testaufbauten ergeben. Das jeweilige Szenario mit den dazugehörigen Durchführungen wird in den folgenden Absätzen skizziert.

#### 3.1 Zielsetzung

Die Funktionalität der Fahrerassistenzsysteme zur autonomen Spurführung des Tesla Model S 60D Facelift und des Mercedes-Benz S 350d soll in verschiedenen Situationen des Straßenverkehrs getestet werden. Der Fokus soll hier auf Situationen gelegt werden, die in Baustellen auftreten können. Es werden verschiedene Baustellensituationen nachgebildet, die sich mit Hilfe von weißen und gelben Fahrbahnmarkierungen realisieren lassen. Eine Umleitung des Verkehrs wird außerdem durch das Aufstellen von Leitkegeln simuliert, um das Verhalten der Fahrzeuge zu erproben.

#### 3.2 Versuchsaufbau

Die Nachbildung der Verkehrssituationen findet auf einem Parkdeck eines abgesperrten Parkhauses statt, um nicht in den Straßenverkehr einzugreifen. Das Parkdeck weist eine ungefähre Länge von 75 m auf, von der ca. 50 m effektiv zum Aufbau einer Teststrecke genutzt werden können. Abbildung 6 zeigt das Parkhaus, welches für die Versuchsaufbauten genutzt wurde.



Abbildung 6. Vogelperspektive auf das Parkdeck, auf dem die Versuche aufgebaut werden [36].

##### 3.2.1 Testaufbau 1: Leitkegel ohne weiße Fahrbahnmarkierungen

Beim Neubau einer Straße oder dem Erneuern einer Asphaltdecke ist in den meisten Fällen keine Fahrbahnmarkierung vorhanden. Aus diesem Grund kann der Verkehr ggf. nur durch Leitkegel geführt werden. Um das Verhalten der Fahrzeuge in solch einer Situation zu testen, wird eine leichte S-Kurve aus Leitkegeln aufgebaut (siehe Abbildung 7). Die fahrbahnweisenden Kegel werden in einem Abstand von 4,80 m positioniert. Die Spurbreite beträgt in diesem Szenario 3,50 m, welche häufig bei linken Fahrspuren von deutschen Autobahnen auftritt (vgl. [37, S.70ff]).

##### 3.2.2 Testaufbau 2: Weiße Fahrbahnmarkierungen

Da in einer Vielzahl der folgenden Testszenarien die weißen Fahrbahnmarkierungen zum Grundaufbau gehören und diese häufiger Bestandteil in Baustellensituationen sind, gilt





Abbildung 7. Die Fahrspur wird nur durch Leitkegel gekennzeichnet.

es zunächst zu überprüfen, ob diese von den Fahrzeugen erkannt werden. Dazu wird eine gerade, weiße Fahrspur aufgebaut, die von den Fahrzeugen gehalten werden soll. Die Spurbreite der weißen Fahrbahnmarkierungen beträgt hierbei erneut 3,50 m. Der Versuchsaufbau für die weißen Fahrbahnmarkierungen ist in Abbildung 8 dargestellt.

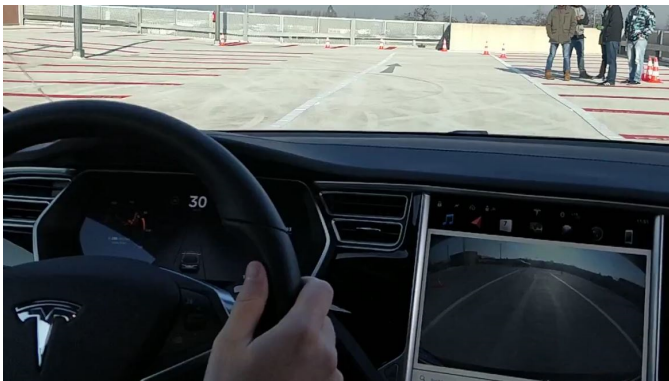


Abbildung 8. Der Versuchsaufbau besteht aus einer geraden Teststrecke mit weißen Fahrbahnmarkierungen.

### 3.2.3 Testaufbau 3: Gelbe Fahrbahnmarkierungen leiten von weißen Fahrbahnmarkierungen ab

Ein weiterer Versuchsaufbau soll zeigen, wie sich die Fahrzeuge verhalten, wenn gelbe Fahrbahnmarkierungen von den weißen Markierungen abweichen, um den Verkehr innerhalb einer Baustelle auf eine andere Spur umzuleiten. Dazu werden, ausgehend von einer geraden, weißen Fahrspur, zwei gelbe Fahrbahnmarkierungen zur Seite geführt. Die Spurbreite der weißen Fahrbahnmarkierungen beträgt hierbei erneut 3,50 m. Die Spurbreite der gelben Fahrbahnmarkierungen beträgt 2,50 m, welches einer häufigen Spurbreite von Seitenstreifen entspricht [37, S.70ff]. Der Versuchsaufbau wird in Abbildung 9 dargestellt.

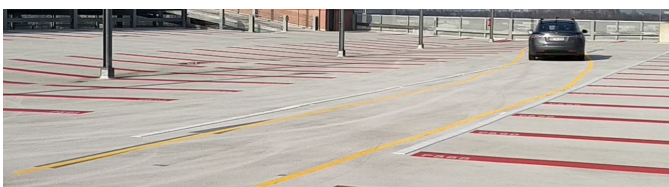


Abbildung 9. Gelbe Fahrbahnmarkierungen leiten von weißen Fahrbahnmarkierungen ab.

### 3.2.4 Testaufbau 4: Leitkegel leiten von weißen Fahrbahnmarkierungen ab

Nicht selten wird der Verkehr in Baustellensituationen durch die Nutzung von Leitkegeln von der ursprünglichen Fahrspur abgelenkt. Dies ist besonders häufig bei Baustellen von kurzer Dauer der Fall. Um das Verhalten der Fahrzeuge in dieser Situation zu testen, wird ausgehend von einer geraden weißen Fahrspur der Verkehr mit Leitkegeln zur Seite geführt. Auch hierbei werden die fahrbahnweisenden Kegel in einem Abstand von 4,80 m positioniert. Die Spurbreite der weißen Fahrbahnmarkierungen beträgt erneut 3,50 m. Die Leitkegel verringern die Spurbreite auf 2,50 m. Der Versuchsaufbau wird in Abbildung 10 dargestellt.



Abbildung 10. Pylonen leiten von weißen Fahrbahnmarkierungen ab.

### 3.2.5 Testaufbau 5: Leitkegel und gelbe Fahrbahnmarkierungen leiten von weißen Fahrbahnmarkierungen ab

Im Baustellenbereich ist für die Umleitung des Verkehrs auch eine Kombination aus Leitkegeln und gelben Fahrbahnmarkierungen denkbar. Ausgehend von einer geraden weißen Fahrspur mit gelben Fahrbahnmarkierungen, wird die Fahrspur auf beiden Seiten zur linken Seite weggeführt. Auf der rechten Seite der Fahrbahn werden die Leitkegel in einem fahrbahnweisenden Abstand von 4,80 m hinter der gelben Fahrbahnmarkierung positioniert. Die Spurbreite der weißen Fahrbahnmarkierungen beträgt erneut 3,50 m. Die wegführende Spur ist 2,50 m breit. Der Versuchsaufbau wird in Abbildung 11 dargestellt.



Abbildung 11. Gelbe Fahrbahnmarkierungen und Pylonen leiten von weißen Fahrbahnmarkierungen ab.

## 3.3 Versuchsdurchführung

Für die Versuchsdurchführung werden die verschiedenen Testszenerien, wie in Kapitel 3.2 beschrieben, nachgebildet.

Anschließend werden diese mit dem Tesla Model S 60D Facelift und dem Mercedes-Benz S 350d jeweils drei bis fünf mal durchfahren.

Die Häufigkeit der Versuchsdurchführung hängt dabei von der Verfügbarkeit der Assistenzfunktion ab. Lässt sich die autonome Spurführung eines Fahrzeugs beispielsweise in den ersten drei Testfahrten eines Szenarios nicht aktivieren, wird das Test-Szenario für dieses Fahrzeug nicht mehr wiederholt.

Die Versuchsszenarien werden dabei mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 30 km/h durchfahren. Auf Grund der eingeschränkten Platzverhältnisse auf dem Parkhausdeck (siehe Kapitel 3.2), können Geschwindigkeiten von über 50 km/h nicht erreicht werden.

Während der Versuchsdurchführung werden die Fahrzeuge mit jeweils drei Kameras ausgestattet, um deren Verhalten zu dokumentieren. Zwei dieser Kameras sind auf die Fahrbahn gerichtet und werden auf dem Dach und an der Windschutzscheibe des Fahrzeugs montiert. Die dritte Kamera ist auf das Cockpit des Fahrers gerichtet und befindet sich an der Innenseite des Fahrerfensters.

#### 4 VERSUCHSERGEBNISSE: NACHBILDUNG VON BAUSTELLENSITUATIONEN

Die in Kapitel 3.2 aufgeführten Versuchsaufbauten wurden wie in Kapitel 3.3 beschrieben mit beiden Versuchsfahrzeugen durchgeführt. Die Ergebnisse je Versuchsaufbau und Fahrzeug werden im Folgenden erläutert.

##### 4.1 Verhalten bei Testaufbau 1: Leitkegel ohne weiße Fahrbahnmarkierungen

Der Tesla Model S 60D Facelift erkennt keine Fahrspur durch die Leitkegel sondern interpretiert diese, wie in Abbildung 12 dargestellt, als Hindernisse. Bei dem Versuch den Lenkassistenten zu starten, wird entweder die Fehlermeldung „Hindernis erkannt“ oder „Lenkassistent temporär nicht verfügbar“ ausgegeben, sodass der Tesla dem Streckenverlauf nicht folgen kann.



Abbildung 12. HMI des Tesla Model S 60D Facelift: Die gelben Bereiche nahe der Räder kennzeichnen, dass dort ein Hindernis erkannt wird. Eine Fahrbahnmarkierung ist nicht vorhanden und wird daher auch nicht visualisiert.

Die Lenkunterstützung des Mercedes-Benz S 350d lässt sich in diesem Szenario nicht aktivieren. Ein Grund hierfür wird durch das Human Machine Interface, kurz HMI, nicht deutlich. Ob das Fahrzeug die Kegel wie der Tesla als Hindernis interpretiert, ist nicht erkennbar. Eine wahrscheinliche Ursache für die ausbleibende Verfügbarkeit der Lenkunterstützung ist das Nichterreichen der Mindestgeschwindigkeit von 60 km/h für die Funktion der Spurführung. Des

Weiteren ist es möglich, dass die Länge der aufgebauten Teststrecke nicht ausreicht, um den Einschwingvorgang des Systems abzuschließen.

##### 4.2 Verhalten bei Testaufbau 2: Weiße Fahrbahnmarkierungen

Der Tesla Model S 60D Facelift konnte die verlegten, weißen Fahrbahnmarkierungen während der Fahrt erkennen. Bei der Aktivierung des Lenkassistenten des Teslas in diesem Szenario erscheint die Fehlermeldung „Lenkassistent temporär nicht verfügbar“ und das Fahrzeug konnte der Spur nicht eigenständig folgen.



Abbildung 13. HMI des Mercedes-Benz S 350d: Bei aktiver Lenkunterstützung werden die Linien grün dargestellt. Dies ist während den Testfahrten nicht der Fall.

Die Lenkunterstützung des Mercedes-Benz S 350d lässt sich in diesem Szenario nicht aktivieren. Vergleichbar zum ersten Versuch (siehe Kapitel 4.1), wird der Grund für die ausbleibende Verfügbarkeit der Funktion durch das HMI nicht mitgeteilt. Es wird außerdem nicht deutlich, ob und welche Fahrbahnmarkierungen das Fahrzeug erkennt (siehe Abbildung 13). Eine wahrscheinliche Ursache ist erneut das Nichterreichen der Mindestgeschwindigkeit von 60 km/h für die Funktion der Spurführung. Des Weiteren ist es möglich, dass die Länge der aufgebauten Teststrecke nicht ausreicht, um den Einschwingvorgang des Systems abzuschließen.

##### 4.3 Verhalten bei Testaufbau 3: Gelbe Fahrbahnmarkierungen leiten von weißen Fahrbahnmarkierungen ab

Bei dem Versuch priorisierte der Tesla Model S 60D Facelift die gelben Fahrspurmarkierungen gegenüber den weißen Markierungen. Dies wurde im HMI des Fahrzeugs durch das Anzeigen einer kurvigen Strecke deutlich (siehe Abbildung 14). Bei der Aktivierung des Lenkassistenten des Teslas in diesem Szenario erscheint die Fehlermeldung „Lenkassistent temporär nicht verfügbar“ und das Fahrzeug konnte der Spur nicht eigenständig folgen.

Der Mercedes-Benz S 350d verhält sich in diesem Szenario identisch zum zweiten Versuch (siehe Kapitel 4.2).

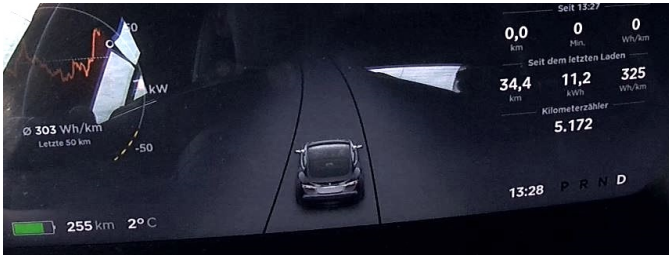


Abbildung 14. HMI des Tesla Model S 60D Facelift: die gekrümmte Fahrbahn signalisiert die Erkennung der gelben Fahrbahnmarkierung.

#### 4.4 Verhalten bei Testaufbau 4: Leitkegel leiten von weißen Fahrbahnmarkierungen ab

Vergleichbar zu den in Kapitel 4.1 beschriebenen Ergebnissen, kann der Tesla Model S 60D Facelift auch in diesem Szenario der Spur nicht folgen, da er die Leitkegel als Hindernisse erkennt. Es erscheint bei der Aktivierung der Lenkunterstützung entweder die Fehlermeldung „Hindernis erkannt“ oder „Lenkassistent temporär nicht verfügbar“. Welche der beiden Fehlermeldungen zu welchem Zeitpunkt ausgegeben wird, ist nicht eindeutig nachzuvollziehen.

Der Mercedes-Benz S 350d verhält sich in diesem Szenario identisch zum zweiten Versuch (siehe Kapitel 4.2).

#### 4.5 Verhalten bei Testaufbau 5: Leitkegel und gelbe Fahrbahnmarkierungen leiten von weißen Fahrbahnmarkierungen ab

Die gelben Fahrbahnmarkierungen werden vom Tesla Model S 60D Facelift wie schon in Kapitel 4.3 erkannt. Allerdings werden die Kegel wie in Kapitel 4.1 beschrieben als Hindernisse interpretiert, sodass die Aktivierung der Lenkunterstützung nicht möglich ist. Die Fehlermeldung lautet erneut entweder „Hindernis erkannt“ oder „Lenkassistent temporär nicht verfügbar“.

Der Mercedes-Benz S 350d verhält sich in diesem Szenario identisch zum zweiten Versuch (siehe Kapitel 4.2).

## 5 FAZIT UND AUSBLICK

Ziel des Projekts war es, herauszufinden, wie moderne teilautonome Fahrzeuge in Baustellen-Situationen agieren und welche Probleme dabei auftreten. Außerdem wurden mögliche Technologien beschrieben, welche die autonome Navigation von Fahrzeugen durch Baustellen ermöglichen bzw. verbessern können.

Um den aktuellen Stand der Technik zu ermitteln, wurden verschiedene Unternehmen der Automobilbranche befragt, wie mit Baustellensituationen umgegangen wird und wie die verwendeten Assistenzsysteme reagieren. Die Unternehmen konnten aus Wettbewerbsgründen nur wenige oder gar keine Informationen zur Verfügung stellen. Aus diesem Grund wurden das Tesla Model S 60D Facelift und der Mercedes-Benz S 350d im Hinblick auf ihre Assistenzsysteme beschrieben, um einen Überblick über den Stand der Technik zu erfassen.

Des Weiteren wurden mögliche Technologien vorgestellt, die in absehbarer Zukunft starken Einfluss auf die Entwicklung des autonomen Navigierens in Baustellen haben könnten. Beschrieben wurde die Car2X-Kommunikation,

die retroreflektierenden Folien im Straßenverkehr und die „Smart-Sign-Technology“.

Außerdem wurden Versuche durchgeführt, in denen der Umgang des Teslas und des Mercedes-Benz mit Baustellensituationen beobachtet werden konnte. Dazu wurden verschiedene Baustellenszenarien nachgestellt, durch die die Fahrzeuge navigieren sollten. Die Szenarien bestanden dabei aus verschiedenen Kombinationen von Leitkegeln und weißen und gelben Fahrbahnmarkierungen.

Dem Tesla gelang es in den meisten Fällen die Fahrspuren zu erkennen. Dem Fahrer wurden die Markierungen im HMI angezeigt, um die Erkennung zu signalisieren. Dabei wurden die gelben Fahrbahnmarkierungen gegenüber den weißen Fahrbahnmarkierungen priorisiert. Eine Aktivierung der Spurhalteassistenten war allerdings dennoch nicht möglich. Leitkegel wurden vom Tesla als Hindernisse erkannt, wodurch das Aktivieren der Spurhalteassistenten ebenfalls nicht möglich war. In diesem Fall wurde im HMI ersichtlich, dass Hindernisse zu nah am Fahrzeug sind.

Auch bei dem Mercedes-Benz konnte in keinem Versuchsszenario der Spurhalteassistent aktiviert werden. Das HMI des Fahrzeugs gibt dem Fahrer hierbei keinerlei Hinweise, ob eine Fahrspur erkannt wurde und aus welchem Grund die Funktion nicht verfügbar ist. Der Spurhalteassistent war auch bei einer Fahrspur aus Leitkegeln nicht verfügbar, eine Erkennung der Leitkegel wurde ebenfalls im HMI nicht angezeigt.

Die aufgeführten Probleme lassen sich unter anderem auf zwei wesentliche Faktoren zurückführen.

Zum einen steht die Nutzbarkeit der Fahrerassistenzsysteme in Abhängigkeit zu der gefahrenen Geschwindigkeit. Der Tesla erkennt zwar die Fahrspurmarkierungen, doch vermutlich konnte die softwareseitige Schwelle zum assistierten Fahren auf Grund von zu niedriger Geschwindigkeit noch nicht überwunden werden. Der Mercedes-Benz unterstützt ein assistiertes Fahren dagegen erst ab einer Geschwindigkeit von 60 km/h aufwärts.

Zum anderen könnte der geringe Kontrast zwischen der hellen, betonierten Asphaltdecke des Parkdecks und den weißen Fahrbahnmarkierungen dazu beigetragen haben, dass die Spurführungsassistenten bei dem Fahrzeug von Mercedes-Benz nicht verfügbar war. Der Tesla visualisierte hingegen die erkannte Fahrbahn bei weißen sowie gelben Fahrbahnmarkierungen.

Für zukünftige Versuchsdurchführungen sollte ein größeres Testgelände gewählt werden, was auch Geschwindigkeiten zwischen 60 und 80 km/h zulässt, sowie eine akzeptable Strecke aufweist, um die beschriebenen Szenarien erneut durchführen zu können.

Abschließend lässt sich sagen, dass moderne Fahrzeuge noch nicht in der Lage sind, automatisch durch Baustellen zu navigieren. Besonders der Umstand, dass der Spurführungsassistent nur bei hohen Geschwindigkeiten verfügbar ist, stellt ein großes Problem für Baustellen dar: Zum einen bestehen Baustellen häufig aus Streckenabschnitten mit stark verringerten Geschwindigkeitsbegrenzungen, was zu einem hohen Verkehrsaufkommen führt und somit häufig in Staus resultiert. Zum anderen lässt sich dadurch der Assistent nicht aktivieren bzw. wird beim Unterschreiten der vom System geforderten Mindestgeschwindigkeit deaktiviert.

Ein weiteres Problem stellt die enge Spurbreite in Baustellen dar, die durch Betonwände oder Leitkegel begrenzt wird. Die Begrenzungen werden als Hindernis interpretiert und führen dazu, dass bestimmte Funktionen der Fahrerassistenzsysteme nicht weiter verfügbar sind.

In Zukunft können allerdings neue Technologien dabei helfen, Fahrzeuge autonom durch Baustellen zu navigieren. Durch den Einsatz von Car2X-Kommunikation oder der „Smart-Sign-Technology“ kann dem Fahrzeug mitgeteilt werden, dass es sich auf eine Baustelle zubewegt. So kann sich das Fahrzeug beispielsweise auf engere Fahrspuren, Stau und niedrige Geschwindigkeiten einstellen und sich der Baustellensituation entsprechend verhalten.

Durch retroreflektierende Folien können Straßenverkehrszeichen und Fahrbahnmarkierungen trotz schlechter Witterung oder verschmutzter Fahrbahn vom Fahrzeug besser erkannt werden. Dies führt dazu, dass angepasste Verkehrsregeln eingehalten werden können und die Spurführung zuverlässiger funktioniert.

## LITERATUR

- [1] Verband der Automobilindustrie, „Automatisierung–Von Fahrerassistenzsystemen zum automatisierten Fahren,“ VDA, Berlin, 2015.
- [2] Audi AG. (2017) Audi Media Center - Erster „Audi Summit“ in Barcelona: Weltpremieren unterstreichen Vorsprung der Vier Ringe. [Online]. Available: <https://www.audi-mediacent.com/de/pressemitteilungen/erster-audi-summit-in-barcelona-weltpremieren-unterstreichen-vorsprung-der-vier-ringe-9125>
- [3] ——. (2017) Driver assistance — Audi MediaCenter. Website. [Online]. Available: <https://www.audi-mediacent.com/en/technology-lexicon-7180/driver-assistance-systems-7184>
- [4] ——. (2017) Audi Media Center - The new Audi A8 – conditional automated at level 3. [Online]. Available: <https://www.audi-mediacent.com/en/on-autopilot-into-the-future-the-audi-vision-of-autonomous-driving-9305/the-new-audi-a8-conditional-automated-at-level-3-9307>
- [5] ——. (2017) Audi Media Center - Automated driving at a new level: The Audi AI traffic jam pilot. [Online]. Available: <https://www.audi-mediacent.com/en/techday-piloted-driving-the-traffic-jam-pilot-in-the-new-audi-a8-9276/automated-driving-at-a-new-level-the-audi-ai-traffic-jam-pilot-9283>
- [6] U. Handmann, I. Leefken and W. v.Seelen, „Scene interpretation and behavior planning for driver assistance,“ *Proc.SPIE*, vol. 4023, pp. 4023 – 4023 – 12, 2000. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1117/12.389343>
- [7] Volkswagen AG. Trailer Assist — Volkswagen UK. Website. [Online]. Available: <https://www.volkswagen.co.uk/technology/parking-and-manoeuvring/trailer-assist>
- [8] Daimler AG. Driving assistance systems: Automated driving functions and exemplary safety - Daimler Global Media Site. Website. [Online]. Available: <https://media.daimler.com/marsMediaSite/en/instance/ko/Driving-assistance-systems-Automated-driving-functions-and-exemplary-safety.xhtml?oid=30448981>
- [9] Volkswagen AG. Driver Assistance. Website. [Online]. Available: <http://www.volkswagenag.com/en/group/research/driver-assistance.html>
- [10] Ford Motor Company. Ford Technology To Improve Your Driving Experience — Ford UK. Website. [Online]. Available: <https://www.ford.co.uk/shop/research/technology/driving-experience>
- [11] Volvo Car Corporation. Kooperation zwischen Volvo und Uber. [Online]. Available: <https://www.media.volvocars.com/at/de-at/media/pressreleases/216738/volvo-liefert-zukunftig-zehntausende-auf-autonomes-fahren-ausgelegte-fahrzeuge-an-uber>
- [12] E. Newcomer. Kooperation zwischen Mercedes-Benz und Uber. [Online]. Available: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-01-31/uber-daimler-strike-partnership-for-self-driving-vehicles>
- [13] Toyota. Kooperation zwischen Toyota und Uber. [Online]. Available: <https://www.toyota.de/news/uber-kooperation.json>
- [14] Auto Motor Sport. Kooperation zwischen Toyota und Uber. [Online]. Available: <https://www.auto-motor-und-sport.de/news/autonomes-fahren-uber/>
- [15] M. DeBord. History Waymo. [Online]. Available: <https://www.businessinsider.de/google-car-project-history-2018-8?r=US&IR=T>
- [16] TED. Chris Urmson: How a driverless car sees the road. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=tiwVMrTLUWg>
- [17] Tesla. Tesla Software Update. [Online]. Available: [https://www.tesla.com/de\\_DE/support/software-v9#blindspot](https://www.tesla.com/de_DE/support/software-v9#blindspot)
- [18] J. Kronenberger, T. Tatarek, „Functionality, Advantages and Limits of the Tesla Autopilot,“ 2017.
- [19] Daimler. Hightech im Detail: Die Technik der neuen Mercedes S-Klasse - Bilder - Oberklasse - FOCUS Online. Bild 16. [Online]. Available: [https://www.focus.de/auto/neuheiten/oberklasse/hightech-im-detail-die-technik-der-neuen-mercedes-s-klasse\\_did\\_45671.html](https://www.focus.de/auto/neuheiten/oberklasse/hightech-im-detail-die-technik-der-neuen-mercedes-s-klasse_did_45671.html)
- [20] Tesla. Tesla Betriebsanleitung. [Online]. Available: [https://www.tesla.com/sites/default/files/model\\_s\\_owners\\_manual\\_europe\\_de\\_lu.pdf](https://www.tesla.com/sites/default/files/model_s_owners_manual_europe_de_lu.pdf)
- [21] D. Frommer. Tesla explains how its entire fleet is learning to be better self-driving cars together. [Online]. Available: <https://www.recode.net/2016/9/12/12889358/tesla-autopilot-data-fleet-learning>
- [22] Daimler AG. Die neue Mercedes-Benz S-Klasse: Der automobile Maßstab bei Effizienz und Komfort. [Online]. Available: <https://media.daimler.com/marsMediaSite/de/instance/ko/Die-neue-Mercedes-Benz-S-Klasse-Der-automobile-Massstab-bei-Effizienz-und-Komfort.xhtml?oid=16525270>
- [23] J. Thomas, N. Lingenauber, and T. Tatarek, „E-Mail-Korrespondenz mit verschiedenen Automobilherstellern,“ 2017, versandt am: 13.12.2017; Empfänger: Audi AG, Ford Motor Company, Opel Automobile GmbH, BMW AG, Volkswagen AG, Toyota Motor Corporation, Daimler AG; Rückmeldungen: BMW AG (13.12.2017), Toyota Motor Corporation (13.12.2017), Ford Motor Company (15.12.2017, 21.12.2017), Daimler AG (19.12.2017), Audi AG (09.01.2018), Opel Automobile GmbH (22.02.2018).
- [24] J. Thomas, „Application- & Facility-Layer for Car2X-Simulation,“ Bachelor Thesis, 2016, Fontys International Campus Venlo, Venlo (NL).
- [25] S. Röglinger and C. Facchi, „How can car2x-communication improve road safety: a statistical based selection and discussion of feasible scenarios,“ *Working Papers - Arbeitsberichte*, vol. 15, 01 2012. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/312468089\\_How\\_can\\_car2x-communication\\_improve\\_road\\_safety\\_a\\_statistical\\_based\\_selection\\_and\\_discussion\\_of\\_feasible\\_scenarios](https://www.researchgate.net/publication/312468089_How_can_car2x-communication_improve_road_safety_a_statistical_based_selection_and_discussion_of_feasible_scenarios)
- [26] A. Filippi, K. Moerman, G. Daalderop, P. D. Alexander, F. Schober, and W. Pfliegl, „Ready to go: 802.11p als Kommunikationsstandard im Vergleich zu LTE und 5G.“ [Online]. Available: <https://www.siemens.com/content/dam/webassetpool/mam/tag-siemens-com/smdb/mobility/road/connected-mobility-solutions/documents/its-g5-ready-to-roll-de.pdf>
- [27] ETSI. (2014) ETSI EN 302 637-2 - V1.3.2 - Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 2: Specification of Cooperative Awareness Basic Service. Website. [Online]. Available: [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_en/302600\\_302699/30263702/01.03.02\\_60/en\\_30263702v010302p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/30263702/01.03.02_60/en_30263702v010302p.pdf)
- [28] ——. (2014) ETSI EN 302 637-3 - V1.2.2 - Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 3: Specifications of Decentralized Environmental Notification Basic Service. Website. [Online]. Available: [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_en/302600\\_302699/30263703/01.02.02\\_60/en\\_30263703v010202p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/30263703/01.02.02_60/en_30263703v010202p.pdf)
- [29] ——. (2010) ETSI EN 302 665 - V1.1.1 - Intelligent Transport Systems (ITS); Communications Architecture. Website. [Online]. Available: [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_en/302600\\_302699/302665/01.01.01\\_60/en\\_302665v010101p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/302665/01.01.01_60/en_302665v010101p.pdf)
- [30] 3M. Reflective Sign Sheeting — 3M United States. Website. [Online]. Available: [https://www.3m.com/3M/en\\_US/company-us/all-3m-products/?N=5002385+8709322+8710677+8710896+8711017+3294857497&rt=r3](https://www.3m.com/3M/en_US/company-us/all-3m-products/?N=5002385+8709322+8710677+8710896+8711017+3294857497&rt=r3)
- [31] J. Lombardo, „How Connected Vehicles Make Work Zones Safer,“ 2017. [Online]. Available:

- ble: <https://www.forconstructionpros.com/asphalt/article/20867242/how-connected-vehicles-make-work-zones-safer>
- [32] 3M. 3M Road Safety. Website. [Online]. Available: [https://www.3m.com/3M/en\\_US/road-safety-us](https://www.3m.com/3M/en_US/road-safety-us)
- [33] T. Meehan. (2017) Michigan fosters real-world testing of workzone ITS. Website. [Online]. Available: <http://www.itsinternational.com/sections/nafta/features/michigan-fosters-real-world-testing-of-workzone-its>
- [34] D. Muoio, "3M hides tech in sides to help General Motor's self-driving cars - Business Insider Deutschland," 2017. [Online]. Available: <https://www.businessinsider.de/3m-hides-tech-in-sides-to-help-general-motors-self-driving-cars-2017-8?r=US&IR=T>
- [35] A. Ströhlein. (2017) 3M rüstet Fahrbahnmarkierungen für autonomes Fahren auf — Presseportal. Website. [Online]. Available: <https://www.presseportal.de/pm/13650/3733498>
- [36] Google LLC. Google Maps - Position: 51°25'41.2"N 6°51'38.2"E. [Online]. Available: <https://goo.gl/maps/NYx5DyN9f9t>
- [37] T. Richter, *Planung von Autobahnen und Landstraßen*. Springer, 2016.

**Impressum**

Internal Report 19-01

ISSN: 2197-6953

1. Auflage, 28.02.2019

© Institut Informatik, Hochschule Ruhr West

**Anschrift**

Institut Informatik

Hochschule Ruhr West

Lützowstraße 5

46236 Bottrop