



# Elektronische Fahrzeugsysteme 2019

Jahresbericht: Akademisches Jahr 2018/2019

Markus Maurer, Inga Jatzkowski (Hrsg.)



## **Titelbild**

*autoELF*

Copyright:

UNICAR*agil*

©2019

UNICAR*agil*

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

## **Impressum**

Copyright:

©2019

Technische Universität Braunschweig

Institut für Regelungstechnik

Prof. Dr.-Ing. Markus Maurer

Inga Jatzkowski (Hrsg.)

ISBN:

978-3-9814969-8-7

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Vorwort</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Die AG Elektronische Fahrzeugsysteme</b>	<b>13</b>
2.1	Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter . . . . .	13
2.2	Abgänge . . . . .	15
<b>I</b>	<b>Lehre und Ereignisse</b>	<b>19</b>
<b>3</b>	<b>Lehre</b>	<b>21</b>
3.1	Übersicht . . . . .	21
3.2	Neues aus der Lehre . . . . .	23
3.3	Studentische Arbeiten . . . . .	45
3.4	Prüfungen am Institut . . . . .	49
<b>4</b>	<b>Ereignisse</b>	<b>51</b>
4.1	Carolo-Cup 2019 . . . . .	51

<b>II</b>	<b>Berichte aus der Forschung</b>	<b>59</b>
5	Stadtplot	61
6	Wertebasierte Verhaltensentscheidung	65
7	Automatisiertes Fahren im Mischverkehr (AFiM)	71
8	Kooperation mit der Volkswagen AG	75
8.1	Umfeldwahrnehmung . . . . .	75
8.2	Systematische Szenariengenerierung . . . . .	77
9	Kooperation mit WABCO	79
10	Digitaler Knoten 4.0	81
11	Elderly People Intersection Crossing Assist (EPICa)	87
12	UNICARagil	91
13	Szenarienbasierter Test- und Freigabeprozess	99
14	SET Level 4to5	103
15	Controlling Concurrent Change (CCC)	105
16	MOBILE	109
17	MAX	113
18	TUBS Road User Dataset	115
19	Workshops „Ensuring and Validating Safety for Automated Vehicles“	119

---

<b>20</b>	<b>Das Urteil lautet: Eine fiktive Gerichtsverhandlung zu selbstfahrenden Autos</b>	<b>125</b>
<b>21</b>	<b>Abgeschlossene Promotionen</b>	<b>129</b>
21.1	Dissertation Jens Rieken . . . . .	129
21.2	Dissertation Mohamed Brahmi . . . . .	133
<b>III</b>	<b>Aktivitäten von Partnern</b>	<b>141</b>
<b>22</b>	<b>MAN gewinnt mit aFAS den ersten „Truck Innovation Award“</b>	<b>143</b>
<b>IV</b>	<b>Publikationen und Medienberichte</b>	<b>147</b>
<b>23</b>	<b>Publikationen</b>	<b>149</b>
<b>24</b>	<b>Die Arbeitsgruppe in den Medien</b>	<b>153</b>
24.1	Radio und Fernsehen . . . . .	153
24.2	Printmedien . . . . .	154
24.3	Veröffentlichungen auf Internetseiten . . . . .	155



# 1 Vorwort

von Markus Maurer

Automatisiertes Fahren im öffentlichen Straßenverkehr befindet sich an der Schwelle zur Serieneinführung. Waymo als Marktführer im autonomen Fahren hat mitgeteilt, dass ausgewählte Fahrten im Testgebiet in Vorstädten von Phoenix Arizona inzwischen ohne Sicherheitsfahrer bzw. -fahrerin ausgeführt werden.<sup>1</sup> Offensichtlich hält Waymo die entwickelte Technik reif für erste seriennahe Einsätze unbemannter Shuttle-Fahrzeuge im öffentlichen Straßenverkehr.

Wo steht die Technologie? Wie weit ist Waymo wirklich? Diese Fragen lassen sich in diesen Tagen für mich nicht seriös beantworten, nicht nur, weil ich in den letzten Wochen viele Gespräche geführt habe, bei denen ich vorher eine Verschwiegenheitserklärung unterschreiben musste.

Als Arbeitshypothese gehen wir davon aus, dass die Technologie bei Waymo soweit entwickelt wurde, dass die Verantwortlichen dort zuversichtlich sind, die Fahrzeuge ohne Sicherheitsfahrerinnen oder -fahrer unter günstigen Bedingungen und in einem abgegrenzten Gebiet einzusetzen. Die Frage, wie sicher diese Fahrzeuge sein müssen, hat Waymo nicht öffentlich diskutiert, sondern intern beantwortet. Wir hoffen, dass die Praxiserfahrungen den amerikanischen Entwicklerinnen und Entwicklern recht geben und wir keine tragischen Unfälle erleben müssen.

---

<sup>1</sup>OHNSMAN, A.: *Waymo Says More Of Its Self-Driving Cars Operating ‚Rider Only‘ With No One At Wheel*, In: Forbes, 28.10.2019, [online] <https://www.forbes.com/sites/alanohnsman/2019/10/28/waymos-autonomous-car-definition-if-you-need-a-drivers-license-its-not-self-driving/> abgerufen am 01.11.2019;

NIEDERMEYER, E.: *Hailing a driverless ride in a Waymo*, In: TechCrunch, 01.11.2019, [online] <https://techcrunch.com/2019/11/01/hailing-a-driverless-ride-in-a-waymo/>, abgerufen am 01.11.2019

In einem persönlichen Gespräch im letzten Monat hat David Cheriton, einer der Vordenker im Silicon Valley, herausgearbeitet, dass das größte Rückschlagpotenzial wohl von Unfällen ausgeht, die aufmerksamen menschlichen Fahrerinnen oder Fahrern nicht passiert wären. Ein in der Wissenschaftsgemeinde prominentes Beispiel dafür wären (trainierte) Klassifikatoren, die in einer für Menschen eindeutigen Szene nicht funktionieren, so eine Fehlklassifikation verursachen und damit eine Fehlreaktion mit im schlimmsten Fall tödlichen Konsequenzen auslösen würden.

Die Diskussion um das „inhärente Risiko des autonomen Fahrens“<sup>2</sup> haben wir in diesem Jahr vertieft und fortgeführt (Kapitel 19, 20, 23 in diesem Jahrbuch). Dabei sind wir uns weltweit unter den Technikerinnen und Technikern einig über die Risiken. Die Standpunkte unterscheiden sich im Wesentlichen in der Frage, ob die Diskussionen um das erforderliche Sicherheitsniveau und die verbleibenden Risiken vor der Markteinführung firmenintern oder öffentlich geführt werden sollten.

Wir folgen hier weiterhin der Empfehlung des Wirtschaftsethikers Karl Homann aus dem Workshop FAS 2002 in Walting, die er bereits zur Einführung einer neuen Generation von Fahrerassistenzsystemen (FAS), den automatischen Notbremssystemen, im Jahr 2002 gegeben hat: „Wenn dann eine rückhaltlos *offene Information* und eine *transparente Politik* betrieben werden, dürfte die gesellschaftliche Akzeptanz von FAS neuer Generation kein Problem sein. Aber ohne seriöse, nachprüfbare *Aufklärung der Bürger* werden diese Widerstand leisten, vielfach schon aus dem einfachen Grund, dass die Unternehmen damit Geld verdienen wollen, was man nun wirklich nicht bestreiten kann. Mit unaufgeklär-

---

<sup>2</sup>MAURER, M.; BAGSCHIK, G. (Hrsg.): *Elektronische Fahrzeugsysteme 2018, Jahresbericht: Akademisches Jahr 2017/2018*. Braunschweig, 2018

ten Bürgern ist kein Staat zu machen, jedenfalls kein moderner.“<sup>3</sup>. Wir werden daher die öffentliche Diskussion mit den Möglichkeiten eines universitären Institutes weiterhin unterstützen.

Die Erfolge von Waymo haben bereits zu massiven Reaktionen von Automobilherstellern, Systempartnern und neuen Akteuren auf dem Gebiet des autonomen Fahrens geführt. Viele Allianzen wurden bereits verkündet, die Gerüchteküche berichtet von weiteren. In Deutschland hat man die öffentliche Forschungsförderung massiv erhöht, um international mithalten zu können.

Auch unsere Arbeit am Institut verändert sich durch das gestiegene Forschungs- und Entwicklungstempo. Die Fragestellungen, die Doktorandinnen und Doktoranden bearbeiten können, werden immer spezialisierter, die Anzahl der Partner, gerade in öffentlich geförderten Projekten, größer.

Wir sind froh, dass wir uns früh auf den Aspekt der Systemsicherheit des autonomen Fahrzeugs fokussiert haben, der über die Serienreife von Produkten entscheidet. Die Diskussion von Sicherheitsfragen erfordert Verständnis im Detail verbunden mit einem klaren Systemverständnis. Die Nachfrage nach unseren Absolventinnen und Absolventen und die vielen Möglichkeiten zur Kooperation mit industriellen und akademischen Partnern zeigen uns, dass wir in Braunschweig wertvolle Kompetenzen erarbeiten und vermitteln.

Erarbeitet haben wir uns diesen Stand der grundlegenden Konzeption im vergangenen Jahr maßgeblich in den Projekten

---

<sup>3</sup>HOMANN, K: Wirtschaft und gesellschaftliche Akzeptanz: Fahrerassistenzsysteme auf dem Prüfstand, In: *Maurer, Markus/ Stiller, Christoph: Fahrerassistenzsysteme mit maschineller Wahrnehmung.*, Springer Berlin, 2005, S. 244 (Hervorhebung im Original)

- „Automatisiertes Fahren im Mischverkehr (AFiM)“, gefördert vom Bundesministerium für Verkehr und Digitale Infrastruktur, 2018-2020 (Kapitel 7)
- „Controlling Concurrent Change“, gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft, 2013–2019 (Kapitel 15)
- „Digitaler Knoten 4.0“, gefördert vom Bundesministerium für Verkehr und Digitale Infrastruktur, 2016-2019 (Kapitel 10)
- „Elderly People Intersection Crossing Assist (EPICa)“, gefördert vom Amt für regionale Landesentwicklung Leine-Weser, 2017-2019 (Kapitel 11)
- „Projekt zur Etablierung von generell akzeptierten Gütekriterien, Werkzeugen und Methoden sowie Szenarien und Situationen zur Freigabe hochautomatisierter Fahrfunktionen (PEGASUS)“ als Unteraufträge für Volkswagen, Audi und Bosch zum Projekt, gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2016-2019 (Kapitel 13)
- „SET Level 4to5 – Simulationsbasiertes Entwickeln und Testen von Level 4 und 5 Systemen“, gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2019-2022 (Kapitel 14)
- „UNICARagil“ (s. Titelbild), gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung, 2018-2022 (Kapitel 12)
- „Value-Based Decision Making“, gefördert von der Daimler und Benz Stiftung, 2016-2020, (Kapitel 6)
- „VVMethoden – Verifikations- und Validierungsmethoden automatisierter Fahrzeuge Level 4 und 5“, gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2019-2023

- „Umfeldrepräsentation und Verhaltensplanung für automatisierte Fahrfunktionen“ in Kooperation mit der AUDI AG
- „Umfeldwahrnehmung für automatisierte Fahrzeuge“ in Kooperation mit der Volkswagen AG (Kapitel 8.1)
- „Systematische Szenariengenerierung“ in Kooperation mit der Volkswagen AG (Kapitel 8.2)
- „Automatisierung von Arbeitsabläufen auf Betriebshöfen“ in Kooperation mit der WABCO GmbH (Kapitel 9)

Das automatische Absperrfahrzeug (aFAS), das wir mitinitiiert, -konzipiert und langjährig unterstützt hatten, brachte dem Konsortialführer MAN den „Truck Innovation Award 2019“ ein. Wir gratulieren herzlich dazu!

Die Lektüre der ersten Versionen der Beiträge der wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter zu diesem Jahrbuch erfüllt mich wieder mit großer Dankbarkeit. So geht auch in diesem Jahr mein Dank an alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter unserer Arbeitsgruppe für den großen Einsatz und die geleistete Arbeit. Herzlich danke ich dem Präsidium der TU Braunschweig für die Unterstützung, den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern in der zentralen Verwaltung und der Fakultät für großes Engagement und vielfache Hilfe. Ohne unsere Förderer vom Bund, dem Land Niedersachsen, der Daimler und Benz Stiftung und aus der Industrie wäre diese Forschung nicht möglich gewesen. Wir danken herzlich für das Vertrauen und die erfahrene Unterstützung.

Bestehende Forschungszusagen für die nächsten Jahre machen mich zuversichtlich, dass wir auch in den nächsten Jahrbüchern Erfreuliches aus unserer Arbeitsgruppe berichten können.



# 2 Die AG Elektronische Fahrzeugsysteme

## 2.1 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter

Während des akademischen Jahres 2018/2019 waren die folgenden Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in der Arbeitsgruppe Elektronische Fahrzeugsysteme an unserem Institut beschäftigt:

<b>Name</b>	<b>Aufgabenbereich</b>
Prof. Dr.-Ing. Markus Maurer	Leitung
Prof. Dr.-Ing. Thomas Form	Honorarprofessor
Prof. Dr.-Ing. Bernd Lichte	Lehrbeauftragter
Dr. phil. Veronika Krapf	Assistenz der Institutsleitung
Stefanie Scheffer	Sekretärin
M.Sc. Gerrit Bagschik	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Dipl.-Ing. Frank Dierkes	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
M.Sc. Susanne Ernst	Wissenschaftliche Mitarbeiterin
M.Sc. Robert Graubohm	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
M.Sc. Felix Grün	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
M.Sc. Inga Jatzkowski	Wissenschaftliche Mitarbeiterin
M.Sc. Till Menzel	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
M.Sc. Marcus Nolte	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
M.Sc. Christopher Plachetka	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
M.Sc. Jan Richelmann	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
M.Sc. Tobias Schröder	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
M.Sc. Markus Steimle	Wissenschaftlicher Mitarbeiter

<b>Name</b>	<b>Aufgabenbereich</b>
M.Sc. Dipl.-Ing. (FH) Torben Stolte	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
M.Sc. Jan Timo Wendler	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Anton Grünke	Technik

Tabelle 2.1: Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Arbeitsgruppe Elektronische Fahrzeugsysteme

Beide Gruppen am Institut werden gleichermaßen unterstützt durch:

<b>Name</b>	<b>Aufgabenbereich</b>
Dr.-Ing. Marcus Grobe	Akademischer Rat
Dipl.-Ing. Bernd Amlang	Sicherheitsbeauftragter
Meister Andreas Rusniok	Technik
Peter Schwetge	Technik
Maximilian Jung	Auszubildender Technik
Leonie Reese	Auszubildende Technik
Sebastian Michael Soja	Auszubildender Technik

Tabelle 2.2: Gemeinsame Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der beiden Arbeitsgruppen des Instituts für Regelungstechnik

## 2.2 Abgänge

### 2.2.1 Gerrit Bagschik

*von Till Menzel*

„Ihr wollt Szenarien? Ihr kriegt Szenarien!“ – Und das nicht zu knapp. Mit diesem Ausruf hat Gerrit den Forschungsschwerpunkt seiner fünf Jahre am Institut selber einmal sehr passend zusammengefasst. Dabei war er unserer Arbeitsgruppe aber schon wesentlich länger verbunden: Von seiner Bachelorarbeit über ein Batteriemanagementsystem für unseren Versuchsträger MOBILE, über die Mitarbeit im Carolo-Cup Team, bis hin zu seiner Masterarbeit über die kartenrelative Lokalisierung für unseren Versuchsträger Leonie, hat er schon vor der Zeit als WiMi viel Erfahrung sammeln können. Innerhalb der ersten Jahre konzipierte Gerrit die neue Generation Versuchsträger am IfR (Referenzsensorikprüfstand und Vehicle-in-the-Loop) und wechselte seinen Forschungsfokus vor allem durch das Projekt aFAS auf die Absicherung von automatisierten Fahrfunktionen. Hierzu lieferte er auch im Projekt PEGASUS wichtige Beiträge zur systematischen Generierung von Szenarien. An diesem Thema wird er sicher auch bei seinem neuen Arbeitgeber weiter forschen. Gerrit folgt seinem alten Bürokollegen Andreas Reschka in die Bay Area zu Zoox.

Gerrit hat am Institut durch seine extrovertierte Art für viele lustige Momente gesorgt, stand aber zur gleichen Zeit immer als harter Diskussionspartner zur Verfügung. Wir danken dir für die nie langweilige gemeinsame Zeit, viele ernsthafte und noch mehr weniger ernsthafte Diskussionen, die „kulturelle“ wie auch wissenschaftliche Bereicherung diverser Dienstreisen und wünschen dir auf deinem Auslandsabenteuer alles Gute!

## 2.2.2 Christopher Plachetka

*von Felix Grün*

Nach einem viel zu kurzen Jahr als wissenschaftlicher Mitarbeiter hat uns Christopher im Juli 2019 verlassen, um sich neuen Aufgaben in der Industrie zu widmen.

Aufbauend auf seiner Masterarbeit hat sich Christopher während seiner Zeit am Institut durch die Konzeption und Erstellung eines Datensatzes für die Lidar- und Kamerabasierte Objekterkennung verdient gemacht. Dieses ambitionierte Unterfangen hat vielfältige anspruchsvolle Aufgaben mit sich gebracht, von der Sensorkalibrierung und -synchronisation über die Verwaltung großer Datenmengen bis hin zur Erstellung der Annotationen, denen Christopher sich mit seiner vollen Motivation gewidmet hat. Darüber hinaus hat er das Team des Projekts Stadtpilot in stressigen Zeiten unterstützt und stand als Partner für interessante Diskussionen zur Verfügung.

Durch seine Arbeit hat Christopher die Grundlagen für weitere Arbeiten auf dem Gebiet der strukturierten Datenaufzeichnung, -annotation und -verwaltung an unserem Institut gelegt, auf denen wir aufbauen und die wir weiterführen werden. Gleichzeitig hat er im Institutsalltag durch seine offene und humorvolle Art für heitere Momente gesorgt.

Und dafür, für die oft lustige, manchmal stressige, aber nie langweilige gemeinsame Zeit, danken wir Dir! Wir wünschen Dir auf Deinem weiteren Weg alles Gute!

### 2.2.3 Frank Dierkes

*von Torben Stolte*

„Der Mann mit Koffer“, so könnte ein Bild sein, das in Erinnerung an Frank bleibt. Frank war nämlich als Wissenschaftlicher Mitarbeiter nach Ingolstadt entsandt, um gemeinsame Projekte bei einem namhaften Autohersteller umzusetzen. Für den wissenschaftlichen Austausch im Rahmen des Oberseminars und den Dissertationswerkstätten, aber auch für andere Institutsveranstaltungen nahm Frank zahlreiche Fahrten nach Braunschweig auf sich und tauchte sehr häufig mit Rollkoffer im Institut auf.

Nach nunmehr sechs Jahren als Wissenschaftlicher Mitarbeiter hat Frank die Arbeitsgruppe im Juni dieses Jahres verlassen. In seiner Zeit brachte Frank eine wichtige Industrieperspektive in die Diskussionen am Lehrstuhl ein. Zugleich musste er so manche kritische Frage zum Diskussionsstand in der Industrie beantworten. Trotz der räumlichen Ferne gelang es Frank, seine Forschungsarbeiten – zur Repräsentation von Unsicherheiten bei der Fahrbahn und Fahrstreifendetektion – über die gesamten sechs Jahre eng mit den anderen Mitgliedern der Gruppe abzustimmen. Er konnte so auch aus der Ferne den dynamisch fortschreitenden Wissensstand am Lehrstuhl mitprägen.

Frank wird uns mit seiner ruhigen Art und seinem feinen Humor in Erinnerung bleiben. Wir wünschen Frank für seine Zukunft alles Gute! Mucho Aloha, Frank!



**Teil I**

# **Lehre und Ereignisse**



# 3 Lehre

## 3.1 Übersicht

Folgende Veranstaltungen haben wir im vergangenen akademischen Jahr angeboten:

<b>Veranstaltung</b>	<b>Vortragende</b>
Datenbussysteme	Dr. Grobe
Elektronische Fahrzeugsysteme	Prof. Form
Grundlagen der Elektrotechnik	Prof. Maurer
Hochvoltsicherheit im Kraftfahrzeug	B. Amlang
Master-Teamprojekt	R. Graubohm
Mathematische Methoden für Elektronische Fahrzeugsysteme	Prof. Lichte
Oberseminar Elektronische Fahrzeugsysteme	Prof. Maurer
Advanced Topics in Automotive Systems Engineering	Prof. Maurer

Tabelle 3.1: Veranstaltungen im Wintersemester 2018/2019

<b>Veranstaltung</b>	<b>Vortragende</b>
Elektromagnetische Verträglichkeit in der Fahrzeugtechnik	Prof. Form
Fahrerassistenzsysteme und automatisiertes Fahren	Prof. Maurer
Fahrzeugsystemtechnik	Prof. Maurer
Master-Teamprojekt	R. Graubohm
Oberseminar Elektronische Fahrzeugsysteme	Prof. Maurer
Advanced Topics in Automotive Systems Engineering	Prof. Maurer

Tabelle 3.2: Veranstaltungen im Sommersemester 2019

<b>Labor</b>	<b>Zeitraum</b>
Entwurf von vernetzten eingebetteten Fahrzeugsystemen	SoSe 2019
Test automatisierter Fahrfunktionen in der Simulation	SoSe 2019

Tabelle 3.3: Labore im akademischen Jahr 2018/2019

## 3.2 Neues aus der Lehre

### 3.2.1 Oberseminar

*von Torben Stolte*

Das Oberseminar „Elektronische Fahrzeugsysteme“ wurde im Wintersemester 2018/2019 und im Sommersemester 2019 angeboten. Das Seminar dient dem vertieften wissenschaftlichen Austausch zu aktuellen Themen aus den Forschungsfeldern der Arbeitsgruppe. Die dreistündigen Termine werden von den Vortragenden frei gestaltet. Dabei wurden bevorzugt offene Formate anstatt Frontalvorträge gewählt, um so den wissenschaftlichen Diskurs zu fördern.

Es richtet sich vor allem an wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Forschungsfelds „Intelligentes Fahrzeug“ des Niedersächsischen Forschungszentrums für Fahrzeugtechnik sowie an wissenschaftlich interessierte Studierende im Masterstudium.

Der Fokus der Vorträge im vergangenen akademischen Jahr lag auf den besonderen Herausforderungen der Fahrzeugautomatisierung, dem wissenschaftlichen Arbeiten sowie den Projekten der Arbeitsgruppe Elektronische Fahrzeugsysteme. Einen weiteren Beitrag zum fachlich tiefen Austausch lieferte im Sommersemester die Diskussion von anstehenden Journal-Veröffentlichungen der Arbeitsgruppe. Allen Vortragenden sei herzlich für die spannenden Beiträge gedankt. Gleichzeitig gilt den Teilnehmenden Dank für die regen Diskussionsbeiträge.

<b>Vortragende</b>	<b>Thema</b>
Markus Maurer	Erfolgreiches wissenschaftliches Arbeiten
Tobias Schröder	Konzipierung eines autonomen Familienfahrzeugs
Robert Graubohm, Torben Stolte, Gerrit Bagschik	UNICAR <i>agil</i> : Sicherheits- und Testkonzeption
Gerrit Bagschik	Absicherung automatisierter Fahrzeuge
Till Menzel, Jan Richelmann, Christopher Plachetka, Gerrit Bagschik	Eine zentrale Ontologie zur Domänenbeschreibung
Susanne Ernst	Einfluss von Risiko auf die Leistungsfähigkeit des Verkehrssystems
Inga Jatzkowski	UNICAR <i>agil</i> : Gesamtkonzept Selbstwahrnehmung
Team Stadtpilot	Versuchsträger – Aktueller Stand und Demonstration

Tabelle 3.4: Themen des Oberseminars im Wintersemester 2018/2019

<b>Vortragende</b>	<b>Thema</b>
Markus Maurer	Erfolgreiches wissenschaftliches Arbeiten
Robert Graubohm, Torben Stolte	Gefährdungsanalyse & Risikobewertung – Vorgehen und Ergebnisse in UNICAR <i>agil</i>
Tobias Schröder	Anforderungen unterschiedlicher Nutzer- gruppen an automatisierte Fahrzeuge
Torben Stolte	Fehlertolerante Trajektorienregelung für überaktuierte automatisierte Fahrzeug
Markus Steimle	Absicherung eines automatisiert fahrenden Lkws
Team Stadtpilot	Fahr demonstration Digitaler Knoten 4.0
Christopher Plachetka	Automatische Generierung von Referenzdaten
Inga Jatzkowski	Fähigkeitenrepräsentation und Unsicher- heitenanalyse im Entwicklungsprozess au- tomatisierter Fahrzeuge
Marcus Nolte	Zur Ermittlung notwendiger Integritätsni- veaus für das automatisierte Fahren
Jan Richelmann	Potentiale der fahrzeugübergreifenden Schnittstellenvereinheitlichung
Till Menzel	Szenariengenerierung im Hinblick auf ur- bane Einsatzumgebungen
Felix Grün	Lokalisierung, Fahrstreifenenerkennung und das Fahren in der Stadt: Zur Übertragbarkeit von Szenarien am praktischen Beispiel
Susanne Ernst	Framework für die Risikobewertung in au- tomatisierten Fahrfunktionen

Tabelle 3.5: Themen des Oberseminars im Sommersemester 2019

### 3.2.2 Das CDLC-Team 2019

von Hauke Dierend, Alex Bendrick und Robin Hapka (Team CDLC)

#### Rückblick - Carolo-Cup 2019

Zum zwölften Mal nahm unser Team am jährlich stattfindenden Carolo-Cup im Februar in der Stadthalle Braunschweig teil. Neben uns hatten 16 weitere Teams aus Deutschland, Polen, Österreich, der Schweiz und China in den vorherigen Monaten viel Zeit und Arbeit in die Entwicklung eines autonomen Modellfahrzeugs gesteckt. Wie bereits im vorherigen Jahr gab es wieder zwei Wettbewerbe: Den Carolo-Cup, in dem Teams komplexe Fahrscenarien meistern müssen, und den Basic-Cup, in dem überwiegend neue Teams sich in vereinfachten Szenarien beweisen. Wir nahmen an Ersterem teil und mussten uns in einer Präsentation, einem Rundkurs ohne Hindernisse mit Parken und einem Rundkurs mit Hindernissen messen.

Wie in jedem Jahr veröffentlichte das IfR als Organisator des Carolo-Cups einige Monate vor dem Cup das neue Regelwerk. Es zeigte sich schnell, dass einige Neuerungen große Probleme für unser Auto, von uns liebevoll *Carolinen* genannt, darstellen könnten und wurden daher direkt in Angriff genommen. Eine dieser Neuerungen war eine Verkehrsinsel, die mit oder ohne Zebrastreifen und in variabler Länge auftauchen konnte. Durch eine Anpassung in unserer Fahrstreifenerkennung konnten wir das Problem lösen. Eine weitere Neuerung war eine Startbox mit einer Schranke. Durch das Öffnen der Schranke begann der jeweilige Wettbewerb. Dass nicht nur wir Probleme mit der Schranke hatten, zeigte sich bei der Vorbereitung auf den Cup schnell. Die Idee eines anderen Teams, die Schranke mit dem Fahrzeug aufzuberechnen, wurde von den Schiedsrichtern schmunzelnd abgelehnt –

beim nächsten Cup wird es sich dabei sogar um einen Regelverstoß handeln. So beschäftigten wir und die anderen Teams uns am Tag vor dem Wettbewerb vor allem mit der Erkennung der Schranke.

Der Tag des Wettkampfs begann für uns mit der englischen Präsentation unseres Teams und des Fahrzeugs vor der internationalen Jury des Carolo-Cups. In dieser Präsentation zeigten wir unsere Teamstruktur und Organisation sowie die Hard- und Software-Funktionalitäten auf und konnten uns dort den dritten Platz sichern. Motiviert von dem guten Abschließen der ersten Disziplin optimierten wir die Parameter von Carolinchen für die am Abend stattfindenden Rundkursdisziplinen weiter. Pünktlich um 18 Uhr begannen die Rundkurse und leider kam schnell die Ernüchterung – Carolinchen fuhr beim ersten der beiden Rundkurse nicht los. Wir gingen von einem Fehler bei der Erkennung der Schranke aus und bemerkten erst nach dem Ende der ersten Rundkursdisziplin, dass das Kamerakabel nicht angeschlossen war. Carolinchen konnte somit erst in der letzten Disziplin, dem Rundkurs mit Hindernissen, ihr Potenzial zeigen und uns dort den dritten Platz sichern. Nach der misslungenen Teilnahme an der zweiten Disziplin machten wir uns keine großen Hoffnungen auf einen Podestplatz, zu groß erschien der Abstand auf die anderen Teams. Umso größer war unser Erstaunen und die Freude, als wir unseren Namen beim Endergebnis auf dem dritten Platz lasen. Das starke Abschneiden in den beiden anderen Disziplinen hat uns mit einem knappen Vorsprung vor dem Team e.Wolf auf das Podest verholten.

### **Entwicklungsstand**

Im Zuge des Aufbaus eines neuen Autos (Caro XI) haben wir uns entschieden, den Rahmen durch ein komplett 3D-gedrucktes Chassis auszutauschen, da sich der vorherige Gitterrohrrahmen stark verzogen hatte. Insgesamt wird dadurch das Gewicht des Fahrzeugs zwar zwangs-



Abbildung 3.1: Carolinchen in Vorbereitung auf den Cup

läufig etwas ansteigen, jedoch besteht für uns die Möglichkeit, kaputte Teile in einem sehr kurzen Zeitraum neu zu drucken und auszutauschen. Ebenfalls sind wir mit dem neuen Chassis sehr viel flexibler, wenn es darum geht, z. B. neue Sensorik am Auto zu befestigen. Es ist nicht mehr notwendig, neue Halterungen umständlich am Gitterrohrrahmen zu befestigen, da wir diese einfach in das 3D Modell unseres Chassis integrieren und anschließend neu drucken können. Für die Stabilität des Chassis erwarten wir keinerlei negative Auswirkungen.

Das Elektronikkonzept bleibt bei Caro XI weitestgehend unverändert zu Caro X und wird lediglich in Details angepasst: Wir verwenden weiterhin vier Radnabenmotoren und zwei Linearmotoren, die jeweils von einem Controller angesteuert werden. Die Platine der Controller zur Ansteuerung der Radnabenmotoren wurden jedoch weiterentwickelt und werden nun direkt an den Rädern montiert werden. Als Hauptcontroller fungiert weiterhin ein STM32F4, dessen Software wir neu aufgesetzt ha-

ben. Auf Grund der in diesem Zuge aktualisierten Hardware Abstraction Layers (HAL) war es zunächst notwendig alle Schnittstellen zwischen den HAL-Layers und der Applikation neu zu implementieren, bevor wir mit dem Portieren der Applikation des alten Hauptcontrollers beginnen konnten. Erweitert haben wir unsere Elektronik durch einen weiteren Mikrocontroller vom Typ ESP32, der die Ansteuerung der Beleuchtung und eines kleinen LC-Displays übernimmt. Das LCD soll uns einen schnellen Blick auf die Verfügbarkeit der Sensorik und Aktorik geben, damit u. a. Fehler wie beim Carolo-Cup 2019 nicht mehr auftreten bzw. schnell erkannt werden können. Ein weiteres Augenmerk haben wir auf die Verkabelung aller Komponenten gelegt. Zu diesem Zweck haben wir eine Platine entworfen, die Anschlüsse für alle aktuellen (und zukünftigen) Sensoren und Busse bereitstellt und direkt auf unseren Hauptcontroller gesteckt wird. Auch die Verteilung aller notwendigen Spannungen wird über diese Platine realisiert. Um die Kabellängen weiter zu minieren, wird die Verteilerplatine von zwei Platinen flankiert, die links und rechts am Rahmen sitzen und über die unser CAN-Bus im Fahrzeug verteilt wird. Abschließend lässt sich beim Elektronikkonzept erwähnen, dass wir nun zwei Time-of-Flight Sensoren am Auto haben, durch die wir uns die Verbesserung aktueller Features erhoffen und die uns die Implementierung neuer Funktionen ermöglichen. Wir freuen uns sehr über die Unterstützung und das Interesse vieler Unternehmen, ohne deren Sponsoring wir unser Fahrzeugkonzept nicht realisieren könnten.

Im Bereich der High-Level Software besteht bis zum nächsten Cup im Februar 2020 noch einiges an Entwicklungsaufwand, um unter anderem die Regeländerungen mit Bezug auf die Kreuzungswinkel zu berücksichtigen. Ein erster Test hat lediglich gezeigt, dass wir bisher nicht angemessen und zuverlässig auf Kreuzungen mit einem Winkel, der von  $90^\circ$  abweicht, reagieren können. Des Weiteren liegt der Fokus

grundsätzlich auf der Verbesserung der Wahrnehmungsfähigkeiten in Form der Spurerkennung und der Erkennung von Verkehrsschildern sowie Hindernissen. In diesem Kontext wird unserer Hauptkamera eine zweite Kamera zur Seite gestellt, die uns über eine Stereobildauswertung zusätzlich Tiefeninformationen der Szenerie liefert.

### **Veranstaltungen 2019**

Auch in diesem Jahr hat uns die Robert Bosch GmbH zu ihrem Carolo-Cup Workshop in Abstatt eingeladen. Auf dem zweitägigen Treffen tauschen wir uns mit den Mitarbeitern von Bosch aber auch mit Mitgliedern anderer Teams aus. Auf dem Weg nach Abstatt werden wir einen kurzen Zwischenstopp in Obersulm machen und unseren Kamearasponsor IDS Imaging Development Systems GmbH besuchen.

Natürlich waren wir auch an der TU viel unterwegs. So haben wir gemeinsam mit den ISF Löwen an der TU Night teilgenommen und Besuchern erklärt, wie das autonome Fahren im Kleinen funktioniert, und für den Carolo-Cup geworben. Bei der Exzellenzinitiative haben wir – auch gemeinsam mit den ISF Löwen – unser Können demonstriert und in einem kurzen Vortrag für uns und unsere Universität geworben.

Da das Thema des Autonomen Fahrens langsam auch in der breiten Gesellschaft ankommt, wurden wir vom Rotary Club Fallersleben angesprochen und haben sie zu uns in den Teamraum eingeladen. In einer gemütlichen Runde haben wir ausgiebig mit ihnen über unser Auto, den Carolo-Cup, aber auch über das autonome Fahren und die Zukunft der Mobilität gesprochen. Einige waren so begeistert, dass sie gar dem Team beitreten wollten.

Unser neuer Partner, die P3 group GmbH, unterstützt uns mit einer mobilen Strecke, sodass wir in Zukunft mit wenig Aufwand bei Veranstaltungen eine Strecke zur Vorführung unseres Autos aufbauen können.

Diese haben wir auch sofort genutzt, um bei der O-Woche den Erstsemestern im Foyer von PK 2.2 mit Caro X über die Strecke zu driften. Wir hoffen, dass einige Begeisterte den Weg zu uns finden und sich unserem Team anschließen. Um neue Mitglieder ins Team zu holen und interessierten Studierenden eine Chance für ihre persönliche Weiterentwicklung zu geben, werden wir am Anfang des Wintersemesters in verschiedenen Vorlesungen unterwegs sein. Zum Glück stehen viele Professorinnen und Professoren hinter studentischen Initiativen und geben uns bereitwillig einige Minuten ihrer Vorlesungszeit.



Abbildung 3.2: Die neue Teststrecke bei der Orientierungswoche

### 3.2.3 SummerCamp 2019

*von Robert Graubohm*

Im Zeitraum vom 1. bis 6. September wurde zusammen mit Kollegen anderer Institute das SummerCamp 2019 in Schulenberg (Harz) ausgerichtet. Ich hatte in diesem Jahr zum zweiten Mal die Aufgabe, das SummerCamp hauptverantwortlich zu organisieren. Zum Teilnehmerkreis zählten 26 Studierende der TU Braunschweig aus den Bereichen Elektrotechnik, Informatik und Maschinenbau. Darüber hinaus nahm ein Studierender der Universität Tampere (Finnland) teil. Während der Durchführung der Veranstaltung wurde das Organisationsteam zeitweise durch Prof. Form als verantwortliche Lehrperson unterstützt.

Beim SummerCamp handelt es sich um ein sechstägiges Planspiel, das die Studierenden je nach Fachbereich als Wahlpflichtfach, Laborleistung oder innerhalb der überfachlichen Profilbildung in ihr Studium einbringen können. Das Institut für Regelungstechnik führt die Veranstaltung gemeinsam mit den Instituten für Datentechnik und Kommunikationsnetze (IDA), Softwaretechnik und Fahrzeuginformatik (ISF) und Verkehrssicherheit und Automatisierungstechnik (iVA) durch.

Innerhalb der Veranstaltung erfahren die Studierenden einen Entwicklungsprozess vernetzter eingebetteter Systeme anhand des V-Modells, der bei großen Automobilherstellern und Zulieferern ähnliche Anwendung findet. Entwicklungsgegenstand ist ein vernetztes und auf mehrere Steuergeräte verteiltes Komfortsystem. Die praxisnahe Erfahrung wird in allen Entwicklungsphasen durch den Einsatz verbreiteter Softwarewerkzeuge unterstützt, die auch in der Automobilindustrie eingesetzt werden. Die Studierenden werden in drei Teams eingeteilt, die im Laufe der Entwicklung insbesondere im Bereich des Projektmanagements miteinander konkurrieren. Als Abschluss der Veranstaltung erfolgt eine Ermittlung des besten ausgelieferten Systems.

Zu Beginn des Planspiels werden auf Basis einer Analyse der verbalen Systembeschreibung Systemanforderungen extrahiert. Ausgehend von diesen Anforderungen wird eine funktionale Systemarchitektur erstellt, welche anschließend in Hard- und Software umgesetzt werden soll. Während aller Entwicklungsphasen wird auf die Verbindung zum Testprozess geachtet. Insbesondere sollen Testfälle, im Sinne des V-Modells, frühzeitig spezifiziert und durchgeführt werden. Im abschließenden Abnahmetest wird die Funktionalität durch die Organisatoren gegen die anfangs analysierte Systembeschreibung getestet.

Ein Schwerpunkt der Veranstaltung ist die Vermittlung von praktischen Erfahrungen mit selbstorganisierter Teamarbeit in interdisziplinären und internationalen Gruppen. Die Organisatoren schaffen außerdem eine Konkurrenzsituation zwischen den Teams, indem den Teilnehmenden (Abbildung 3,3) Fortschrittsberichte anderer Gruppen bereitgestellt werden. Ergänzt wird der Ablauf durch zusätzliche Aufgaben, in denen Teams zum Beispiel innerhalb von kurzer Zeit ihren aktuellen Projektstatus präsentieren müssen.

Einzelne Phasen des Entwicklungsprozesses werden durch Fachvorträge eingeleitet. Diese werden entweder von Industrievertretern oder von Mitarbeitern der beteiligten Institute gehalten. Die Veranstaltung wurde in diesem Jahr durch Vorträge von Experten der Volkswagen AG, dSPACE GmbH und Elektrobit Automotive GmbH unterstützt. Dabei werden insbesondere Aspekte der jeweiligen Prozessphasen erläutert und die im SummerCamp verwendeten Werkzeuge eingeführt.

In diesem Jahr zählten zum achten Mal Studierende internationaler Universitäten zum Teilnehmerkreis. Während in Vorjahren amerikanische Studierende am SummerCamp teilnahmen, konnten wir in diesem Jahr einen Teilnehmer aus Finnland begrüßen. Die Teilnahme internationaler Gäste ist eine Bereicherung für das SummerCamp und hat in



Abbildung 3.3: Teilnehmende und Betreuer des SummerCamps 2019

der Vergangenheit die Durchführung in englischer Sprache mit sich gebracht. Um englischsprachige Studierende in die Teamarbeit einzubinden, besteht neben der Vortrags- und Dokumentensprache Englisch auch die Notwendigkeit einer englischsprachigen Kommunikation im Team während des gesamten SummerCamps.

Diese bereits etablierte Praxis wurde auch in diesem Jahr durch positive Rückmeldung aller Teilnehmenden – sowohl auf Seiten der hiesigen Studierenden als auch auf Seiten des internationalen Gastes – bestätigt. Wir hoffen, auch im nächsten Jahr wieder Studierende internationaler Universitäten beim SummerCamp begrüßen zu dürfen.

Auf Basis des Feedbacks der Studierenden kann für das SummerCamp 2019 ein ausgesprochen positives Fazit gezogen werden. Der

Dank gilt allen Referenten und unterstützenden Unternehmen, die uns Räumlichkeiten und Softwarewerkzeuge zur Verfügung gestellt haben. Ich möchte mich außerdem bei den Kollegen der beteiligten Institute für die Zusammenarbeit bedanken.

Zuletzt erfolgt bereits hier der Wunsch eines erfolgreichen Summer-Camps 2020!

### **3.2.4 Vorlesung Fahrerassistenzsysteme und automatisiertes Fahren**

*von Susanne Ernst*

Vergangenes Sommersemester fand die Lehrveranstaltung *Fahrerassistenzsysteme und automatisiertes Fahren* nach einer einjährigen Pause wieder statt. Dies schlug sich in einem hohen Interesse der Studierenden an der Veranstaltung nieder und resultierte in einer gestiegenen Zahl Prüfungsteilnehmer von 43 auf 99. Damit setzte sich ein Trend fort, der durch den Ausfall der Veranstaltung während des Forschungsfreisemesters von Prof. Maurer und dem daraus resultierenden Entfall zusätzlich Auftrieb erhielt.

Nachdem im vorangegangenen Turnus die Vorlesung grundlegend neu strukturiert wurde, bereicherten wissenschaftliche Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen dieses Jahr die bestehenden von Prof. Maurer gehaltenen Themenschwerpunkte mit Vorträgen aus der aktuellen Forschung. So begann Robert Graubohm mit einem beispielhaften Anwendungsfall einer Systemkonzeption im Entwicklungsprozess, zum Thema Wahrnehmung stellte Felix Grün die Umfeldwahrnehmung im Projekt Stadtpilot vor und Inga Jatzkowski ergänzte den Themenschwerpunkt mit einer Vorlesung zum Forschungsfeld der Selbstwahrnehmung. Marcus Nolte schloss die Veranstaltung mit einer Einführung in die modellprädiktive

Regelung als einen Bestandteil der Fahrentscheidung automatisierter Fahrzeuge. Zu den jeweiligen Vorlesungsinhalten fanden Übungen statt, welche die praktischen Forschungsbeispiele unterstützten. Da die Lehrveranstaltung kontinuierlich im Hinblick auf Aktualität und Verständnis angepasst und weiterentwickelt wird, betraf die Überarbeitung neben der Vorlesung auch die Übungen. So wurde eine Übungseinheit zum Entwicklungsprozess durch eine neu konzipierte MPC Übung ersetzt.

Mit der Zusammenführung theoretischer Inhalte und praktischer Anwendungsfälle mit hochrelevanten Fragen wurden die Studierenden näher an die (institutseigene) Forschung gerückt. Dies in Kombination mit einer interaktiven Vorlesungs- und Übungsgestaltung soll die Studierenden für die drängenden Forschungsfragen im Bereich Fahrerassistenzsysteme und automatisiertes Fahren sensibilisieren und begeistern.

### **3.2.5 Vorlesung Fahrzeugsystemtechnik**

*von Inga Jatzkowski*

Nachdem die Vorlesung im vergangenen Jahr aufgrund des Forschungsfreisemesters von Prof. Maurer von Gerrit Bagschik gelesen wurde, wurde sie in diesem Jahr wieder von Prof. Maurer gehalten. Das Interesse am Thema Fahrzeugsystemtechnik spiegelt sich auch in diesem Semester in den Teilnehmerzahlen wieder. Nach einem starken Anstieg der Anzahl an teilnehmenden Studierenden in den letzten Jahren erreichte die Vorlesung mit 172 angemeldeten Studierenden eine neue Höchstzahl.

Langfristiges Ziel ist es, die Veranstaltung zunehmend forschungsnäher zu gestalten und aktuelle Forschungsthemen in die Vorlesung einzu-

beziehen. Aus diesem Grund unterstützten in diesem Semester einige der wissenschaftlichen Mitarbeiter fachlich die Vorlesung. So stellten etwa Tobias Schröder, Torben Stolte und Markus Steimle Nutzungsfälle aus den Projekte UNICAR*agil*, aFAS und PEGASUS vor, die anschließend im weiteren Verlauf der Vorlesung aufgegriffen wurden. Tobias Schröder unterstützte zudem mit einer Vorlesung und Übung zum Anforderungsmanagement am Beispiel der Fahrzeugausprägung *autoELF* aus dem UNICAR*agil* Projekt (Kapitel 12). Auch im weiteren Verlauf wurde die Vorlesung immer wieder durch Experten aus dem Kollegenkreis unterstützt. Robert Graubohm trug mit einer Vorlesung zu agilen Entwicklungsmethoden und zu wertebasierter Entwicklung zur Veranstaltung bei. Till Menzel unterstützte im Rahmen des Themenbereichs des Testens sowie Markus Steimle zum Themenbereich der Simulation.

Durch eine interaktive Vorlesungsgestaltung wurden die Studierenden direkt in die Erarbeitung der Vorlesungsinhalte eingebunden. Hierdurch entstanden teils sehr interessante Diskussionen zwischen Dozent und Studierenden. Aufgrund der großen Teilnehmerzahl musste die Veranstaltung Anfang des Semesters in einen größeren Hörsaal verlegt werden. Die Situation entspannte sich jedoch im Laufe des Semesters etwas.

### 3.2.6 Master-Teamprojekt

von Robert Graubohm

Das Teamprojekt ist eine Studienleistung in den Master-Studiengängen *Elektronische Systeme in Fahrzeugtechnik, Luft- und Raumfahrt* und *Informations-Systemtechnik* als Alternative zum Industriepraktikum. Gruppen von mindestens drei Studierenden führen in diesem Modul anhand einer übergeordneten Themenstellung die Umsetzung

eines informationstechnischen Systems auf Basis von Analyse- und Entwurfsmethoden beispielhaft durch. Durch die semesterbegleitende, zeitlich begrenzte und in großen Teilen selbstorganisierte Gruppenarbeit werden dabei auch projektorientiertes Vorgehen im Team und interdisziplinäre Herangehensweise vermittelt. Am Institut für Regelungstechnik werden für das Master-Teamprojekt Aufgabenstellungen aus den Forschungsprojekten *StadtPilot* und *MOBILE* bearbeitet. Darüber hinaus sind Themenstellungen aus dem Kontext des *Carolo-Cups* möglich. Dabei ist sowohl die gemeinschaftliche Erarbeitung einer Aufgabe im Zuge der Mitgliedschaft der Studierenden in einem teilnehmenden Team als auch die Bearbeitung einer Themenstellung motiviert aus der Organisation des Wettbewerbs möglich. Inhalt und Ausrichtung der Themen werden in jedem Semester an den aktuellen Arbeitsstand in den Projekten angepasst. Dadurch können die Studierenden neben Soft Skills und praktischen Erfahrungen auch einen Einblick in den aktuellen Stand der Forschung erhalten. Da in den Forschungsprojekten Versuchsträger betrieben werden, können Studierende vielfach die Ergebnisse ihrer Arbeiten auch praktisch erleben.

In den beiden vergangenen Semestern wurden folgende Themen behandelt:

- Einsatz von RFID-Tags zur elektronischen Identifikation von Modellfahrzeugen
- Verkehrszeichenerkennung mittels Convolutional Neural Network
- Entwurf und Implementierung modellprädiktiver Regelung mit HW-Beschleunigung auf einem FPGA

### 3.2.7 Seminarvorträge

*von Tobias Schröder*

Die Seminarvorträge werden in jedem Semester von Bachelor- und Masterstudierenden der Fakultät für Elektrotechnik, Informationstechnik und Physik abgehalten. Die Themenstellungen werden zu Beginn eines Semesters im Zuge einer Einführungsveranstaltung vergeben. Die Inhalte sind vielfältig und umfassen aktuelle Forschungsgebiete der Arbeitsgruppe für elektronische Fahrzeugsysteme. Betreut von einem wissenschaftlichen Mitarbeiter oder einer wissenschaftlichen Mitarbeiterin arbeiten die Teilnehmenden ihren Seminarvortrag im Laufe der Vorlesungszeit aus. An die vor allen Teilnehmenden der Veranstaltung gehaltenen Vorträge knüpfen sich eine Frage- und eine Feedbackrunde an. Hierdurch wird den Studierenden die Möglichkeit gegeben, Erfahrungen im Ausarbeiten und halten wissenschaftlicher Vorträge sowie im Geben und Nehmen von Feedback zu sammeln.

Im vergangenen Jahr wurden die folgenden Vorträge gehalten:

#### **Wintersemester 2018/2019**

- Modellierung von Fahrzeugreifen
- Datenauswertung des Testbetriebs automatisierter Fahrzeuge in Kalifornien
- Ethik in Entscheidungsalgorithmen
- Attention Maps im maschinellen Lernen
- Verfahren zur Risikobewertung automatisierter Fahrzeuge
- Vertrauen in automatisierte Fahrzeuge
- Ontology-Based Decision Making for Autonomous Driving in Urban Space

### Sommersemester 2019

- Studienergebnisse über die Automatisierung von Nutzfahrzeugen in den USA
- Trajektorienplanung automatisierter Fahrzeuge
- Semantische Segmentierung für automatisiertes Fahren
- Überwachung von Fahrzeuginnenräumen
- Potentiale der Automatisierung des Verkehrs auf Sonderfahrstreifen in Kalifornien
- Studie zum Anforderungsmanagement in agilen Entwicklungsprojekten
- Chancen barrierefreier fahrerloser Fahrzeuge
- Ethik für automatisierte Fahrzeuge
- Adaptierte Verhaltensentscheidung
- Prädiktion der Verletzungsschwere als Folge möglicher Unfälle
- Modellierung von Einflussfaktoren für die Risikobewertung in der Verhaltensentscheidung
- Deep Neuroevolution

### 3.2.8 Advanced Topics in Automotive Systems Engineering

von Tobias Schröder

Die englischsprachige Veranstaltung „Advanced Topics in Automotive Systems Engineering“ wird seit dem Wintersemester 18/19 angeboten und richtet sich an Masterstudierende, sehr gute Bachelorstudierende und wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Vorausset-

zung für die Teilnahme sind Englischkenntnisse auf dem Niveau C1 oder oberhalb. In den regelmäßig stattfindenden Terminen halten die Teilnehmenden einen fachlich tiefgreifenden Vortrag zu einer anfangs definierten Themenstellung. Die Studierenden werden bei der Ausarbeitung ihrer Vorträge von jeweils einer wissenschaftlichen Mitarbeiterin oder einem wissenschaftlichen Mitarbeiter betreut. Nach einer an jeden Vortrag anknüpfenden Fragerunde geben die Teilnehmenden der Veranstaltung den Vortragenden ein ausführliches Feedback zur Vortragsweise. Darüber hinaus nimmt eine Expertin oder ein Experte des Sprachenzentrum an der Veranstaltung teil und gibt Rückmeldung zur sprachlichen Leistung während des Vortrags.

Die Veranstaltung bietet sowohl Studierenden als auch wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern die Möglichkeit, unterschiedliche Kompetenzen zu verbessern. So werden nicht allein die Ausarbeitung und der Vortrag einer wissenschaftlichen Thematik praktiziert, sondern auch das Geben und Nehmen von Kritik sowie das fachliche Diskutieren auf Englisch. Die Teilnehmenden werden dadurch auf die Vorstellung von Forschungsergebnissen auf internationalen Konferenzen, aber auch auf das spätere Berufsleben vorbereitet.

Im vergangenen Jahr wurden die folgenden Vorträge gehalten:

### **Wintersemester 2018/2019**

- A System's Perspective Towards an Architecture Framework for Safe Automated Vehicles
- From Risk of Collision to Acceptable Risk
- Functional Safety Concept Generation within the Process of Preliminary Design of Automated Driving Functions at the Example of an Unmanned Protective Vehicle

- Lane Detection for Autonomous Driving – A Literature Review
- Conception of an Autonomous Family Car
- A Deep-Learning Approach for Overexposure Detection in Automotive Camera Images
- Detailing a Keyword Based Scenario Description for Execution in a Simulation Environment using the Example of Scenarios on German Highways
- Representing the Unknown – Impact of Uncertainty on the Interaction between Decision Making and Trajectory Generation
- The TUBS Road User Dataset
- Ontology-Based Decision Making for Autonomous Driving in Urban Space
- Usage of ViL in the Development of Autonomous Vehicles
- A Method for Assigning Test Cases to Test Bench Configurations in Scenario-Based Testing of Automated Driving Functions
- Investigating Functional Redundancies in the Context of Vehicle Automation – A Trajectory Tracking Perspective
- Safety Concept for Automated Driving with RefSens in Urban Environments
- Tyre Modeling

### **Sommersemester 2019**

- Chances of Barrier-free Mobility for Driverless Vehicles – Comparison of Three Autonomous Vehicles
- Trajectory Planning with Model Predictive Control

- Developing Functional Safety Concepts for Automated Driving – Case Study on an Unmanned Protective Vehicle
- Towards a New Approach to Static Environment Perception
- Generating Reference Data using Automatic Labeling
- Towards a Generally Accepted Validation Methodology for Sensor Models
- Deep Neuroevolution
- From Functional to Logical Scenarios
- autoElfe – The autonomous Family Vehicle
- Towards Self-aware Road Vehicles: Capability Representation and Uncertainty Analysis in the Development Process
- Reference Trajectories for Investigating Fault-Tolerant Trajectory Tracking Control Algorithms for Automated Vehicles
- Toward Self-Aware Motion Planning – Architectural Concepts and Simulative Results

### 3.2.9 Industriepraktika

Im akademischen Jahr 2018/2019 wurden Industriepraktika von unserer Arbeitsgruppe bei folgenden Firmen betreut:

- Altram Deutschland S.A.S. & Co KG, Wolfsburg
- BBR Verkehrstechnik GmbH, Braunschweig
- Bosch Engineering GmbH, Abstatt
- CKC Group, Braunschweig

- DLR, Braunschweig
- EDAG Engineering GmbH, Braunschweig
- IAV GmbH, Gifhorn
- IAV GmbH, Braunschweig
- LEONI Wiring Systems Tunisia, Sousse (Tunesien)
- OHB System AG, Bremen
- P3 Systems GmbH, Braunschweig
- P3 Systems GmbH, Stuttgart
- Robert Bosch LLC, Sunnyvale (Kalifornien, USA)
- Samsung SDI Europe GmbH, Ismaning
- Shanghai Robot Industrial Technology Research Institut Co. Ltd., Shanghai
- Siemens Software-Engineering, Braunschweig
- Volkswagen AG, Wolfsburg

### 3.3 Studentische Arbeiten

Während des vergangenen Jahres haben wir folgende studentische Arbeiten in unserer Arbeitsgruppe betreut:

*Beherrschen von Fahrsituationen im Grenzbereich mit minimaler Handkraft, Masterarbeit, 2018*

*Berücksichtigung von Konfliktzonen im Bereich von Kreuzungen für die Verhaltensentscheidung eines automatisierten Fahrzeugs in urbanem Raum, Bachelorarbeit, 2018*

*Entwicklung eines nichtlinearen und fehlertoleranten modellprädiktiven Trajektorienfolgereglers, Masterarbeit, 2018*

*Entwicklung und Implementierung eines Frameworks zur automatisierten Auswertung simulativ durchgeführter Szenarien für automatisierte Fahrfunktionen, Masterarbeit, 2018*

*Entwurf und Implementierung eines Werkzeugs zur Analyse von sprachlich beschriebenen Szenarien, Bachelorarbeit, 2018*

*Erweiterung eines semi-automatischen Sensordaten-Annotations-Tools um semantische Information für Deep Learning Anwendungen im automatisierten Fahren, Masterarbeit, 2018*

*Erweiterung eines zweistufigen Moduls zur Prädiktion von Fahrstreifenwechsel anderer Verkehrsteilnehmer für ein automatisiertes Fahrzeug in urbaner Umgebung, Bachelorarbeit, 2018*

*Parameter-Schätzung für ein Fahrdynamikmodell des Versuchsträgers Mobile, Bachelorarbeit, 2018*

*Untersuchung der Anwendbarkeit quantitativer Szenarienkataloge im Sicherheitslebenszyklus automatisierter Fahrzeuge, Masterarbeit, 2018*

*Untersuchung temporaler Neuronaler Netze für die Selbstwahrnehmung automatisierter Fahrzeuge, Masterarbeit, 2018*

*Ableitung der Straßentopologie aus einer gitterbasierten Umfeldwahrnehmung für automatisierte Fahrzeuge, Masterarbeit, 2019*

*Betrachtungen zur Funktionalen Sicherheit von Bremsregelsystemen für automatisierte Fahrzeuge, Masterarbeit, 2019*

*Deep Learning-basierte Detektion von Nummernschildern und Gesichtern in Bildsequenzen, Masterarbeit, 2019*

*Entwicklung einer grafischen Oberfläche zur Parametrierung von Trajektorienplanungsalgorithmen in MATLAB, Bachelorarbeit, 2019*

*Entwicklung und Implementierung einer Methode zur Synchronisierung simulierter Objekte mit der Realität in Abhängigkeit der Fahrerkopfpose für die erweiterte Realität in einem Vehicle-in-the-Loop Prüfstand, Masterarbeit, 2019*

*Entwurf eines Softwareframeworks zur Selbstrepräsentation automatisierter Fahrzeuge mittels grafischer probabilistischer Modelle, Bachelorarbeit, 2019*

*Entwurf und Implementierung einer Funktion zur Risikobewertung und -variation beim Passieren von Fußgängerüberwegen für ein automatisiertes Fahrzeug im urbanem Raum, Masterarbeit, 2019*

*Entwurf und Implementierung einer Mensch-Maschine-Schnittstelle für ein automatisiertes Fahrzeug im manuellen und automatisierten Fahrbetrieb in urbaner Umgebung, Masterarbeit, 2019*

*Entwurf und Implementierung eines Algorithmus zur Interpretation von Verdecktbereichen für ein automatisiertes Fahrzeug in urbanem Raum, Bachelorarbeit, 2019*

*Entwurf und Implementierung eines wissensbasierten Ansatzes zur Beurteilung von Befahrbarkeiten im städtischen Umfeld, Bachelorarbeit, 2019*

*Erweiterung eines Frameworks mit Metriken zur Risikobewertung des externen Verhaltens eines automatisierten Fahrzeugs basierend auf simulierten Szenarien, Bachelorarbeit, 2019*

*Evaluation von Effekten eines Lidarsensors in der Simulation auf Basis der nachgelagerten Verarbeitung, Masterarbeit, 2019*

*Generierung von Fahrstreifenwechsel-Referenztrajektorien für die Untersuchung fehlertoleranter Trajektorienregelung in einem urbanen Umfeld, Bachelorarbeit, 2019*

*Generierung von Referenztrajektorien für die Untersuchung fehlertoleranter Trajektorienregelung in einem urbanen Umfeld, Masterarbeit, 2019*

*Implementierung und Evaluation einer GNSS-unabhängigen, probabilistischen Lokalisierungsmethode zur kartenrelativen Lokalisierung in einem statischen Umfeld, Bachelorarbeit, 2019*

*Kamerabasierte Knickwinkelbestimmung als Basis einer Fusionierung von 3D-Laserscannerdaten mit Deichselverbindung gekoppelter Fahrzeuge, Masterarbeit, 2019*

*Redesign der Steuergeräte-, Vernetzungs- und Software Architektur des 1:5 Modellversuchsträgers MAX, Bachelorarbeit, 2019*

*Sensitivitätsanalyse für ein Ein- und Zweispurmodell des automatisierten Versuchsfahrzeugs MOBILE unter Berücksichtigung von Aktuatordegradation, Bachelorarbeit, 2019*

*Systemtheoriebasierte Sicherheitsanalyse des Betriebs fahrerloser Fahrzeuge im Projekt UNICARagil, Bachelorarbeit, 2019*

*Untersuchung probabilistischer Modelle zur Darstellung von Kollisionsrisiken in diskreten Umfeldkarten zur Ableitung von Randbedingungen für die Trajektorienplanung, Masterarbeit, 2019*

*Untersuchung zur Kompensation von Lenkungsausfällen einzelradgelenkter überaktuierter automatisierter Fahrzeuge, Masterarbeit, 2019*

### 3.4 Prüfungen am Institut

Im Berichtszeitraum wurden folgende Prüfungen abgelegt:

Name des Fachs	Anzahl der Prüfungen	Durchschnitts-note
Datenbussysteme	75	3,5
Elektromagnetische Verträglichkeit	164	3,3
Elektronische Fahrzeugsysteme	117	3,2
Fahrzeugsystemtechnik	91	2,1
Fahrerassistenzsysteme und automatisiertes Fahren	99	2,8
Grundlagen der Elektrotechnik	185	4,1
Hochvoltsicherheit im Kraftfahrzeug	15	1,7
Master-Teamprojekt	8	k. A.
Mathematische Methoden für elektronische Fahrzeugsysteme	2	k. A.
Oberseminar Elektronische Fahrzeugsysteme	1	k. A.
Advanced Topics in Automotive Systems Engineering	4	k. A.

Tabelle 3.6: Anzahl der Prüfungen im Rahmen unserer Lehrveranstaltungen



# 4 Ereignisse

## 4.1 Carolo-Cup 2019

*von der Pressestelle der TU Braunschweig*

### **Der Wischmopp geht als Erstes auf die Strecke – Generalprobe beim Carolo-Cup für automatisierte Modellfahrzeuge**

Magazin 01.02.2019

Jede Menge Wischmopps, literweise Spezialreiniger, große Rollen mit dem aufgerollten Parcours, Umzugskisten mit Verkehrsschildern und jede Menge Kartons, aus denen Hindernisse und Fußgänger werden sollen: Statt am Schreibtisch am Institut für Regelungstechnik oder in der Vorlesung zu sitzen, transportieren viele fleißige Helferlein in den frühen Morgenstunden alles in die Stadthalle: Denn eine Generalprobe steht an, am Montag beginnt der Carolo-Cup.

Das Orgateam des Carolo-Cups rückt mit Transporter und Fahrzeuganhänger zur Stadthalle Braunschweig an. Vom Anhänger, in dem sonst die große autonome Schwester der kleinen Modellfahrzeuge, Leonie, transportiert wird, wandern jetzt Umzugskisten, Monitore, Laptops, Kameras, Drucker und etliche Kaffeemaschinen zum Bühneneingang. Die Schreibtische der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik sind wie leer gefegt.



Abbildung 4.1: Beim Carolo-Cup müssen alle Abläufe reibungslos sitzen. Daher übt das Orgateam den Aufbau des Parcours im Congress Saal der Stadthalle Braunschweig.

©Marisol Glasserman/TU Braunschweig

Damit beim Training und beim Wettkampf alles reibungslos funktioniert, wird der Aufbau zweimal komplett geprobt, denn drei verschiedene Parcours müssen exakt regelwerkgerecht aufgebaut werden.

Aber erst mal geht's ans Säubern. „Der Tanzboden, auf dem der Parcours aufgeklebt ist, muss ganz sauber sein, damit die Fahrzeuge ihre Schnelligkeit ausfahren können und nicht sofort an fahrdynamischen Grenzen kommen. Liegt Staub auf der Fahrbahn, muss die Geschwindigkeit gedrosselt werden oder das Fahrzeug rutscht von der Strecke“, berichtet Jan Richelmann, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Regelungstechnik und Mitglied des Orgateams. Als ehemaliges Mitglied des Braunschweiger Teams CDLC kennt er den Cup auch aus Sicht der teilnehmenden Teams. Also erst einmal den Parcours ausrollen,



Abbildung 4.2: Damit die kleinen Flitzer ihr volles fahrdynamisches Potenzial ausschöpfen können, muss die Fahrbahn sauber sein.

©Marisol Glasserman/TU Braunschweig

den Wischmopp mit Spezialreiniger schwingen und trocken wedeln, bevor die Strecke noch mal genau vermessen wird und viele kleine bunte Aufkleber mit Meterangaben, Hinweisen, wo Hindernisse oder Straßenschilder stehen sollen, angebracht werden.

Die Fahrstrecke wurde am Computer maßstabsgerecht geplant und dann Rolle für Rolle im Niedersächsischen Forschungszentrum Fahrzeugtechnik aufgeklebt. „Einen Raum, in den der ganze Parcours hineinpasst, haben wir leider nicht zur Verfügung“, so Richelmann. Erst bei der Generalprobe in der Stadthalle werden die 10 mal 2 Meter langen Streifen zum großen Ganzen zusammengefügt.

### **Viel Handarbeit fürs automatisierte Fahren**

Unterstützt wird das Aufbauteam von den Schiedsrichtern: Markus, Jan, Cornelius K., Jana, Christopher und Cornelius F. platzieren ebenfalls



Abbildung 4.3: Jan Richelmann misst die Länge des Parcours.

©Marisol Glasserman/TU Braunschweig

Kartons und Straßenschilder an die richtigen Stellen. Die Straßenschilder, übrigens selbst gebaut und zur leichteren Erkennung durch die Kameras der Fahrzeuge größer als der Maßstab, werden am Institutsdrucker gedruckt, an einem Strohalm befestigt, sodass die Autos bei Kollisionen keinen Schaden nehmen und an einem eigens in der Werkstatt des Instituts gefertigten Kunststofffuß befestigt.

Der Basic-Cup-Parcours, 46 Meter lang, ist in vier Bereiche aufgeteilt, den jeweils ein Schiedsrichter auswertet. Der Parcours für den Master-Cup ist dann mit 10 mal 20 Metern doppelt so groß und 93 Meter lang. Für die sieben Schiedsrichter und eine Schiedsrichterin heißt es jetzt aufgepasst: Sie erhalten bei der Generalprobe auf dem Parcours eine Unterweisung in ihren Aufgaben. Sie achten in ihren Bereichen darauf, wie viele Meter die kleinen automatischen Flitzer beim Wettkampf zurücklegen und dass das Regelwerk eingehalten wird. Eingetragen wird alles



Abbildung 4.4: Schiedsrichterin Jana Rehbein hilft beim Aufbauen der kleinen selbstgebauten Straßenschilder.

©Marisol Glasserman/TU Braunschweig

händisch in einen Wertungsbogen. Unterstützt werden sie von Mannschaftsschiedsrichtern der teilnehmenden Teams, die das komplexe Regelwerk besonders gut kennen und die Wertung unterstützen.

Zum zweiten Mal als Schiedsrichterin dabei ist Jana Rehbein. „Es ist spannend zu sehen, was die Teams innerhalb eines Jahres leisten, um mit ihren Fahrzeugen beim Cup dabei zu sein.“ Bevor es für die Studentin der Informations-Systemtechnik, die als Hilfskraft am Institut beschäftigt ist, als Schiedsrichterin auf den Parcours geht, steht vorher Lernen für die erste Klausur an, die sie gleich am Morgen nach dem Cup schreibt.

Auf den Kartons und auf den Straßenschildern, die von den vielen Helferinnen und Helfern schnell auf dem Parcours platziert werden,



Abbildung 4.5: Die Straßenschilder sind nach einem ausgetüftelten System sortiert. Jeder Karton ist einem Schiedsrichter und einer Position auf der Strecke zugeordnet.

©Marisol Glasserman/TU Braunschweig

sind kleine Aufkleber, die festlegen, wo sie aufgebaut werden sollen, aber auch wer sie aufbaut.

Geprobt wird auch der Aufbau einer Schranke und eines Buzzers, die in diesem Jahr erstmals als die Startfreigabe eingesetzt werden. Ein Zeitmesser zählt 30 Sekunden, in dieser Zeitspanne müssen die Fahrzeuge gestartet sein, denn dann geht die Schranke wieder zu. „Wir setzen diese Zeitvorgabe erstmals ein, um den Wettkampf durch die kürzeren Startzeiten zu straffen und spannender zu gestalten“, berichtet Richelmann.

### **Ein Jahr optimale Wettkampfvorbereitung**

Nicht nur die teilnehmenden studentischen Teams haben sich ein Jahr auf den Cup vorbereitet. „Lange Excel-Listen mit über 15 Aufgabenbe-

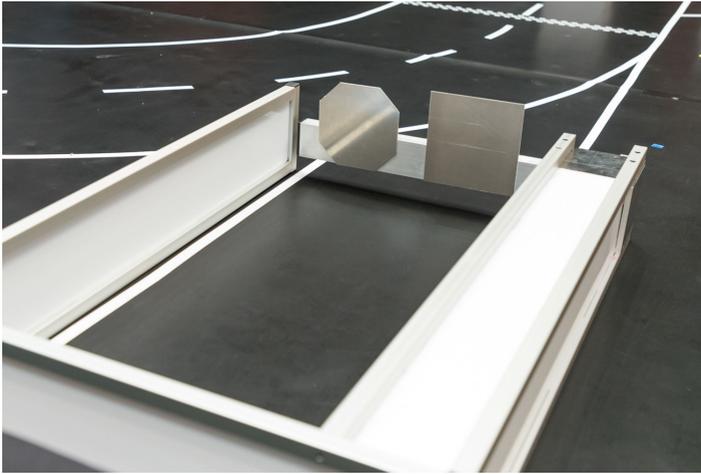


Abbildung 4.6: Erstmals geben in diesem Jahr durch Buzzer gesteuerte Schranken das Startsignal. Ab dann läuft die Zeit.

©Marisol Glasserman/TU Braunschweig

reichen mit Hunderten von Einzelaufgaben und eine umfangreiche Personalplanung muss auch das Orgateam über das Jahr erledigen“, so Stefanie Scheffer, die seit vielen Jahren dabei ist und die Fäden bei der Organisation zusammen hält. Die heiße Phase beginnt zwei Wochen vor dem Wettkampf, dann ist das ganze Institut mit etwa 15 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern und zehn studentischen Hilfskräften beim Carolo-Cup eingebunden. „Dies ist die größte Herausforderung“, berichtet Richelmann. „Das Tagesgeschäft mit Lehre und Forschungsprojekten muss trotzdem weiterlaufen.“ So findet der Abbau noch in der Nacht statt, denn am nächsten Morgen müssen alle Monitore und Laptops wieder auf den Schreibtischen stehen – die Arbeit geht weiter.

Vorher steht noch ein intensiver Austausch mit den 17 studentischen Teams bei einem gemeinsamen Abendessen an. „Die Teams geben oft

den Anstoß für neue Herausforderungen, die wir im nächsten Jahr einbauen können“, verrät Richelmann. Denn nach dem Cup ist vor dem Cup – neue Elemente müssen ausgelotet und ins Regelwerk übernommen werden.

**Teil II**

**Berichte aus der  
Forschung**



# 5 Stadtpilot

von Jan Timo Wendler, Felix Grün und Markus Steimle

Das Projekt *Stadtpilot* befasst sich mit der Konzeption und Entwicklung automatisierter Fahrfunktionen in urbanen Umgebungen. Ziel des Projekts ist es, den Braunschweiger Stadtring im öffentlichen Straßenverkehr automatisiert zu umfahren. Die städtische Einsatzumgebung hält eine Vielzahl von Herausforderungen in allen Bereichen bereit, beispielsweise bei der Umfeldwahrnehmung, Lokalisierung und Verhaltensgenerierung. Neben Fahrstreifenfolgefunktionen umfasst dies auch Fahrstreifenwechselmanöver, Abbiegevorgänge innerhalb einer Kreuzung bei Gegenverkehr oder zeitgleiche Ampelphasen mit zu Fuß Gehenden und Radfahrenden. Neben den Versuchen im realen Stadtverkehr spielt die Simulation als Werkzeug eine immer wichtiger werdende Rolle.

**Versuchsträger** Die Fahrzeugflotte des Projekts Stadtpilot besteht aus den drei Fahrzeugen „Leonie“, „RefSens“ und „ViL“. *Leonie* ist seit 2010 im Einsatz und wurde seitdem kontinuierlich weiterentwickelt. Herausforderungen im urbanen Umfeld machten die Anpassung des Sensorsetups notwendig, sodass der Versuchsträger über mittlerweile elf Sensoren unterschiedlicher Technologien für die Umfelderkennung und ein inertial- und satellitengestütztes Ortungssystem zur Lokalisierung verfügt. 2017 wurden die beiden Versuchsträger RefSens und ViL für den Einsatz im Rahmen des Projekts Stadtpilot vorbereitet. Dazu zählte die Inbetriebnahme der Ortungsplattformen, Sensoren und Rechnersysteme. Die für Leonie entwickelten Softwaremodule wurden angepasst und generisch gestaltet, sodass sie in allen

Fahrzeugen verwendet und zudem an die Simulation angebunden werden können. Außerdem musste die Ansteuerung der Fahrzeuge neu entwickelt werden, da die beiden neuen Versuchsträger eine andere Schnittstelle für die Ansteuerung der Längs- und Querverführung nutzen.

Der Versuchsträger *RefSens*, abgeleitet von Referenzsensorikprüfstand, verfügt auf dem Fahrzeugdach über einen rotierenden Laserscanner (Velodyne HDL-64) und vier Kameras, die eine 360 Grad Umfelderfassung ermöglichen. Das Konzept dieses Fahrzeugs sieht vor, die genannten Sensoren als Referenz für weitere an das Fahrzeug montierbare Sensoren zu nutzen. Dazu wurden der Laserscanner und die vier Kameras kalibriert und synchronisiert. Dies erlaubt zum Beispiel eine Bewertung der zusätzlich montierten Sensoren gegenüber der Referenz.

Der dritte Versuchsträger *ViL* ist nach dem Vehicle-in-the-Loop Konzept benannt, bei dem ein Fahrer (Proband) oder eine Fahrerin (Probandin) in einem echten Fahrzeug simulierte Szenarien durchfahren kann. Der Proband oder die Probandin fährt hierbei ein echtes Fahrzeug und wird mit einer Brille mit integriertem Bildschirm (engl. Head-Mounted Display) in eine erweiterte Realität (engl. Augmented Reality) oder in eine virtuelle Realität (engl. Virtual Reality) versetzt. Virtuelle Objekte, wie Fahrzeuge, zu Fuß gehende Personen, Straßen, Verkehrsschilder oder Gebäude, können simuliert und in das Blickfeld des Fahrers eingeblendet werden. Tests mit dem *ViL* Prüfstand basieren somit auf realen Fahrversuchen, wobei das Fahrzeugumfeld zum Teil oder vollständig simuliert wird. Die Kopfpose des Fahrers bzw. der Fahrerin wird erfasst, um die simulierten Objekte auf dem Bildschirm der Brille richtig darzustellen. Die Erfassung erfolgt über ein sogenanntes Kopfverfolgungssystem (engl. Head Tracking System), das über einen Sensor die Pose der Brille ermittelt. Dazu wurde der Sensor auf dem Armaturenbrett installiert und eine Kalibrierung durchgeführt. Da der Fahrer bzw.

die Fahrerin bei Versuchen in der virtuellen Realität das reale Umfeld nicht sehen kann, hat der Sicherheitsbeifahrer bzw. die Sicherheitsfahrerin über eine Doppelbedienung („Fahrschulpedalerie“) die Möglichkeit, direkt in die Längsführung einzugreifen.

**Kontinuierliche Integration** Im Projekt Stadtpilot wird das Konzept der *Kontinuierlichen Integration* eingesetzt. Bei Änderung im Software-Repository des Projekts wird der Programmcode automatisch neu erstellt und ausgeführt, um die Entwickelnden (Mitarbeiter, Mitarbeiterinnen und Studierende) auf Fehler und nicht ausführbare Programmmodule aufmerksam zu machen. Zudem wird für jedes Fahrzeug ein spezifisches Paket mit allen nötigen Dateien erstellt, sodass der Entwickler bzw. die Entwicklerin den aktuellen, lauffähigen Stand auf dem eingesetzten Versuchsträger applizieren kann.

Durch die Verwendung der Software-Module von Leonie auf den beiden neuen Versuchsträger und der Implementierung der Ansteuerung der Fahrzeuge durch das Versuchssystem ist es nun möglich, mit demselben Entwicklungsstand die gesamte Fahrzeugflotte automatisiert anzusteuern. RefSens konnte bereits automatisiert am öffentlichen Straßenverkehr teilnehmen und wurde im Rahmen der Abschlussdemonstration des Projekts *Digitaler Knoten 4.0* (Kapitel 10) eingesetzt. Dazu wurde zunächst ein Sicherheitskonzept für den Betrieb des Fahrzeugs entwickelt und umgesetzt sowie von einem Sachverständigen begutachtet. Anschließend erfolgte die Zulassung als Erprobungsfahrzeug, sodass der Versuchsträger in zuvor genannter Abschlussdemonstration eingesetzt werden konnte.

**Umfeldwahrnehmung** Die Versuchsträger verfügen über ein selbst entwickeltes modellbasiertes Umfeldwahrnehmungssystem, welches es den

Fahrzeugen ermöglicht, andere Verkehrsteilnehmer zu erkennen, zu klassifizieren und zu tracken. Hierzu werden in den Laserscans die Bodenpunkte entfernt, die verbleibenden Punkte in Stixel umgewandelt und zu Segmenten zusammengefasst. Für Segmente, die nicht bereits bekannten Objekten oder Objekthypothesen zugeordnet werden können, werden neue Objekthypothesen erstellt. Die Objekthypothesen der verschiedenen Sensoren werden fusioniert, gefiltert und als Objekte in das Umfeldmodell integriert. Dieses Umfeldmodell wird dann an die nachgelagerte Fahrfunktion übergeben und dient ihr als eine Basis für ihre Entscheidungsfindung.

Im vergangenen Jahr wurden die Möglichkeiten der Versuchsträger zur Eigenlokalisierung um eine wahrnehmungsgestützte Lösung erweitert. Diese ermöglicht die genaue Lokalisation des Fahrzeugs innerhalb eines Fahrstreifens und das automatisierte Fahren selbst dann noch, wenn die auf Navigationssatelliten und Inertialsensoren basierende Lokalisation, zum Beispiel durch Verschattungen, soweit degradiert, dass ein automatisiertes Fahren sonst nicht mehr möglich wäre. Das Framework nutzt die degradierte satellitengestützte Position, um sich im ersten Schritt grob innerhalb einer hochgenauen Karte zu positionieren. Ein System zur sensorgestützten Fahrstreifenenerkennung ermöglicht es dem Fahrzeug dann, seine genaue Position durch den Abgleich der wahrgenommenen mit der durch die Karte gegebenen Straßentopologie zu ermitteln. Zurzeit sind hierfür noch gut erkennbare Straßenmarkierungen oder Bordsteine notwendig. Zukünftige Arbeiten zielen daher auf eine Generalisierung des Ansatzes durch eine verbesserte Wahrnehmung ab.

# 6 Wertebasierte Verhaltensentscheidung mit der Daimler und Benz Stiftung

von Susanne Ernst und Marcus Nolte

Ethische Aspekte von Verhaltensentscheidungen werden seit einigen Jahren verstärkt diskutiert, da sie für automatisierte Fahrzeuge über die technologischen Aspekte hinaus eine wichtige Rolle für die gesellschaftliche Akzeptanz spielen.

Gefördert durch die Daimler und Benz Stiftung wurde das Projekt *Wertebasierte Verhaltensentscheidung* im Mai 2016 gestartet, um ethische Aspekte der Verhaltensentscheidung zu untersuchen. Während in der Öffentlichkeit vor allem sogenannte *Dilemmasituationen* mit unvermeidlichem Personenschaden diskutiert wurden, soll in diesem Projekt der Einfluss von ethischen Fragestellungen auf alltägliche Verhaltensentscheidungen im Straßenverkehr betrachtet werden. Dabei steht vor allem die Umsetzung der sich aus der Diskussion ergebenden Ansätze in automatisierten Fahrzeugen im Fokus. Das Projekt ist eng verbunden mit den Forschungsaktivitäten auf demselben Gebiet der Arbeitsgruppe von Chris Gerdes, des Dynamic Design Labs an der Stanford University, die unter anderem durch die Daimler AG unterstützt wurde. Sarah Thornton, ehemalige Mitarbeiterin des Dynamic Design Labs, reichte im Berichtszeitraum ihre Dissertation zum Thema „Autonomous Ve-

hicle Motion Planning with Ethical Considerations“ ein<sup>1</sup>. Zudem soll die Zusammenarbeit zwischen Ingenieurwissenschaften und der Ethik gestärkt werden, um den interdisziplinären Dialog zu ermöglichen. In diesem Kontext war bisher die Ethics and Emerging Sciences Group der California Polytechnic State University San Luis Obispo von Patrick Lin vertreten. Im vergangenen Berichtszeitraum fanden zusätzlich interessante Diskussionen mit Jason Millar von der Universität Ottawa (Kanada) statt, der u.a. an der Schnittstelle zwischen Entwicklern und Entwicklerinnen technischer Systeme und der Auslegung dieser Systeme hinsichtlich einer gesellschaftlichen und ethischen Sichtweise forscht. So bot sich in dem Zuge die Gelegenheit, diese Diskussionen während eines zweitägigen Workshops in Prag zum Thema „Autonomous Vehicle Ethics: Beyond the Trolley Problem“ zu vertiefen, bei dem unter anderem Patrick Lin einen Vortrag zum Bias von Algorithmen hielt.

In den vergangenen Jahren wurden in unserer Arbeitsgruppe Werte identifiziert, die für die Fahrfunktion eines automatisierten Fahrzeugs relevant sind. Diese Werte betreffen das Bedürfnis nach Sicherheit, Mobilität, Komfort sowie die Beachtung der Straßenverkehrsregeln und Gesetze. Aufbauend auf der Identifikation dieser Werte lag der Fokus in diesem Jahr auf der Vorgehensweise, diese Werte in der Verhaltensentscheidung zu berücksichtigen. Dafür wurden Beispielszenarien genutzt, eines davon, unter Annahme einer städtischen Umgebung, ist in Abbildung 6.1 dargestellt. Zu sehen ist das automatisierte Fahrzeug links unten, welches eine Reihe parkender Fahrzeuge passiert. Die parkenden Fahrzeuge verdecken die Sicht auf den Seitenstreifen, ein Fahrzeug

---

<sup>1</sup>SARAH MARIE THORNTON: *Autonomous Vehicle Motion Planning with Ethical Considerations*, Stanford University, Dissertation, 2018. [online] [https://stacks.stanford.edu/file/druid:xf021wy6841/ThorntonSarah\\_thesis\\_final-augmented.pdf](https://stacks.stanford.edu/file/druid:xf021wy6841/ThorntonSarah_thesis_final-augmented.pdf)

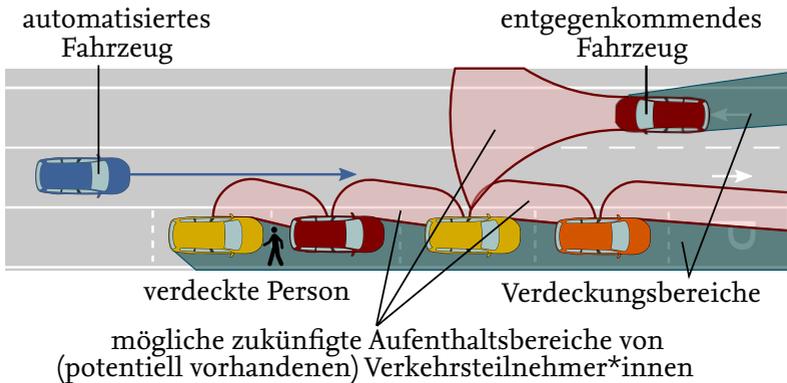


Abbildung 6.1: Beispielszenario, welches für die Diskussion zur Berücksichtigung der vorher identifizierten Werte genutzt wurde.

kommt dem automatisierten Fahrzeug entgegen. Zusätzlich wird der Aktionsbereich des automatisierten Fahrzeugs durch ein entgegenkommendes Fahrzeug auf dem Nachbarfahrstreifen eingeschränkt. Eine über eine Teilstrecke durchgezogene Fahrstreifenbegrenzung verbietet dem automatisierten Fahrzeug zudem, den Fahrstreifen zu wechseln.

Das verwendete Beispielszenario zeigt in kompakter Form viele der Herausforderungen bei der Entwicklung automatisierter Fahrfunktionen. Eine zentrale Herausforderung ist der Umgang mit Unsicherheiten, sowohl im Entwicklungsprozess, als auch in allen Systemteilen zur Laufzeit. Das Beispiel zeigt dies, unter anderem, anhand der eingezeichneten möglichen Aufenthaltsbereiche anderer dynamischer Objekte im Fahrzeugumfeld. Hier werden zwei Typen von Unsicherheit abgebildet: Zum Einen herrscht Unwissen über die nicht einsehbaren Bereiche des Umfelds. Theoretisch könnte aus jeder Lücke zwischen den parkenden Fahrzeugen beispielsweise ein Kind auf die Fahrbahn treten und sich im Rahmen seiner Bewegungsfähigkeiten fortbewegen. Zum Anderen kann sich das entgegenkommende Fahrzeug theoretisch im Rahmen der Fahrdynamik beliebig bewegen und in den unteren Fahrstreifen

eintreten. Unter der Annahme, dass sich das automatisierte Fahrzeug bewegt, besteht im dargestellten Szenario also permanent eine theoretische Kollisionswahrscheinlichkeit (Gefährdung). Gemeinsam mit einer möglichen Verletzung eines Verkehrsteilnehmers im Falle einer solchen Kollision, ergibt sich im technischen Sinne (z.B. auch im Sinne der ISO 26262) ein Risiko.

Dieses Risiko ist zunächst unabhängig davon, ob es sich um ein technisches System oder um einen menschlichen Fahrer handelt – es handelt sich um ein dem Verkehrssystem inhärentes Risiko. Menschliche Fahrer und Fahrerinnen passieren solche Szenarien häufig, ohne ihre Geschwindigkeit anzupassen. Für den Menschen sind die oben beschriebenen Risiken also im Sinne einer Abwägung zwischen Sicherheits- und Mobilitätsbedürfnis offensichtlich akzeptabel.

Das Beispiel zeigt aber genauso, dass auch von einem automatisierten Fahrzeug immer ein Risiko ausgeht. Auch wenn ein computergesteuertes System menschlichen Fahrenden in der Reaktionszeit überlegen ist, hängt das vom technischen System ausgehende Risiko wesentlich davon ab, in wie weit relevante Unsicherheiten im System repräsentiert werden und wie das System damit umgeht. Wie oben erwähnt, treten diese Unsicherheiten von der Auslegung eines automatisierten Fahrzeugs bis hin zum Einsatz des entwickelten Fahrzeugs im öffentlichen Straßenverkehr auf. Systemische Gründe für dieses Risiko sind beispielsweise die unvollständige und schwierige Definition von Anforderungen im Entwicklungsprozess. Funktionale Ursachen für das Risiko ergeben sich, wie am obigen Beispiel diskutiert, aus der Komplexität der vom Fahrzeug zu bewältigenden Situationen und aus den (Mess- und Prädiktions-) Unsicherheiten im Fahrzeugumfeld und im System selbst.

Ein zentraler Teil einer wertebasierten Verhaltensentscheidung für automatisierte Fahrzeuge ist die Repräsentation dieser Unsicherheiten, sowie die Bewertung und Abwägung von Risiken. In dieser Hinsicht wirft das oben beschriebene Szenario u.a. folgende Fragen auf:

- Wie werden verdeckte Bereiche berücksichtigt, in denen sich potentiell Personen aufhalten können?
- Inwieweit muss mögliches Fehlverhalten der zu Fuß gehenden Person bzw. des entgegenkommenden Fahrzeugs antizipiert werden?
- Wie schnell darf ein automatisiertes Fahrzeug an den parkenden Fahrzeugen vorbeifahren?
- Darf die durchgezogene Linie bei genügend Abstand zum entgegenkommenden Fahrzeug überfahren werden, um den Abstand zu einem potentiell vorhanden Kind zu vergrößern?

Die Abwägung zwischen Werten wie z.B. Sicherheit und Mobilität sollte unter diesen Aspekten das extern sichtbare Verhalten des automatisierten Fahrzeugs deutlich beeinflussen. Ein zentraler Punkt ist dabei zunächst die Bewertung der diskutierten Unsicherheiten: Eine maximal konservative Auslegung, die den Wert Sicherheit über allem anderen priorisiert, würde im obigen Beispiel einen Planungsraum auf Basis von Worst-Case-Vorhersagen wählen. Entsprechend würde es vor einer Verdeckung anhalten oder dem vorhergesagten Belegungsgebiet eines potentiell vorhandenen Kinds ausweichen. Im Sinne einer Risikoabwägung unter dem Aspekt der Schadenreduzierung würde eine konservativ ausgelegte Verhaltensentscheidung so beispielsweise auch bei einem im Nachbarfahrstreifen entgegenkommenden Fahrzeug stoppen. In letzter Konsequenz würde vermutlich ein Systemverhalten entstehen, dass den Verkehrsfluss im Vergleich zu menschlichen Fahrenden behindert. Bei

einer höheren Gewichtung des Bedürfnisses nach Mobilität, wären die Worst-Case Vorhersagen immer noch im System repräsentiert. Das System würde jedoch zur Wahl eines Planungsraums höhere (Kollisions-) Risiken zulassen und den Planungsraum somit im Vergleich zu einer konservativen Auslegung vergrößern. In letzter Konsequenz würde ein dynamischeres Verhalten realisiert. Gleichzeitig würde von so einer optimistischeren Konfiguration natürlich ein höheres Risiko ausgehen.

Die oben genannten Fragen und ihr Einfluss auf die vorgenannte Parametrisierung können allerdings immer nur situativ beantwortet werden. So würde das System vermutlich nachts in der Regel eine andere Geschwindigkeit wählen als am Tag. Ebenso wären die gewählten Abstände größer, wenn eher mit dem Auftreten von zu Fuß Gehenden zu rechnen wäre, z.B. in der Nähe einer Schule. Dadurch ergeben sich eine Vielzahl von Verhaltensregeln, welche ohne den Kontext eines Szenarios nicht definiert werden können. Um diese Herausforderung zu adressieren, werden aktuell Konzepte diskutiert, die vom Entwicklungsprozess des Systems bis zur Ausführung der Algorithmen zur Laufzeit reichen. Im Fokus stand dabei die Frage, wie Werte im Entwicklungsprozess identifiziert und formuliert werden können, sodass automatisierte Fahrzeuge möglichst präzise gesellschaftlich erwünschtes Verhalten generieren. Das Ziel ist es, die Werte explizit in der Verhaltensentscheidung zu berücksichtigen, um nachvollziehbare Entscheidungen treffen zu können.

Dieses Jahr wurde uns nochmal sehr deutlich, dass für ein verantwortungsvolles Design automatisierter Fahrzeuge eine gesellschaftliche Diskussion und die Zusammenarbeit von z.B. Ethikerinnen und Ethikern und Ingenieuren und Ingenieurinnen unbedingt nötig ist. Die Anforderungen müssen zusammen mit anderen Disziplinen entwickelt werden, sodass eine Basis für eine breitere gesellschaftliche Akzeptanz geschaffen wird.

# 7 Automatisiertes Fahren im Mischverkehr (AFiM)

von *Susanne Ernst*

Mit der Einführung des automatisierten Fahrens werden maschinell gesteuerte Systeme in den Straßenverkehr integriert und dort mit menschlichen Verkehrsteilnehmern interagieren. Schon heute wird der öffentliche Raum von unterschiedlichen Gruppen genutzt. So teilen sich vor allem zu Fuß gehende Personen, Fahrradfahrende und Fahrzeuge die Straßen und Wege in städtischer Umgebung. Automatisierte Fahrzeuge müssen sich in diesen Mischverkehr harmonisch einfügen und in komplexen Szenarien relevante Randbedingungen berücksichtigen. Laut dem Bericht der Ethikkommission<sup>1</sup> ist die Technologie des automatisierten Fahrens unter anderem nur einzuführen, wenn die Schäden im Vergleich zu der aktuellen menschlichen Fahrleistung im Sinne einer positiven Risikobilanz verringert werden. Daraus lässt sich die Anforderung ableiten, dass die objektive und gefühlte Verkehrssicherheit auf einem gleichwertigen oder höheren Niveau als aktuell liegen muss. Allerdings ist die Frage, wie viel besser ein automatisiertes System im Vergleich zu einem menschlichen Fahrer sein muss, noch nicht abschließend geklärt. Gleichzeitig darf die Mobilität der Verkehrsteilnehmer unter dem Gesichtspunkt der Sicherheit nicht zu stark limitiert werden.

---

<sup>1</sup>BMVI: *BM Dobrindt zum Bericht der Ethik-Kommission zum automatisierten Fahren*, In: BMVI Mobilität, 20.06.2017. [online] [https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/SocialMedia/Youtube/public/2017/06/BM-Dobrindt-zum-Bericht-der-Ethik-Kommission-zum-automatisierten-Fahren\\_vs7URCE6ulg.html](https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/SocialMedia/Youtube/public/2017/06/BM-Dobrindt-zum-Bericht-der-Ethik-Kommission-zum-automatisierten-Fahren_vs7URCE6ulg.html), abgerufen am 15.11.2019

Das Ziel des Forschungsvorhabens ist die Untersuchung und Beurteilung der Wechselwirkung zwischen dem Risiko, welches von der Fahrfunktion automatisierter Fahrzeuge ausgeht, und der Leistungsfähigkeit von typischen innerstädtischen Verkehrsnetzen. Dem Projekt liegt die Forschungshypothese zugrunde, dass die Leistungsfähigkeit des Verkehrssystems maßgeblich von dem Risiko abhängt, das jeder einzelne Akteur im Straßenverkehr auf sich nimmt.

Um Erkenntnisse über diese Wechselwirkung zu erhalten, werden unter anderem die Interaktionen zwischen zu Fuß gehenden Personen, Fahrradfahrenden und (automatisierten) Fahrzeugen im urbanen Mischverkehr analysiert. Zudem soll das Risikoerleben der Passagiere eines automatisierten Fahrzeugs erfasst werden, um damit auf ein von Menschen akzeptiertes Risikolevel aus Nutzersicht zu schließen. Die Idee, diese Zusammenhänge näher zu untersuchen, entstand aus den Diskussionen die innerhalb des Projektes “Wertebasierte Verhaltensentscheidung“ (Kapitel 6) geführt worden sind. Es werden verschiedene Auslegungen des Fahrzeugverhaltens umgesetzt und die Wechselwirkungen mit den unterschiedlichen Verkehrsteilnehmern und dem Verkehrsnetz betrachtet. Gefördert vom Bundesministerium für Verkehr und Infrastruktur (BMVI) und in Zusammenarbeit mit Instituten der Technischen Universität Braunschweig und der Leibniz Universität Hannover werden im Projektzeitraum drei Teilaufgaben betrachtet, die folgende Herausforderungen adressieren:

1. Modellierung von Mischverkehr mit Integration einer automatisierten Fahrfunktion
2. Adaption einer Fahrfunktion eines automatisierten Fahrzeugs zur Variation des resultierenden Risikos

### 3. Analyse und Bewertung von unterschiedlichen Risikograden im Hinblick auf die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems Straßenverkehr

Das Institut für Regelungstechnik beteiligte sich zunächst an der Definition relevanter Szenarien. Dies beinhaltet die Betrachtung von wichtigen Knotenpunkten und Querungen sowie typische kritische Interaktionen, die grundlegendes Gefährdungspotential aufweisen. Der Fokus liegt dabei auf der Identifizierung von Szenarien für die Untersuchung der Leistungsfähigkeit des Verkehrsnetzes auf makroskaler Ebene und des subjektiven Risikos auf mikroskaler Ebene in Abhängigkeit des objektiven Risikos. Für die folgenden Untersuchungen wurde mit der Anpassung der im Projekt Stadtpilot genutzten Fahrfunktion an die Anforderungen der definierten Szenarien begonnen. Dafür wurden unter anderem Parameter in der Fahrfunktion identifiziert und implementiert, die Einfluss auf das von der Fahrfunktion ausgehende Risiko haben. Diese Parameter werden im Anschluss genutzt, um das Risiko, welches durch das automatisierte Fahrzeug in das Verkehrssystem eingebracht wird, zu variieren. Durch diese Variation des Risikos wird eine Änderung der Leistungsfähigkeit des Verkehrssystems erwartet und hat damit einen direkten Einfluss auf die Mobilität jedes einzelnen Verkehrsteilnehmers. Dieser Zusammenhang soll zusammen mit dem Institut für Verkehr und Stadtbauwesen der TU Braunschweig in einer makroskalen Simulationsumgebung untersucht werden.

Darüber hinaus wird die angepasste Fahrfunktion im Versuchsträger "Vehicle-in-the-Loop" (ViL) appliziert, um das subjektive Risiko aus der Sicht der Nutzer mit dem objektiven Risiko zu vergleichen. Dies geschieht mit dem Hintergrund, dass ein programmiertes Verhalten von einer Person an Bord des ViL-Fahrzeugs erlebt und bewertet werden kann. Das ViL-Fahrzeug bietet die Möglichkeit, auch Grenzsituationen

mit sehr geringen Abständen und hohen Geschwindigkeiten gefahrlos in einem echten Fahrzeug mit virtueller Umgebung durchzuführen. Für eine Probandenstudie wird das Szenario aus Abbildung 6.1 genutzt, bei dem das automatisierte Fahrzeug parkende Fahrzeugen passiert, während ein anderer Verkehrsteilnehmer auf dem Nachbarfahrstreifen entgegenkommt. Der Nutzer bzw. die Nutzerin soll verschiedene Auslegungen des Fahrzeugverhaltens erfahren, die durch unterschiedliche Geschwindigkeiten und Abstände zu den verdeckten Bereichen bzw. dem entgegenkommenden Fahrzeug erkennbar sind. Zunächst waren für die im nächsten Jahr geplanten Probandenstudien hardwareseitige Änderungen am ViL-Prüfstand nötig. So wurde Fahrschulpedalerie im Fußraum der Beifahrerseite verbaut und ein zusätzliches Bedienelement zur Auslösung eines Bremsvorgangs im Cockpit angebracht. Darüber hinaus wurde der Verbauort des Headtracking-Systems geändert und an die Anforderungen einer Probandenstudie mit unterschiedlichen Teilnehmenden angepasst. Die Fahrversuche sollen überprüfen, wie sich die Variation des in der Simulation ermittelten Risikos im Realfahrzeug für einen Probanden oder eine Probandin anfühlt und Rückschlüsse auf einen aus Sicht der Insassen akzeptablen Grenzwert erbringen. Um diesen ergonomischen Aspekt mit der notwendigen Expertise zu beleuchten, werden diese Untersuchungen in Zusammenarbeit mit dem Institut für Ingenieur- und Verkehrspsychologie der TU Braunschweig durchgeführt.

# 8 Kooperation mit Volkswagen AG

## 8.1 Umfeldwahrnehmung für automatisierte Fahrzeuge

*von Felix Grün*

Die akkurate, automatisierte Wahrnehmung und Modellierung des Fahrzeugumfelds bildet die Grundlage hochgradig automatisierter Fahrfunktionen. Die Extraktion von semantischen Informationen aus multimodalen Sensordaten in Echtzeit ist ein Schlüssel für die sichere Bewegung im Verkehr. Besondere Herausforderungen ergeben sich hierbei speziell im urbanen Umfeld durch seine komplexe Straßen- und Wegetopologie, seine große Anzahl heterogener Verkehrsteilnehmer und seine Vielfalt an anspruchsvollen Szenarien.

Aufgaben, welche menschliche Fahrerinnen und Fahrer mühelos bewältigen, stellen die Technik vor große Hürden, insbesondere wenn die Lösung ein semantisches Verständnis erfordert, welches sich nicht oder nur sehr schwer durch mathematische Regeln und Algorithmen in modellbasierten Ansätzen beschreiben lässt. Ein häufig im realen Stadtverkehr anzutreffendes Beispiel ist die Erkennung von zu Fuß gehenden Personen, welche am Straßenrand sehr nah an oder zwischen parkenden Autos stehen. Menschliche Fahrerinnen und Fahrer können diese besonders schützenswerten Verkehrsteilnehmerinnen und Verkehrsteilnehmer selbst hinter großflächigen Verdeckungen erkennen und klar von den weit weniger risikobehafteten parkenden Autos abgrenzen.

Menschen sind außerdem problemlos in der Lage, eine gegebenenfalls bestehende Querungszuweisung abzuleiten und ihr Fahrverhalten entsprechend anzupassen. Dies auf der technischen Seite mit geometrischen Modellen für die Erkennung von zu Fuß gehenden Personen nachzubilden, ist nahezu unmöglich. Für solche Aufgaben ist ein semantisches Verständnis des Gesehenen erforderlich. Als Werkzeug für diese semantische Interpretation haben tiefe künstliche neuronale Netze – das sogenannte Deep Learning – in den vergangenen Jahren große Fortschritte gemacht und ermöglichen die Erfüllung bisher unerfüllbarer Anforderungen. Gleichwohl haben auch modellbasierte Ansätze ihre Vorteile insbesondere im Bereich der Absicherung, der Erkennung strukturierter Objekte und der Laufzeit.

Um die sichere Bewegung automatisierter Fahrzeuge in anspruchsvollen Szenarien zu ermöglichen, werden daher im Rahmen einer Kooperation mit der Volkswagen AG Methoden zur Fusion modellbasierter und lernender Algorithmen für die Erkennung und Klassifizierung beweglicher Objekte im innerstädtischen Bereich erforscht. Das Ziel der Zusammenarbeit ist es, Algorithmen zur möglichst vollständigen Erfassung und Repräsentation des beweglichen Fahrzeugumfelds basierend auf den räumlich und zeitlich fusionierten Daten mehrerer 3D-Laserscanner zu entwickeln. Hierzu werden geometrische Eigenschaften mit durch Deep Learning gewonnenen semantischen Informationen verschmolzen, um die möglichst verlässliche Erkennung aller Verkehrsteilnehmerinnen und Verkehrsteilnehmer zu ermöglichen. Dies erlaubt es dem Fahrzeug, die Stärken von lernenden und regelbasierten Ansätzen zu nutzen, um kontinuierlich ein lückenarmes Abbild des Fahrzeugumfelds zu generieren.

## 8.2 Systematische Szenariengenerierung

*von Till Menzel*

Mit der Einführung von Fahrfunktionen höherer Automatisierungsgrade (SAE Level 3+) steht nicht mehr durchgängig ein Fahrer beziehungsweise eine Fahrerin als Rückfallebene zur Verfügung. Dies stellt einen Paradigmenwechsel dar, der sicherheitskritische Anforderungen an die Diagnosefähigkeiten sowie die Absicherung automatisierter Fahrzeuge stellt. Zusätzlich nimmt aufgrund des steigenden Automatisierungsgrades der Fahrfunktionen die Komplexität der Systeme in Bezug auf ihre Hard- und Softwarekomponenten zu. Aus diesen Gründen sind bisherige Ansätze zur Definition und zum Nachweis eines zu erreichenden Sicherheitsniveaus der Fahrfunktion nicht mehr ökonomisch anwendbar. Eine vielversprechende Alternative stellt ein szenarienbasierter Ansatz dar. Hierzu müssen die Betriebsszenarien des Entwicklungsgegenstandes systematisch identifiziert und nachvollziehbar entlang des Entwicklungsprozesses detailliert und variiert werden.

Während der erfolgreichen Zusammenarbeit in Unteraufträgen mit der Volkswagen AG, der AUDI AG und der Bosch GmbH im Rahmen des Projektes PEGASUS hat das Institut für Regelungstechnik einen mehrstufigen Prozess zur automatisierten Erstellung von Szenarien auf deutschen Autobahnen erarbeitet und prototypisch umgesetzt. Hierzu hat das Institut für Regelungstechnik im ersten Schritt Wissen über die Einsatzdomäne Autobahn mithilfe einer Ontologie formalisiert. Dieses Wissen wird genutzt, um automatisiert sprachlich beschriebene Szenarien zu generieren. Im zweiten Schritt werden die sprachlich beschriebenen Szenarien in eine Parameterraumdarstellung überführt und auf diese Weise detailliert. Hierzu wird für jedes Element der sprachlich beschriebenen Szenarien ein Satz von Parametern spezifiziert. Anschließend wird die Parameterraumdarstellung in die Formate

für die Szenariodurchführung in der Simulation konvertiert und einzuhaltende Parameterbedingungen werden dokumentiert. Diese Szenariobeschreibung inklusive Parameterbedingungen kann als Startpunkt für die weitere Exploration des Testraumes, beispielsweise mithilfe evolutionärer Algorithmen, genutzt werden.

Im Rahmen der Zusammenarbeit mit der Volkswagen AG überträgt das Institut für Regelungstechnik das während des Projekts PEGASUS entwickelte Vorgehen auf den Anwendungsfall urbane Kreuzung. Hierbei ergeben sich zwei wesentliche Herausforderungen. Zum einen steigt aufgrund der weniger strukturierten Umgebung die Komplexität des Anwendungsfalls. Dies äußert sich beispielsweise durch eine Vielzahl zusätzlicher Szenarioelemente und Beziehungen zwischen den Elementen, die in der Wissensbasis modelliert werden müssen. Zum anderen muss die Methodik der Szenarienerstellung aufgrund der steigenden Komplexität des Anwendungsfalls erweitert werden. Konsequenterweise soll auch für den Schritt der Szenariendetaillierung eine Wissensbasis genutzt werden, um Abhängigkeiten zwischen Szenarioparametern zu identifizieren und zu dokumentieren.

Im Berichtszeitraum lag der Schwerpunkt des Instituts für Regelungstechnik auf der Erstellung eines Vokabulars zur Beschreibung urbaner Szenarien. Hierzu hat das Institut für Regelungstechnik Normen und Richtlinien, wie die Richtlinien zur Anlage von Stadtstraßen, analysiert und ein Vokabular zur Beschreibung der Straßentopologie und Straßengeometrie abgeleitet.

# 9 Kooperation mit WABCO – Automatisierung von Arbeitsabläufen auf Betriebshöfen

*von Robert Graubohm*

Im Gemeinschaftsprojekt mit der WABCO GmbH werden Untersuchungen zur Automatisierung schwerer Nutzfahrzeuge durchgeführt. Entwicklungsziel ist die fahrerlose Ausführung langsamer Fahrmanöver, die klassischerweise auf Betriebshöfen notwendig sind. Aktuell kommt es während anspruchsvoller Rangieraufgaben in unübersichtlichem oder unbekanntem Umfeld häufig zu beachtlichen Rangierschäden. Darüber hinaus erfordern Rückwärtsfahrten eine weitere Hilfsperson, sofern die Gefährdungsfreiheit durch den Fahrzeugführenden nicht sichergestellt werden kann. Die Ausführung der Fahraufgabe durch Berufskraftfahrerinnen und -fahrer kann außerdem unwirtschaftlich sein, wenn das Rangieren auf Betriebshöfen – zum Beispiel durch ablaufbedingte Wartezeiten – mit längerem Stillstand verbunden ist.

Am Institut für Regelungstechnik wird ein Sicherheitskonzept erarbeitet, das systematische und zufällige Fehler während der Ausführung fahrerloser Operationen durch ein Nutzfahrzeug adressiert. Zusätzlich erfolgen Untersuchungen von Sensorsystemen zur Umfeldwahrnehmung sowie von Wahrnehmungsalgorithmen für Rangier- und Parkaufgaben. Außerdem wird die Anforderungsanalyse als Teil des Entwicklungsprozesses automatisierter Fahrfunktionen für spezielle Einsatzumgebungen erforscht.

Motiviert durch Sicherheitsaspekte wurde im Berichtszeitraum insbesondere die Anforderungsdefinition an das entwickelte System weiterverfolgt. Auf Grundlage einer umfassenden Analyse von Gesetzen und Normen wurden in Verbindung mit Vorarbeiten Sicherheitsanforderungen und spezifische Prüfkriterien in Hinblick auf eine Freigabe fahrerlosen Fahrens auf einem Betriebshof identifiziert. Ein wichtiger Aspekt ist hierbei das Ziel, automatisches Fahren mit Nutzfahrzeugen mit Straßenzulassung zu realisieren. Maßnahmen zur Gefährdungsvermeidung dürfen entsprechend den regulären manuellen Betrieb im öffentlichen Straßenverkehr nicht ausschließen. Allerdings können Anforderungen für die Durchführung fahrerloser Operationen auch die Infrastruktur der Betriebshöfe betreffen. Ergebnisse dieser gemeinsamen Studie sind in einem Konferenzbeitrag wiedergegeben<sup>1</sup>.

Darüber hinaus erfolgte im vergangenen Jahr eine prototypische Realisierung des Sicherheitskonzepts für die automatische Vorwärtsfahrt auf einem Betriebshof. Damit können spezifizierte Testfälle mit einem Nutzfahrzeugversuchsträger durchlaufen und die Robustheit von Hardware- und Softwarekomponenten evaluiert werden. Das Erreichen notwendiger Integritätsniveaus für sicherheitsrelevante Fahrzeugfunktionen stellt weiterhin auch in begrenzten Einsatzumgebungen eine zentrale Herausforderung dar.

---

<sup>1</sup>WULF, O.; SABELHAUS, D.; GRAUBOHM, R.: Sicherheitsanforderungen für das automatische Fahren auf Betriebshöfen. In: *9. Tagung Automatisiertes Fahren*. Deutschland : Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik mit TÜV SÜD Akademie, 2019

# 10 Digitaler Knoten 4.0

von Jan Timo Wendler, Susanne Ernst, Felix Grün und Jan Richelmann

Die Automatisierung und Vernetzung des Straßenverkehrs könnte in der Zukunft großes Potential für die Steigerung der Leistungsfähigkeit und der Sicherheit des Verkehrsnetzes bieten. Mit Hilfe des Austausches von Informationen zwischen Verkehrsteilnehmern und der Infrastruktur, der adaptiven Koordination des Verkehrsflusses und einer (von extern) organisierten Kooperation können Handlungsspielräume eröffnet werden, die für die Mobilität von Morgen eine nicht unerhebliche Rolle spielen können.

Innerhalb des Projekts *Digitaler Knoten 4.0*, gefördert vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, wurde in der Laufzeit 12/2016 bis 05/2019 die „digitale Straßenkreuzung“ als kooperatives Gesamtsystem untersucht. Dabei wurde Kooperation zwischen einzelnen Fahrzeugen und einer infrastrukturseitigen Schnittstelle in Form von Informationsaustausch und der Koordination der einzelnen Verkehrsteilnehmer genutzt. Ziel war es, die Möglichkeiten der Steuerung von Mischverkehr an Kreuzungen zu bewerten. In ausgewählten Szenarien sollten neben automatisiert fahrenden und manuell gesteuerten Fahrzeugen auch ungeschützte Verkehrsteilnehmerinnen und Verkehrsteilnehmer (zu Fuß gehende Personen und Radfahrende) betrachtet werden.

Konzepte und Methoden zum Datenaustausch, die Entwicklung von kooperativen, vernetzten Fahrzeugfunktionen und mögliche Optimierungsstrategien des Verkehrs wurden zusammen mit den Projektpartnern aus der Industrie (AVL Software & Functions GmbH, NORDSYS GmbH, OECON Products & Services GmbH, OFFIS e. V., Schlothauer &

Wauer GmbH, Volkswagen AG) und den Forschungseinrichtungen des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt und der Technischen Universität Braunschweig betrachtet und auf abschließenden Demonstrationen an ausgewählten Kreuzungen in Braunschweig gezeigt.

Das Institut für Regelungstechnik beteiligte sich unter anderem an der Szenariendefinition, der Ableitung der daraus resultierenden Anforderungen und der Entwicklung von Kooperationskonzepten. Außerdem stellte das Institut seine Versuchsträger „Leonie“ und „RefSens“ mit angepasster Umfeldwahrnehmung und der im Projekt Stadtpilot genutzten Fahrfunktion zur Verfügung. Mit den Fahrzeugen wurde an dem Abschlussevent des Projekts *Digitaler Knoten 4.0* erfolgreich der Anwendungsfall der Vorsortierung und Vorsignalisierung (Abbildung 10.1) und der zeitlich getrennten Nutzung der Straßenkreuzung im Realverkehr einem interessierten Publikum gezeigt. Der genannte Anwendungsfall wurde am Tostmannplatz (Abbildung 10.2) in Braunschweig umgesetzt.

Von Norden kommend wurde der Verkehr ab April 2019 etwa 100 Meter vor der Kreuzung vorsortiert, indem der linke Fahrstreifen durch Verkehrszeichen nur für automatisierte Fahrzeuge freigegeben wurde. Durch eine Vorsignalisierung 50 Meter vor der eigentlichen Kreuzung wurden manuell gesteuerte Fahrzeuge und die automatisierten Fahrzeuge zeitlich getrennt in den Kreuzungsbereich geführt (Abbildung 10.3). Die Signalpläne der Verkehrskreuzung und der Vorsignalisierung wurden entsprechend für die Erprobung bis zur Demonstration im Rahmen des Abschlussevents des Projekts am 23. Mai 2019 angepasst.

Die Versuchsträger wurden mit Kommunikationsmodulen der NORDSYS GmbH ausgestattet, um einen Informationsaustausch mit der Infrastruktur zu ermöglichen. Die über diese Schnittstelle empfangenen relevanten Informationen wurden in das Softwareframework der Versuchsträger eingebunden. Außerdem wurde die bestehende Um-



Abbildung 10.1: Versuchsträger Referenzsensorik („RefSens“) des Instituts für Regelungstechnik bei der Anfahrt auf die Kreuzung am Tostmannplatz im Bereich der Vorsortierung (auf dem rechten Fahrstreifen: manuell gesteuerte Fahrzeuge, auf dem linken Fahrstreifen: automatisierte Fahrzeuge)

feldwahrnehmung des Projekts Stadtpilot im Hinblick auf das reale Kreuzungsszenario erweitert.

Eine Herausforderung war die ungenaue Positionsbestimmung des Fahrzeugs aufgrund des schlechten GPS-Empfangs während der Anfahrt auf die Kreuzung beziehungsweise Vorsortierung und Vorsignalisierung. Durch die Integration der Wahrnehmung von Fahrstreifen konnte die Positionierung unterstützt und die Demonstration erfolgreich vorgeführt werden.

Abschließend möchte das Institut für Regelungstechnik allen Projektbeteiligten für die erfolgreiche Zusammenarbeit sowie dem Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur für die Bewilligung des Projekts danken.

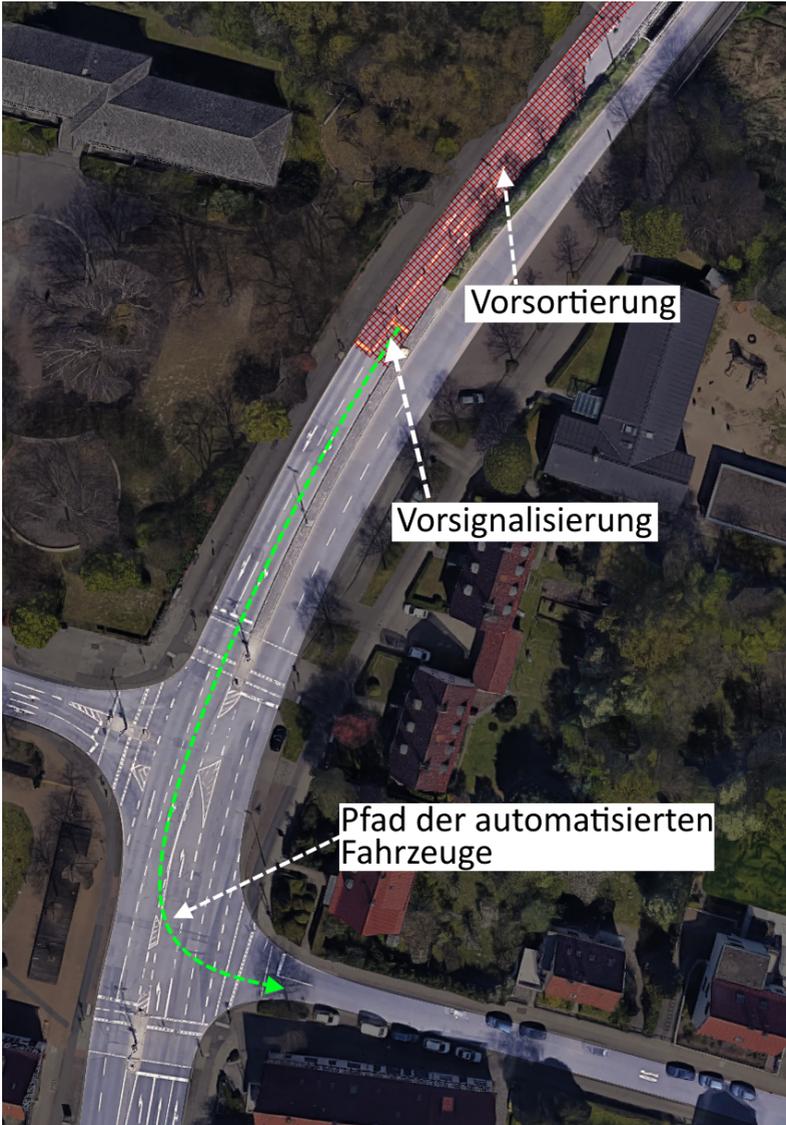


Abbildung 10.2: Kreuzung am Tostmannplatz mit Vorsortierung und Vorsignalisierung sowie dem Pfad der automatisierten Fahrzeuge



Abbildung 10.3: Vorsignalisierung an der Kreuzung am Tostmannplatz: die vorsortierten manuell gesteuerten Fahrzeuge auf dem rechten Fahrstreifen dürfen sich entsprechend der Vorsignalisierung der Kreuzung nähern (Ampel rechts: grün) während die automatisierten Fahrzeuge auf dem linken Fahrstreifen warten müssen (Ampel links: rot)



# 11 Elderly People Intersection Crossing Assist (EPICa)

*von Jan Richelmann*

Im Rahmen des vom Land Niedersachsen geförderten Projekts EPICa (Elderly People Intersection Crossing Assist) soll ein Kreuzungsassistent für ältere und körperlich beeinträchtigte Fahrer prototypisch entwickelt werden. Für diese Personengruppen stellen insbesondere innerstädtische Kreuzungen eine erhebliche Herausforderung im Straßenverkehr da. Mit Hilfe von automatisierten Fahrfunktionen sollen menschliche Fahrer entlastet und somit ihre individuelle Mobilität aufrechterhalten werden. Für die Entwicklung eines geeigneten Systems innerhalb dieses Projekts wird auf die im Rahmen des Projekts Stadtpilot gewonnenen Erfahrungen und Erkenntnisse aufgebaut.

Innerhalb des Projekts werden Funktionen entwickelt, die dem Fahrer bzw. der Fahrerin unterschiedliche Unterstützungsgrade zur Verfügung stellen. Diese reichen von einer automatisierten Fahrstreifenwahl bei der Anfahrt auf eine Kreuzung bis hin zum automatisierten Linksabbiegen bei Gegenverkehr. Im Verlauf des letzten Jahres wurde die Fahrfunktion des automatisierten Fahrzeugs für das automatisierte Durchfahren einer Kreuzung mit Querverkehr erweitert. Der Fahrer bzw. die Fahrerin hat die Möglichkeit, die Fahraufgabe zeitweise dem entwickelten System zu übertragen. Das Fahrzeug kann den menschlichen Fahrer bzw. die menschliche Fahrerin dann zum Beispiel unterstützen, indem es bei der Anfahrt auf die Kreuzung automatisiert auf den richtigen Fahrstreifen wechselt und die Kreuzung automatisiert passiert. Im Rahmen des Projekts soll dies anhand des Vehicle-In-The-Loop Prüfstands in einer simulierten Umgebung demonstriert werden.

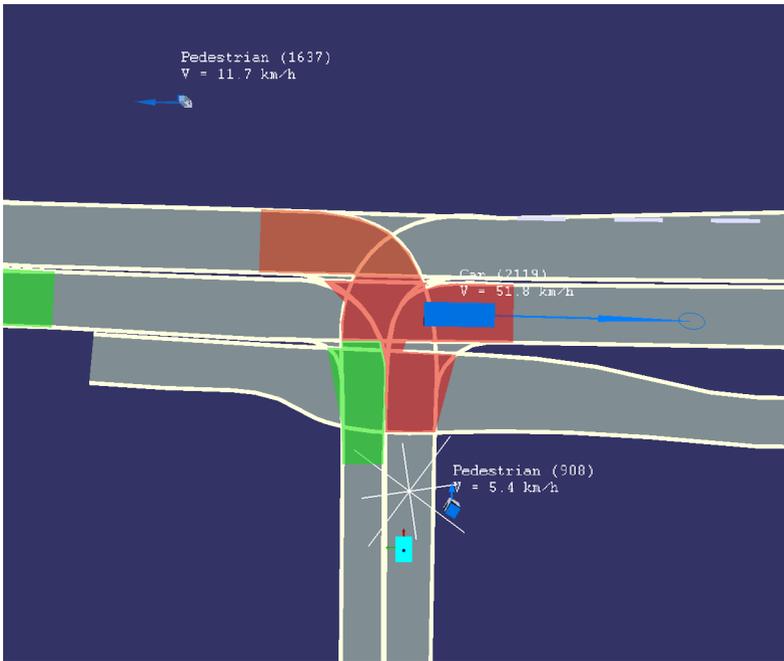


Abbildung 11.1: Ausschnitt aus dem Umfeldmodell des automatisierten Fahrzeugs. Von unten nähert sich das automatisierte Fahrzeug einer querenden Vorfahrtstraße, auf der ein weiteres Fahrzeug von links nach rechts fährt. Die Zielpose (sternförmiges Kreuz) des automatisierten Fahrzeugs wird daher vor der Kreuzung gesetzt.

Zum Erreichen dieser Ziele wurde im Berichtszeitraum die Umfeldmodellierung der automatisierten Fahrfunktion erweitert. In den Gebieten, in denen sich unterschiedliche Fahrstreifen überschneiden, entstehen Konfliktbereiche, in denen es zu Kollisionen mit anderen Verkehrsteilnehmern kommen kann. Diese Bereiche wurden daher im Umfeldmodell des Fahrzeugs explizit repräsentiert. Andere Fahrzeuge können somit in Bezug auf die Konfliktbereiche prädiziert und in der Verhaltensentscheidung des automatisierten Fahrzeugs berücksichtigt werden.

Abbildung 11.1 zeigt einen Ausschnitt aus dem Umfeldmodell des automatisierten Fahrzeugs. Zu sehen ist das automatisierte Fahrzeug (unten im Bild), welches auf eine Vorfahrtstraße einfahren möchte. Dort befindet sich jedoch ein weiteres Fahrzeug, welches in dem hier dargestellten Ausschnitt von links nach rechts fährt. Da dieses Fahrzeug Vorfahrt vor dem automatisierten Fahrzeug hat, wird mithilfe der Konfliktbereiche die gewünschte Zielposition des automatisierten Fahrzeugs berechnet und vor die Einmündung gesetzt (sternförmiges Kreuz vor dem automatisierten Fahrzeug). Das automatisierte Fahrzeug wartet daher an dieser Position, bis die Vorfahrtstraße passiert werden darf.



# 12 UNICARagil

*von Inga Jatzkowski, Torben Stolte, Tobias Schröder und Robert Graubohm*

Im Februar 2018 startete das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) mit rund 26 Millionen Euro geförderte Projekt UNICARagil. Im Rahmen des Projekts werden auf Basis der interdisziplinären Expertise der im Bereich Fahrzeugautomatisierung führenden deutschen Universitäten aktuelle und kommende Herausforderungen in der Entwicklung automatisierter Fahrzeuge adressiert. Das Konsortium besteht aus acht Universitäten sowie sechs Industriepartnern. Auf universitärer Seite sind die RWTH Aachen als Konsortialführer, die TU Braunschweig mit den Instituten für Regelungstechnik sowie für Datentechnik und Kommunikationsnetze, die TU Darmstadt, das Karlsruher Institut für Technologie, die TU München, die Universität Stuttgart, die Universität Ulm und die Universität Passau beteiligt. Als Industriepartner sind die Atlatec GmbH, die flyXdrive GmbH, die iMAR Navigation GmbH, die IPG Automotive GmbH, die Schaeffler Technologies AG & Co. KG und die Vires Simulationstechnologie GmbH vertreten.

Das wesentliche Projektziel ist die Entwicklung und Demonstration von vier Fahrzeugprototypen, die unterschiedliche Anwendungsfälle zukünftiger automatisierter Fahrzeuge darstellen:

- *autoTAXI*: Automatisiertes Taxi
- *autoELF*: Automatisiertes Fahrzeug im Besitz einer Familie, das generationsübergreifenden Anforderungen gerecht wird
- *autoCARGO*: Lieferfahrzeug inklusive der notwendigen Handhabungstechnik, das automatisiert Pakete ausliefert

- *autoSHUTTLE*: Automatisiertes Fahrzeug für den Personennahverkehr

Die Basis der Fahrzeuge bildet eine modulare Plattform, welche in *UNICARagil* mit zwei unterschiedlichen Radständen realisiert wird. Bei der Entwicklung liegt ein Fokus auf der Verwendung möglichst vieler gleicher Komponenten und Funktionen. Zu diesen gehören unter anderem zwei Besonderheiten der Fahrzeuge: Vier Dynamikmodule, die bis zu  $90^\circ$  Lenkwinkel ermöglichen, sowie die einzelnen funktionalen Module der Fahrfunktion. Letztere bilden die gesamte Verarbeitungskette von der maschinellen Wahrnehmung bis zu den Fahrzeugaktoren ab. Die maschinelle Umfeldwahrnehmung wird mit vier Sensormodulen an den Ecken des Fahrzeugs realisiert, die Radar-, Lidar- und Kamerasensoren kombinieren. Eine Skizze des Gesamtkonzepts ist in Abbildung 12.1 dargestellt.

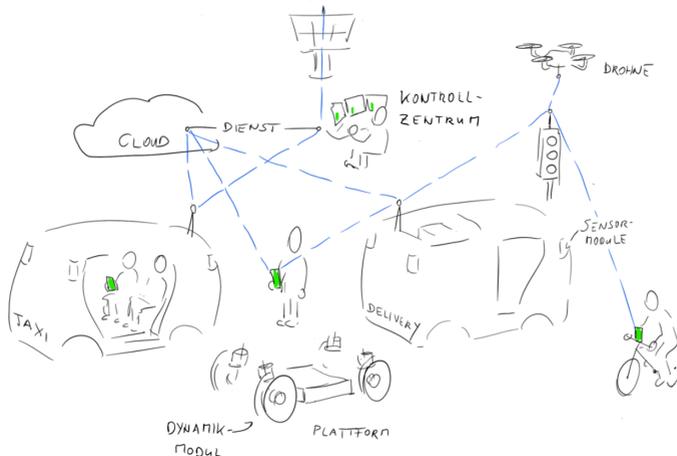


Abbildung 12.1: Skizze des Gesamtkonzepts des Projekts *UNICARagil* ©ika, Eckstein

Die Projektumfänge des Instituts für Regelungstechnik sind in zwei wesentliche Bereiche unterteilt. Der erste Bereich umfasst die Entwicklung des Fahrzeugs im Anwendungsfall *autoELF*.

Bei der *autoELF* handelt es sich um ein **automatisiertes Fahrzeug im Familienbesitz**. Bei der Konzipierung des Fahrzeugs wird das Ziel verfolgt, die selbstständige Nutzung durch Familienmitglieder zu ermöglichen, die bei der Nutzung eines konventionellen Pkw auf die Hilfe einer Begleitperson angewiesen sind. Neben Kindern umfasst dies beispielsweise ältere Personen und Personen mit körperlichen Einschränkungen. Auf diese Weise profitieren nicht allein die Passagiere von der realisierten Mobilität, sondern auch Angehörige, für die bisher erforderliche Fahrten zum Zweck der Begleitung entfallen.

Nach der konzeptionellen Ausrichtung des Fahrzeugs im ersten Projektjahr wurde im Jahr 2019 die prototypische Entwicklung vorangetrieben. Dies umfasste neben der Darstellung der erforderlichen Funktionalitäten unter Berücksichtigung der gegebenen Rahmenbedingungen auch die Gestaltung eines wohnlich anmutenden Fahrzeuginterieurs. Abbildung 12.2 gibt einen Eindruck einer möglichen Realisierung.

Die Fertigstellung der Prototypen wird für das Jahr 2021 angestrebt. Daran schließt sich eine Erprobungsphase an. Spätestens bis zum Ende des Projektes Anfang 2022 soll die *autoELF* zusammen mit den drei anderen UNICAR*agil*-Fahrzeugen der Öffentlichkeit präsentiert werden und einen Ausblick auf den Individual- und Lieferverkehr der Zukunft geben.

Der zweite am Institut für Regelungstechnik betrachtete Bereich ist die **Sicherheit** der Fahrzeuge. Der Schwerpunkt liegt auf der Entwicklung eines Sicherheitskonzepts für die automatisierte Fahrfunktion. Die Betrachtungen gehen aufbauend auf den Erfahrungen aus dem Projekt



Abbildung 12.2: Entwurf des Innenraums eines autonomen Familienfahrzeugs, gestaltet von Gabriel Salewski (fka) in Zusammenarbeit mit mehreren Design-Studenten

aFAS über den Fokus der „Funktionalen Sicherheit“ der ISO 26262 hinaus. Zentrale Herausforderungen liegen in den inhärenten Unsicherheiten des automatisierten Fahrens, die aus der Umfeldwahrnehmung, der Prädiktion des Verhaltens anderer Verkehrsteilnehmer, unvollständigen Anforderungen sowie einer begrenzten Testtiefe stammen. Einen wesentlichen Beitrag zum geplanten Sicherheitskonzept liefert die Selbstwahrnehmung, in der über eine Aggregation von Qualitätsmaßen der einzelnen Systemkomponenten die aktuellen Fähigkeiten des Fahrzeugs ermittelt werden sollen. Diese kann anschließend von anderen Systemkomponenten genutzt werden, um das Fahrzeugverhalten an die aktuellen Fähigkeiten des Fahrzeugs anzupassen.

Für das Sicherheitskonzept werden, ausgehend von einem Pflichten- und Lastenheft und einer Item Definition, ausgewählte repräsentative

tive Szenarien betrachtet. Die Item Definition wurde in Anlehnung an die ISO 26262 erstellt und wird kontinuierlich im Projektverlauf weiterentwickelt. Für die Szenarien wird in einem ersten Schritt das Sollverhalten definiert, das als sicheres Verhalten angenommen werden kann. Anschließend wird in den jeweiligen Szenarien mögliches unsicheres Verhalten betrachtet. Dieses kann zum einen hinsichtlich des davon ausgehenden Risikos bewertet werden und zum anderen können Ursachen für das Verhalten im System identifiziert werden. Mit Hilfe dieser identifizierten Ursachen wird anschließend das Sicherheitskonzept entwickelt. Komplementär dazu erfolgt bei den Projektpartnern die Entwicklung von technischen Sicherheitskonzepten auf Komponentenebene, sodass in einem weiteren Schritt der Abgleich zwischen den Top-down- und Bottom-up-Analysen erfolgen kann, um die Konzepte zu verfeinern. Darüber hinaus vervollständigen Analysen zur Interaktion zwischen Mensch und Fahrzeug, zur passiven Sicherheit sowie zur IT-Security die ganzheitliche Sicherheitsbetrachtung in UNICAR*agil*.

Im aktuellen Berichtszeitraum lag der Fokus der Sicherheitsaktivitäten auf der Generierung eines zusammenhängenden Systemverständnisses. Dafür wurde zum einen die Item Definition für die automatisierte Fahrfunktion in Anlehnung an die ISO 26262 erstellt und mit den Projektkolleginnen und -kollegen diskutiert. Zum anderen erfolgte eine Modellierung der Automatisierung aus einer systemtheoretischen Perspektive. Das erstellte Modell dient als Grundlage für das systematische Ableiten von Sicherheitsanforderungen. Im kommenden Jahr erfolgt die Weiterentwicklung der zu Projektbeginn erstellten Sicherheitsbetrachtungen in Richtung einer Weiterentwicklung der Gefährdungsanalyse und Risikobewertung sowie eines durchgängigen Sicherheitskonzepts.

Im Rahmen der Selbstwahrnehmung lag der Fokus im aktuellen Berichtszeitraum in der Ausgestaltung der Schnittstellen zu den einzelnen

Komponenten der Fahrfunktion sowie der Leitwarte. Diesbezüglich wurde die Modellierung der zur Erfüllung der automatisierten Fahraufgabe nötigen Fahrzeugfertigkeiten weiterverfolgt. In Workshops und bilateralen Gesprächen wurden besonders auf Seiten der Umfeldwahrnehmung erste aussagekräftige Qualitätsmetriken für eine spätere Aggregation innerhalb der Selbstwahrnehmung erarbeitet. Mit den Partnern vom Karlsruher Institut für Technologie wurden erste Möglichkeiten zur Nutzung der Ergebnisse aus der Selbstwahrnehmung in der Verhaltensentscheidung und Trajektorienplanung diskutiert. Ziel ist es hierbei, dass auf eine Degradation beispielsweise auf Seiten der Sensorik oder Aktorik innerhalb der Verhaltensentscheidung reagiert werden kann, indem das Fahrzeugverhalten an die geänderten Fähigkeiten des Fahrzeugs angepasst wird. So soll die Verfügbarkeit des Fahrzeugs erhöht werden, ohne dabei Sicherheitseinbußen hinnehmen zu müssen. Mit den Partnern der TU München wurde die Nutzung der Selbstwahrnehmung in der Leitwarte erarbeitet, um dort den Operator bzw. die Operatorin zu unterstützen, wenn die Steuerung des Fahrzeugs übernommen werden muss. Mit den Kollegen der RWTH Aachen und der Universität Ulm wurde zudem eine erste Version einer Ablaufsteuerung für die Fahrzeuge erstellt, welche das Umschalten zwischen den einzelnen Betriebsmodi der Fahrzeuge ermöglicht.

Insgesamt empfinden wir die Zusammenarbeit im Projekt als sehr eng, vertrauensvoll und konstruktiv. Dies zeigte sich vor allem auf den zahlreichen Treffen (siehe Tabelle 12.1) und den unzähligen Telefonaten während des Berichtszeitraum.

<b>Datum</b>	<b>Anlass</b>	<b>Teilnehmende</b>
11.10.2018	Auftaktveranstaltung zur Exterieurgestaltung in München	Tobias Schröder
23.10.2018 – 24.10.2018	Architektur-Workshop in Darmstadt	Inga Jatzkowski, Marcus Nolte, Torben Stolte
05.12.2018 – 06.12.2018	Konsortialtreffen in Berlin	Markus Maurer, Robert Graubohm, Inga Jatzkowski, Tobias Schröder, Torben Stolte
10.01.2019	Absprache zu Entwicklungsumfängen im Fahrzeuginnenraum in München	Tobias Schröder
26.02.2019 – 27.02.2019	Konsortialtreffen in Darmstadt	Markus Maurer, Inga Jatzkowski, Tobias Schröder, Torben Stolte
20.05.2019 – 22.05.2019	Konsortialtreffen in Günzburg	Markus Maurer, Inga Jatzkowski, Tobias Schröder, Torben Stolte
02.09.2019	Beiratstreffen in Bonn	Torben Stolte
30.09.2019 – 01.10.2019	Konsortialtreffen in Stuttgart	Inga Jatzkowski, Tobias Schröder, Torben Stolte

Tabelle 12.1: Treffen innerhalb des Projekts UNICAR*agil*

Die Arbeitsgruppe Elektronische Fahrzeugsysteme möchte an dieser Stelle dem Bundesministerium für Bildung und Forschung für die Förderung des Vorhabens danken und allen Projektpartnern eine weiterhin gute Zusammenarbeit wünschen.



# 13 Szenarienbasierter Test- und Freigabeprozess

*von Till Menzel*

Bei aktuell am Markt erhältlichen Fahrzeugführungssystemen ist die Fahrerin beziehungsweise der Fahrer zu jeder Zeit für die Überwachung der Systeme und somit für die Fahraufgabe verantwortlich. Zukünftig soll diese Verantwortung von hochautomatisierten Fahrfunktionen (SAE Level 3+) übernommen werden, sodass der Fahrer beziehungsweise die Fahrerin vollständig von der Überwachung der Systeme entbunden wird. Für die Freigabe hochautomatisierter Fahrfunktionen legt dieser Wechsel der Verantwortung einen Vergleich der Güte menschlicher Fahrerinnen beziehungsweise Fahrer und automatisierter Fahrzeugführungssysteme nahe. Für diesen Vergleich werden Metriken und Methoden benötigt, um die menschliche Leistungsfähigkeit im Straßenverkehr zu bewerten und so Anforderungen an die Güte automatisierter Fahrfunktionen abzuleiten.

Zeitgleich erhöht sich mit steigendem Automatisierungsgrad die Komplexität der Systeme in Bezug auf die Anzahl der Hard- und Softwarekomponenten. Daher müssen für die Freigabe hochautomatisierter Fahrzeugführungssysteme effiziente Testprozesse und Testmethoden entwickelt werden, um die geforderte Leistungsfähigkeit der Systeme nachweisen zu können. Aktuelle Prozesse und Methoden sind aufgrund ihrer hohen Zeit- und Kostenintensität nur mit großem Aufwand anwendbar.

Die dargestellten Herausforderungen werden im Forschungsprojekt PEGASUS<sup>1</sup> mithilfe zweier Forschungsfragen zusammengefasst:

- Mit welcher Güte muss ein automatisiertes Fahrzeug die Fahraufgabe ausführen?
- Wie kann diese Güte nachgewiesen werden?

Aufbauend auf den Vorarbeiten von Fabian Schuldt<sup>2</sup> untersucht das Projektkonsortium einen szenarienbasierten Test- und Freigabeprozess. Hierzu sollen die Betriebsszenarien der betrachteten Fahrfunktion Autobahn-Chauffeur mithilfe unterschiedlicher Datenquellen, wie Feldstudien oder Expertenwissen, systematisch identifiziert und dokumentiert werden. Die identifizierten Szenarien werden anschließend für den Test der Fahrfunktion und somit als Grundlage für den Vergleich mit der menschlichen Leistungsfähigkeit herangezogen.

Das Institut für Regelungstechnik unterstützt mit seinen Forschungsergebnissen das Projekt PEGASUS im Rahmen von bilateralen Beauftragungen mit der Volkswagen AG, der AUDI AG sowie der Robert Bosch GmbH.

Der Schwerpunkt der Arbeiten des Instituts für Regelungstechnik liegt unter anderem auf einer automatisierten wissensbasierten Szenariengenerierung. Hierzu hat das Institut für Regelungstechnik mithilfe einer Ontologie das Wissen über das spätere Einsatzgebiet der zu testenden Fahrfunktion formalisiert. Dieses Wissen wird genutzt, um automatisiert eine große Anzahl widerspruchsfreier Szenarien zu generieren

---

<sup>1</sup>Projekt zur Etablierung von generell akzeptierten Gütekriterien, Werkzeugen und Methoden sowie Szenarien und Situationen zur Freigabe hochautomatisierter Fahrfunktionen

<sup>2</sup>SCHULDT, F.: *Ein Beitrag für den methodischen Test von automatisierten Fahrfunktionen mit Hilfe von virtuellen Umgebungen*, Technische Universität Braunschweig, Dissertation, 2017.

und sprachlich zu beschreiben. Anschließend werden diese sprachlich beschriebenen Szenarien in eine Parameterraumdarstellung überführt und in die Datenformate für einen simulativen Test (OpenDRIVE<sup>3</sup> und OpenSCENARIO<sup>4</sup>) konvertiert.

Das Institut für Regelungstechnik hat diese Arbeiten im Berichtszeitraum finalisiert und die erzeugten Szenarien in der Simulation hinsichtlich ihrer korrekten Ausführung evaluiert. Des Weiteren hat das Institut für Regelungstechnik seine Beiträge zum Projekt in den Rahmen der PEGASUS Gesamtmethode eingeordnet und für die weitere Ergebnisverbreitung dokumentiert. Zusätzlich hat das Institut für Regelungstechnik die PEGASUS-Ergebnisse und „Lessons Learned“ auf dem Intelligent Vehicle Symposium 2019 in Paris im Workshop „Ensuring and Validating Safety for Automated Vehicles“ (Kapitel 19) vorgestellt und so zur Verbreitung der PEGASUS-Ergebnisse auf internationaler Ebene beigetragen.

Der Höhepunkt des Projektes war die Abschlussveranstaltung inklusive Symposium am 13. und 14. Mai 2019 auf dem VW-Testgelände in Ehra-Lessien. Vor zahlreichen internationalen Gästen fassten die Projektleiter und Teilprojektleiter in ihren Vorträgen die PEGASUS-Ergebnisse entlang der Gesamtmethode zusammen. Zusätzlich hatten die Gäste die Möglichkeit, sich über die einzelnen Teilergebnisse in einer 32 Stände umfassenden Ausstellung detaillierter zu informieren. Dort stellten Projektmitarbeiter ihre Arbeiten vor und standen für Fragen und Diskussionen zur Verfügung. Neben der Ausstellung wurde auch eine Fahrdemonstration angeboten. Dort konnten die im Projekt entwickelten Prüfmethode für automatisierte Prüfgeländetests hautnah erlebt werden.

---

<sup>3</sup><http://www.opendrive.org>, abgerufen am 10.09.2019.

<sup>4</sup><http://www.openscenario.org>, abgerufen am 10.09.2019.

Das Projekt PEGASUS konnte einschlägige Erfolge im Bereich der Absicherung automatisierter Fahrfunktionen erreichen. Das Projektkonsortium hat einen sehr detaillierten und konsistenten Ansatz für die szenarienbasierte Absicherung automatisierter Fahrfunktionen erarbeitet. Dieser Ansatz wird von mehreren Folgeprojekten als Startpunkt genutzt und weiterentwickelt. Zusätzlich hat das Projekt einen großen Beitrag zur Standardisierung von Schnittstellen wie OpenSCENARIO geliefert und somit die nationale und internationale Zusammenarbeit vereinfacht.

Neben den rein inhaltlichen Erfolgen konnte PEGASUS auch einige organisatorische Erfolge erzielen. Durch die Ausrichtung verschiedener Workshops, unter anderem in San Francisco, Wien und Tokio, hat das Projekt einen internationalen Austausch über Absicherungsaktivitäten angestoßen und so eine intensive Diskussion über Ländergrenzen hinweg gefördert. Durch die daraus resultierende erhöhte Sichtbarkeit des Projektes wurde zudem das Bewusstsein gegenüber Absicherungsthemen in der Gesellschaft erhöht.

# 14 SET Level 4to5

*von Markus Steimle*

Automatisiertes Fahren ist seit einigen Jahren zentraler Bestandteil der Forschung im Automobilbereich. Dabei ist die Entwicklung von automatisierten Fahrfunktionen in den vergangenen Jahren so weit fortgeschritten, dass bereits heute für ausgewählte verkehrliche Situationen automatisierte Fahrfunktionen demonstriert werden können. Diese Demonstrationen finden allerdings unter eng definierten Bedingungen statt. Für die Freigabe beziehungsweise Markteinführung der entsprechenden Fahrzeuge sind sie deshalb nicht hinreichend. Deshalb rückt zunehmend das Thema der Absicherung automatisierter Fahrzeuge in den Fokus der Forschung und Entwicklung. So stand zum Beispiel im Forschungsprojekt PEGASUS (Kapitel 13), das im Jahr 2019 abgeschlossen wurde, das Testen hochautomatisierter Fahrzeugfunktionen am Use-Case des Autobahn-Chauffeurs (SAE Level 3) im Mittelpunkt. Für die Entwicklung und das Testen automatisierter Fahrzeuge sollen zukünftig insbesondere simulationsbasierte Methoden und Werkzeuge einen wertvollen Beitrag liefern.

Das Forschungsprojekt *SET Level 4to5* (Simulationsbasiertes Entwickeln und Testen von Level 4 und 5 Systemen) setzt genau an diesem Punkt an. SET Level 4to5 konzentriert sich auf simulationsbasierte Methoden und Werkzeuge, die während der Entwicklung und dem Testen automatisierter Fahrzeuge eingesetzt werden können. Als zentraler Projekt-Use-Case wird das automatisierte Fahren (SAE Level 4 und 5) in urbanen Räumen betrachtet. Dabei knüpft SET Level 4to5 unmittelbar an die im Projekt PEGASUS generierten Ergebnisse an.

Ziel von SET Level 4to5 ist es, numerische Simulationenmethoden weiterzuentwickeln sowie neue Mechanismen zur Modellkopplung zu konzeptionieren und umzusetzen. Des Weiteren sollen Simulationsmodelle punktuell neu entwickelt werden, die neben dem jeweiligen korrekten Verhalten auch ein zu erwartendes nicht-normatives Verhalten hinreichend valide abbilden. Ein wichtiger Aspekt dabei ist die Schaffung einer universell, möglichst offenen und modular einsetzbaren Integrationsarchitektur, die in aktuelle Standardisierungsaktivitäten einfließen soll.

Die 20 Partner aus Industrie (OEMs und Zulieferer) und Wissenschaft nahmen am 01. März 2019 ihre Arbeit auf. SET Level 4to5 wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) mit 16,5 Millionen Euro über eine Laufzeit von dreieinhalb Jahren gefördert.

Das Institut für Regelungstechnik bearbeitet in SET Level 4to5 Aufgaben mit unterschiedlichen Schwerpunkten. Das Institut für Regelungstechnik verfolgt die in den Projekten PEGASUS<sup>1</sup> und aFAS<sup>2</sup> entwickelten Methoden und Werkzeuge zur Szenariengenerierung und Anforderungserhebung an Simulationsmodelle in SET Level 4to5 weiter. Zusätzlich beschäftigt sich das Institut für Regelungstechnik mit der Herleitung und Definition von Simulationszielen und Simulationsprinzipien und leitet funktionale Anforderungen an die Simulation ab. Dabei werden unter anderem die Erfahrungen aus dem Projekt Stadtpilot (vgl. Kapitel 5) berücksichtigt. Ein weiterer Beitrag des Instituts für Regelungstechnik ist die Leistungsbeschreibung der Simulationsumgebung und ihrer Komponenten. Dadurch wird eine Grundlage für eine effektive und effiziente Zusammenstellung und Kopplung von Simulationsmodellen in der Simulationsumgebung geschaffen.

---

<sup>1</sup><https://www.pegasusprojekt.de/de/>, abgerufen am 18.09.2019.

<sup>2</sup><https://www.afas-online.de/projektueberblick/>, abgerufen am 18.09.2019.

# 15 Controlling Concurrent Change (CCC)

von Marcus Nolte

In der Automobilindustrie zeigt sich in den letzten Jahren ein fortschreitender Trend weg von Systemen, die in vollem Funktionsumfang auf den Markt gebracht werden, hin zu Systemen, die über den Produktlebenszyklus kontinuierlich verbessert und erweitert werden. Die dafür notwendigen Aktualisierungen sollen in Zukunft als Over-the-Air-Updates (OTA) angeboten werden oder werden von vereinzelt Herstellern bereits angeboten. Ein bekanntes Beispiel in diesem Zusammenhang ist der Tesla Autopilot. Dabei wird heute allerdings entweder angenommen, dass nur kleine, inkrementelle Änderungen am Gesamtsystem vorgenommen werden oder dass später zu nutzende Hardware bereits im Fahrzeug verbaut ist. In jedem Fall bedingen die durchzuführenden Aktualisierungen, vor allem in Systemen mit unterschiedlich kritischen Systemteilen, heute intensive Labor- und/oder Realtests. So muss zu jeder Zeit sichergestellt werden, dass die Aktualisierung von vermeintlich unkritischen Funktionen nicht dafür sorgt, dass Fehler in sicherheitskritischen Teilen des Systems auftreten. *Controlling Concurrent Change*<sup>1</sup> war eine DFG-geförderte interdisziplinäre Forschergruppe, die im Jahr 2019 das Ende ihrer zweiten Förderperiode erreichte. Ziel des gemeinsamen Projekts war die Entwicklung von Mechanismen und einer Infrastruktur-Software, die es ermöglichen, bestehende Systeme unter Berücksichtigung von Aspekten wie Safety und Security zur Laufzeit erweiterbar und rekonfigurierbar zu gestalten. Durch kontraktbasierte formale Verifikationsmechanismen soll dabei gleichzeitig

---

<sup>1</sup><http://www.ccc-project.org>

der Testaufwand für entsprechende Systeme im Labor reduziert werden. Monitoringmechanismen sollen zur Laufzeit Abweichungen vom modellierten Systemverhalten detektierbar machen, um bei Bedarf Gegenmaßnahmen ergreifen zu können. Das Institut für Regelungstechnik entwickelte in diesem Zusammenhang dynamisch modifizierbare Fahrerassistenzapplikationen und automatisierte Fahrfunktionen, die in den anderen Projektbereichen erarbeitete Ergebnisse zur Anwendung bringen. Als Plattform für diese Systeme dient der am Institut entwickelte, vollelektrische Versuchsträger MOBILE (siehe Kapitel 16). Dieser ermöglicht, im Gegensatz zu einem modifizierten Serienfahrzeug, den uneingeschränkten Zugriff auf sämtliche systemrelevanten Interna der Hard- und Softwarekomponenten.

Ein Schwerpunkt des IfR lag dabei in der Entwicklung von Konzepten zur Erfassung der funktionalen Leistungsfähigkeit eines automatisierten Fahrzeugs. Es wurden in diesem Zusammenhang architektonische Konzepte für ein holistisches, ebenenübergreifendes Monitoring von den Aktuatoren bis hin zu einer Überwachung der ausgeführten Funktion im Hinblick auf ein fehlerhaftes externes Verhalten des Fahrzeugs erforscht. Ein wesentliches Projektergebnis, das nur durch intensive interdisziplinäre Zusammenarbeit erreicht werden konnte, ist die Einsicht, dass die ganzheitliche Modellierung auf verschiedenen Systemebenen (z. B. Funktion, Software, Hardware) eine wesentliche Grundlage für das oben beschriebene umfassende Selbstüberwachungskonzept ist.

Im vergangenen Berichtszeitraum lag der Schwerpunkt auf der Realisierung eines Anwendungsfalls für automatisiertes Ausweichen. Basierend auf den im *Stadtpilot* entwickelten Umfeldwahrnehmungsalgorithmen, wurden dazu im Projekt ausgewählte Elemente, vor allem zur Wahrnehmung des statischen Umfelds, aus der ADTF-basierten Stadtpilot-

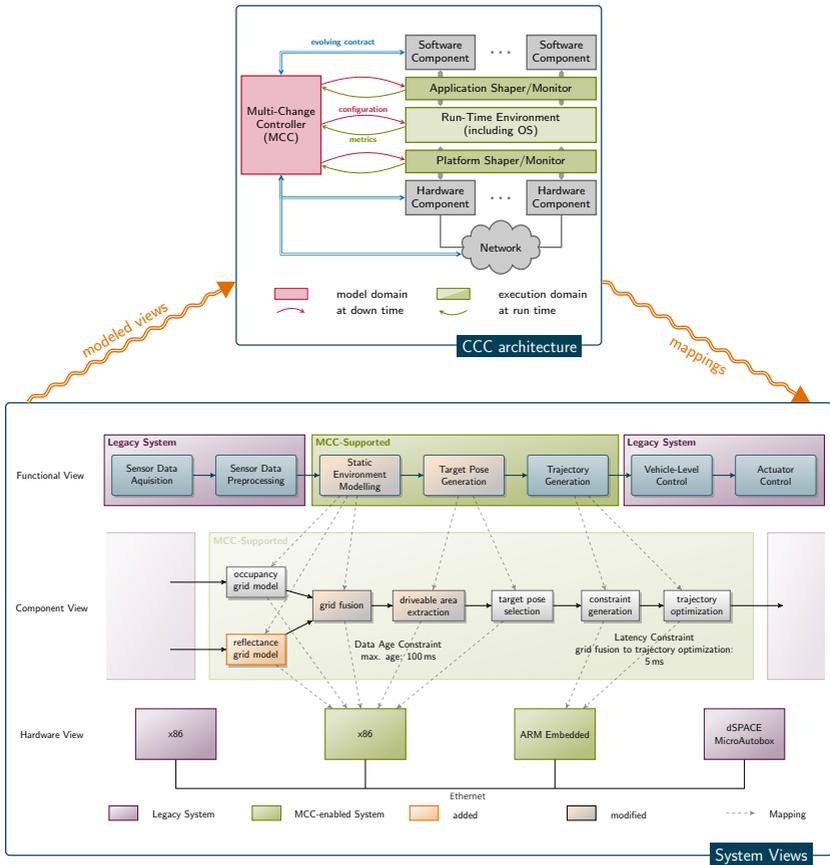


Abbildung 15.1: Zusammenspiel der Infrastruktursoftware mit der Mehrsichtensystemarchitektur: Während der Entwicklung wird ein Systemmodell formuliert, d.h. es werden Komponenten und Schnittstellen auf einer funktionalen, einer software- und einer hardware-zentrierten Sicht beschrieben, sowie z.B. Anforderungen an das Zeitverhalten des Systems formuliert. Die Infrastruktur-Software in Form des Multi-Change-Controllers (MCC) instanziiert zur Laufzeit das Systemmodell z.B. auf verschiedenen Hardware-Komponenten.

Verarbeitungskette in die Genode-OS-basierte<sup>2</sup> Projekt-Middleware portiert.

Auf der funktionalen Seite wurden zudem große Beiträge zu einem fehlertoleranten Trajektorienplanungs- und -regelungs-Framework geleistet. Dieses bietet Schnittstellen, um die Monitoring-Ansätze, die im Projekt entwickelt wurden, auch zur Bewegungsplanung und -regelung unter reduzierter Systemleistungsfähigkeit zu nutzen.

Die Projektergebnisse wurden im Rahmen einer Ausstellung, sowie eines Workshops auf der Design, Automation and Test Europe (DATE) vom 25. bis 29. März 2019 in Florenz präsentiert.

---

<sup>2</sup><https://www.genode.org>

# 16 MOBILE

*von Torben Stolte*

Im Rahmen des Projekts MOBILE wurde am Institut für Regelungstechnik ein vollelektrischer und vollständig über By-Wire-Systeme kontrollierter Fahrzeugprototyp aufgebaut. Das Fahrzeug MOBILE ist in Abbildung 16.1 dargestellt. Es dient als leistungsfähige Versuchsplattform zur Erprobung elektronischer Fahrzeugsysteme und vollelektrischer Antriebskonzepte. Ein weiteres Ziel des Projekts ist die Ausbildung von Studierenden im Bereich Elektromobilität mit Schwerpunkt bei der Hochvoltsicherheit in elektrischen Fahrzeugen.



Abbildung 16.1: Versuchsträger MOBILE

Das Aktorikkonzept des Versuchsträgers bietet besondere Freiheitsgrade. Jedes Rad des Fahrzeugs verfügt über einen elektrischen Einzelradantrieb, eine elektrische Einzelradlenkung sowie eine elektromechanische Bremse. Die dafür benötigte By-Wire-Ansteuerung wird über einen FlexRay-Backbone realisiert, das die wesentlichen Steuergeräte im Fahr-

zeug verbindet. Lokal werden hauptsächlich CAN-Busse eingesetzt. Die verwendeten Steuergeräte sind Eigenentwicklungen und können mit Hilfe einer modellbasierten Werkzeugkette programmiert werden. Daher ist die gesamte Software im Fahrzeug bekannt und kann einfach an die Bedürfnisse des Versuchsbetriebs angepasst werden.

Für die Untersuchung von Fragestellungen aus der Fahrzeugautomatisierung verfügt MOBILE über drei LIDAR-Sensoren zur Umfelderkennung, die mit der im Projekt *Stadtpilot* (siehe Abschnitt 5) entwickelten Verarbeitungskette ausgewertet werden. Die Schnittstelle zu den Fahrzeugaktoren bildet eine dSPACE MicroAutoBox II, auf der die Regelung der Fahrzeugbewegung erfolgt. Gleichzeitig gewährleistet ein Sicherheitskonzept, dass der Fahrer im Versuchsbetrieb jederzeit die automatisierte Fahrfunktion übersteuern und die Führung des Fahrzeugs übernehmen kann. Für die simulative Erprobung von Algorithmen steht eine Simulationsumgebung in IPG CarMaker zur Verfügung.

Im Berichtszeitraum konnten wir von den zahlreichen Vorarbeiten profitieren, die eine erhöhte Robustheit des Versuchsträgers erzielt haben. Dies kann anhand der Abschlussdemonstration des Projekts *Controlling Concurrent Change* verdeutlicht werden (siehe Abschnitt 15). Während der Vorbereitung der Abschlussdemonstration konnte der Showcase an vielen Tagen ganztägig erprobt werden. Ein weiteres Beispiel ist die kamerabasierte Knickwinkelschätzung für den Anhängerbetrieb von MOBILE, die im Rahmen einer studentischen Arbeit entwickelt wurde.

Parallel zu den genannten Forschungsarbeiten erfolgte eine grundlegende Überholung der Fahrzeugkommunikation. Durch zahlreiche Modifikationen hat sich die Hardware-Architektur in den vergangenen Jahren sukzessive verändert. Mit der kompletten Überarbeitung der FlexRay-Kommunikation konnten zahlreiche provisorische Lösungen ersetzt sowie die Dokumentation durch aussagekräftige Signalnamen

verbessert werden. Auch wurden bereits geplante, aber noch nicht umgesetzte Erweiterungen abgebildet.

Für den kommenden Berichtszeitraum ist geplant, MOBILE verstärkt für den Versuchsbetrieb zu nutzen. Ein wichtiges Ziel ist es, einen fehlertoleranten Trajektorienregler auf der MicroAutoBox II in Betrieb zu nehmen. Zudem ist geplant, die Verzahnung von Realfahrzeug mit der Simulationsumgebung in IPG CarMaker zu verbessern.



# 17 MAX

*von Marcus Nolte*

Bei MAX (Modular Adaptive X-By-Wire) handelt es sich um einen 1:5 Modellversuchsträger, der von Studierenden am Institut für Regelungstechnik aufgebaut wurde. MAX verfügt über eine ähnliche Hardwarearchitektur und eine ähnliche Netzwerktopologie (CAN, FlexRay) wie das Versuchsfahrzeug MOBILE (Kapitel 16). Es dient in der instituts-

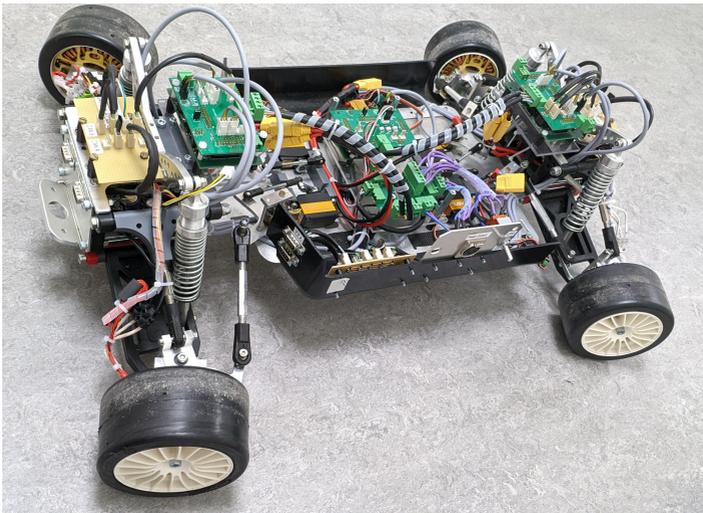


Abbildung 17.1: MAX im aktuellen Aufbau

eigenen Toolkette als Bindeglied zwischen Simulation und Realtest. Somit können Algorithmen, die in Simulink entwickelt werden, zunächst im kleinen Maßstab auf grundsätzliche Funktionalität überprüft werden. Damit ist es auch für Studierende möglich, im Rahmen von Abschlussarbeiten und HiWi-Jobs an Fahrodynamikregelsystemen zu

arbeiten und diese gefahrlos, im Vergleich zum Realtest mit dem zwei Tonnen schweren Realfahrzeug, zu testen.

Nachdem im vorausgegangenen Berichtszeitraum ein größerer Umbau zur Angleichung der Systemtopologie zwischen MOBILE und MAX vorgenommen wurde, stand im aktuellen Berichtszeitraum eine Überarbeitung der Fahrzeugachsen an. So wurden die alten Motoren durch leistungsfähige bürstenlose Außenläufermotoren ersetzt, die nun genug Leistung bieten, Torque-Vectoring-Anwendungen zu realisieren. Darüber hinaus wurde die Radaufhängung komplett überarbeitet.

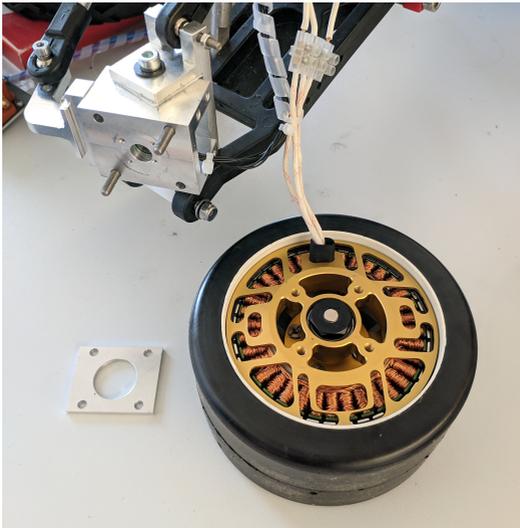


Abbildung 17.2: Neue Radaufhängung mit Hall-Sensor zur Drehzahlerfassung, sowie Rad mit eingebautem Motor

Als letzte Schritte des Umbaus werden aktuell Inertialsensorik inklusive Filteralgorithmen zur Bewegungsschätzung und ein x86 Rechner für komplexere Anwendungen in Betrieb genommen.

# 18 TUBS Road User Dataset

*von Christopher Plachetka*

Daten sind das Gold des 21. Jahrhunderts. Dies gilt zunehmend auch im Bereich automatisierter Straßenfahrzeuge: Algorithmen zur Wahrnehmung des beweglichen Fahrzeugumfeldes basieren meist auf dem Prinzip des Deep Learnings, welches eine Unterdisziplin des Maschinellen Lernens darstellt. Hierbei werden künstliche neuronale Netze beispielsweise auf die Detektion von Verkehrsteilnehmern im Straßenverkehr trainiert.

Die Leistungsstärke solcher Algorithmen hängt jedoch maßgeblich von dem Umfang und der Qualität ihrer Trainingsdaten ab, da diese die Heterogenität der Verkehrsteilnehmer in unterschiedlichen Umgebungsbedingungen und Kulturräumen widerspiegeln müssen. Besonders herausfordernd dabei sind Verdeckungssituationen und schlechte Wetterbedingungen. Ein weiteres Problem ist die schwierige Übertragbarkeit von Trainingsergebnissen auf andere Datensätze, welche in unterschiedlichen Bedingungen und mit anderer Sensorik aufgenommen wurden. Auch zur aussagekräftigen Evaluation von Wahrnehmungsalgorithmen sind umfangreiche Testdaten erforderlich, mit welchen die Anforderungen an einen Wahrnehmungsalgorithmus in einer Vielzahl von unterschiedlichen Szenarien überprüft werden müssen.

Die Trainings- und Testdaten werden meist in einem zeit- und kostenintensiven Prozess von menschlichen Annotatoren erstellt. Dieser Prozess skaliert nicht auf die geforderte Datenmenge und -vielfalt. Zur Lösung dieses Problems arbeitet das Institut für Regelungstechnik an Konzepten zur (semi-)automatischen Annotation von Sensordaten. Hierbei muss ein menschlicher Annotator lediglich Fehler korrigieren, die

bei der automatischen Annotation aufgetreten sind. Zudem konnte das IfR bereits zeigen, dass auch ein Training von Neuronalen Netzen mit automatisiert annotierten Daten vielversprechende Ergebnisse liefert.

Das TUBS Road User Dataset<sup>1</sup> ist ein vom IfR veröffentlichter Datensatz, welcher auf diesem Konzept beruht. Ein beispielhafter Laserscan aus diesem Datensatz mit annotierten Verkehrsteilnehmern und geschätzten Dynamikgrößen ist in Abbildung 18.1 gezeigt.

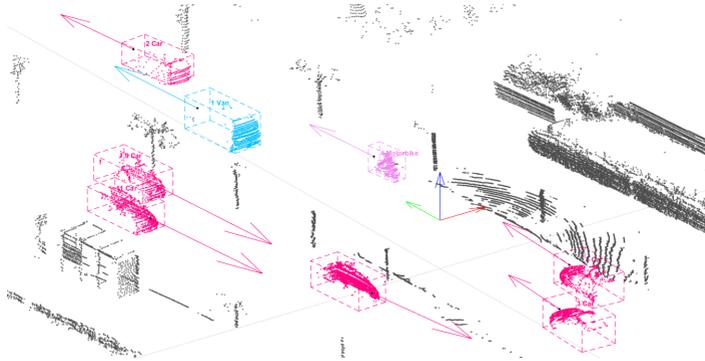


Abbildung 18.1: Annotierter Laserscan aus dem TUBS Road User Dataset

Der Datensatz umfasst über 160.000 automatisch annotierte Laserscans mit korrespondierenden Bildern des Surround-View-Kamerasystems, welches mit der Rotation des Scanners synchronisiert ist. Es werden drei Domänen abgedeckt: Die Innenstadt von Braunschweig, der Stadtring und eine Autobahnfahrt auf der A2 und der A39. Die automatische Annotation wird über das Trackingsystem des Versuchsfahrzeugs vorgenommen. Zusätzlich ist ein Editor auf Open-Source-Basis für die Sensordaten veröffentlicht, welcher durch eigenständige Prädiktions- und Optimierungsverfahren den manuellen Editieraufwand weiter reduziert. Bei der Editierung müssen nur Objekte im Laserscan defi-

<sup>1</sup><https://dataset.ifr.ing.tu-bs.de/tubs-dataset/index.html>

nirt werden, welche anschließend in die Bildebenen projiziert werden. Besonders herausfordernd ist dabei die genaue Kalibrierung des vergleichsweise gering auflösenden Laserscanners und der Kameras. Ein beispielhaftes Projektionsergebnis ist in Abbildung 18.2 dargestellt.

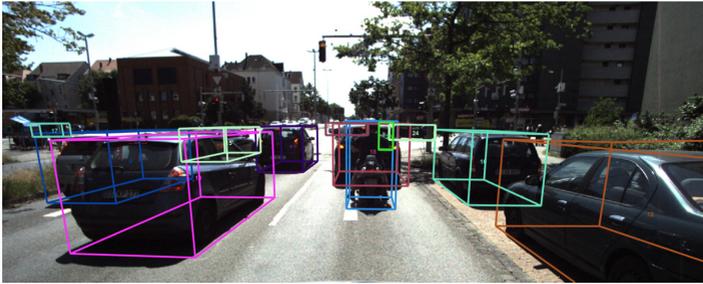


Abbildung 18.2: Projektion von Objekten aus dem Laserscan in die Frontkamera

Im Zuge der Veröffentlichung wurden mit einem Deep Learning-basierten Ansatz Nummernschilder und Gesichter aus dem Bildmaterial entfernt. Auch hierbei zeigte sich deutlich die angesprochene Generalisierungsproblematik. Die Trainingsdaten zur Nummernschilderkennung wurden lediglich in der Innenstadt aufgenommen und umfassten keine Lastwagen, sodass entsprechende LKW-Nummernschilder in dem A2-Datensatz häufig bei der Erkennung ignoriert wurden. Die Nachkorrektur des Datensatzes gestaltete sich entsprechend aufwändig. Scheinbar hatte das neuronale Netz Merkmale von Nummernschildern erlernt, die spezifisch für PKW sind.



# 19 Workshops „Ensuring and Validating Safety for Automated Vehicles“

*von Torben Stolte*

Der Betrieb von automatisierten Straßenfahrzeugen im öffentlichen Straßenverkehr kann sicherlich als zentrales Forschungs- und Entwicklungsziel der ITS-Community betrachtet werden. Zwingende Voraussetzung für den Betrieb im öffentlichen Straßenverkehr ist, dass ein Nachweis der Sicherheit der automatisierten Fahrfunktionen gelingt. Zwar gewinnt das Thema Sicherheit in der ITS-Community zunehmend an Bedeutung, ist in unserer Wahrnehmung jedoch immer noch unterrepräsentiert in den Veröffentlichungen, z. B. auf einschlägigen Konferenzen wie dem Intelligent Vehicles Symposium (IV) oder der Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC). Damit einher geht, dass die Forscherinnen und Forscher enger vernetzt sein könnten.

Vor diesem Hintergrund haben wir sowohl für das Jahr 2018 als auch das Jahr 2019 einen Workshop „Ensuring and Validating Safety for Automated Vehicles“ organisiert, die beide in den aktuellen Berichtszeitraum fallen. Ziel der Workshops ist es, Forscherinnen und Forscher, die auf dem Gebiet der Sicherheit automatisierter Fahrzeuge arbeiten, stärker zu vernetzen. Gleichzeitig können Forschungsergebnisse einem fachkundigen Publikum vorgetragen und mit diesem intensiv diskutiert werden.

Der erste Workshop „Ensuring and Validating Safety for Automated Vehicles“ fand auf der ITSC 2018 auf Maui, Hawaii statt, der zweite auf

der IV 2019 in Paris. Bei beiden Workshops haben wir einen Mix unterschiedlicher Formate gewählt. Forscherinnen und Forscher konnten ihre Beiträge als Workshop-Papiere einreichen, die im Workshop vorgelesen und mit dem Plenum diskutiert werden konnten. Diese Beiträge durchliefen im Vorwege den regulären Review-Prozess der Konferenz und wurden, sofern angenommen, im Konferenzband veröffentlicht. Ein weiteres Format waren Gastbeiträge, die ebenfalls aktuelle Forschungsergebnisse präsentierten, die jedoch nicht den Reviewprozess durchliefen. Zudem haben sich als drittes Format zusammenfassende Panel Discussions bewährt.

Im ersten Workshop-Durchlauf wurden drei reguläre Papiere angenommen, siehe Tabelle 19.1. Weitere Beiträge wurden durch IfR-Kollegen gestaltet. Der Workshop zeichnete sich durch viele fachlich intensive Diskussionen aus und sorgte für positive Resonanz. Während und nach der ITSC konnten neue Kontakte geknüpft und weitere Partner gewonnen werden, die den Workshop unterstützen. Schnell war somit klar, dass es einen Nachfolge-Workshop auf der IV 2019 geben sollte.

Der Workshop auf der IV 2019 wurde gemeinsam mit den Professoren Winner (TU Darmstadt), Törngren (KTH, Schweden) und Czarnecki (University of Waterloo, Kanada) ausgerichtet. Durch die gemeinsame Ausrichtung konnten vier qualitativ hochwertige Beiträge gewonnen werden, die den regulären Reviewprozess durchlaufen hatten, siehe Tabelle 19.2. Weiterhin rundeten sehr interessante Gastbeiträge die Vorträge ab. Die Podiumsdiskussionen zur Halbzeit und am Ende des Workshops haben sich zur Vertiefung der Vorträge als sehr sinnvoll erwiesen. Zudem hat sich die Anzahl der Teilnehmenden im Vergleich zum ersten Workshop noch einmal deutlich gesteigert. Aufgrund der positiven Rückmeldungen laufen derzeit die Planungen für den 3. Work-

shop „Ensuring and Validating Safety for Automated Vehicles“ für die IV 2020 in Las Vegas. Dieser dritte Workshop der Serie wird von

- Ignacio Alvarez (Intel, USA),
- Krzysztof Czarnecki (University of Waterloo, Kanada),
- Maria Soledad Elli (Intel, USA),
- J. Christian Gerdes (Stanford University, USA),
- Denis Gingras (Université de Sherbrooke, Kanada),
- Jia Hu (Tongji Universität, China),
- Jeffrey Kane Johnson (Maeve Automation, USA),
- Arnaud de La Fortelle (MINES ParisTech, Frankreich),
- Mykel Kochenderfer (Stanford University, USA),
- Christoph Stiller (Karlsruher Institut für Technologie),
- Martin Törngren (KTH, Schweden),
- Jack Weast (Intel, USA) und
- Hermann Winner (TU Darmstadt)

unterstützt.

<b>Titel</b>	<b>Vortragende und Autorinnen &amp; Autoren</b>
Begrüßung	<i>Torben Stolte</i>
Lessons Learned: Project aFAS <sup>2</sup>	<i>Torben Stolte</i>
Safety as a Key Aspect in the Architectural Design of Automated Vehicles <sup>2</sup>	<i>Marcus Nolte</i>
"Peace of Mind", An Experiential Safety Framework for Automated Driving Technology Interactions <sup>1</sup>	Marina Strano, Fabricio Novak, Shelly Walbert, Beatriz Palmeiro, Sonia Morales, <i>Ignacio Alvarez</i>
Scenario Creation to Support the Development of Automated Vehicles <sup>2</sup>	<i>Gerrit Bagschik</i>
Criticality Metric for the Safety Validation of Automated Driving using Model Predictive Trajectory Optimization <sup>1</sup>	<i>Philipp Junietz</i> , Farid Bonakdar, Björn Klamann, Hermann Winner
Introduction on Simulation based Verification and Validation <sup>2</sup>	<i>Gerrit Bagschik</i>
A Novel, Modular Validation Framework for Collision Avoidance of Automated Vehicles at Road Junctions <sup>1</sup>	<i>Phillipe Nitsche</i> , Ruth Helen Welsh, Alexander Genser, Pete Thomas
How to Test Automated Driving Functionalities: The aFAS Test Process <sup>2</sup>	<i>Gerrit Bagschik</i>
The Inherent Risk of Autonomous Vehicles <sup>2</sup>	<i>Markus Maurer</i>
Podiumsdiskussion	<i>Markus Maurer</i>

<sup>1</sup> Im regulären Reviewprozess angenommenes Workshop-Papier

<sup>2</sup> Gastbeitrag

Tabelle 19.1: Agenda des Workshops „Ensuring and Validating Safety for Automated Vehicles“, Intelligent Transportation Systems Conference 2018, Maui, HI, USA.

<b>Titel</b>	<b>Vortragende und Autorinnen &amp; Autoren</b>
Begrüßung	<i>Torben Stolte</i>
The PEGASUS-Project – Approach and Lessons Learned <sup>2</sup>	<i>Till Menzel</i>
System Architecture and Application-Specific Verification Method for Fault-Tolerant Automated Driving System <sup>1</sup>	<i>Ayhan Mehmed, Wilfried Steiner, Moritz Antlanger, Sasikumar Punnekkat</i>
A Probabilistic Framework for Collision Probability Estimation and an Analysis of the Discretization Precision <sup>1</sup>	<i>Daniel Åsljung, Mathias Westlund, Jonas Fredriksson</i>
Podiumsdiskussion	<i>Markus Maurer</i>
Application of Responsibility Sensitive Safety (RSS) to ensure and validate safety of AD Vehicles <sup>2</sup>	<i>Bernd Gaßmann</i>
Specifying Safety of Autonomous Vehicles in Signal Temporal Logic <sup>1</sup>	<i>Nikos Arechiga</i>
Formalisation and Algorithmic Approach to the Automated Driving Validation Problem <sup>1</sup>	<i>Jan Erik Stellet, Tino Brade, Alexander Poddey, Stefan Jesenski, Wolfgang Branz</i>
Towards Assuring Driving Behavior and Machine-Learned Functions for Automated Driving <sup>2</sup>	<i>Krzysztof Czarnecki</i>
Podiumsdiskussion	<i>Markus Maurer</i>

<sup>1</sup> Im regulären Reviewprozess angenommenes Workshop-Papier

<sup>2</sup> Gastbeitrag

Tabelle 19.2: Agenda des 2. Workshops „Ensuring and Validating Safety for Automated Vehicles“, Intelligent Vehicles Symposium 2019, Paris, Frankreich.



# 20 Das Urteil lautet: Eine fiktive Gerichtsverhandlung zu selbstfahrenden Autos

*von Elisabeth Hoffmann*

Die Anklage war schwerwiegend: Gefährdung des Straßenverkehrs und von Leib und Leben, Körperverletzung sowie Totschlag. Weitere Vorwürfe lauteten technische Fehleranfälligkeit, Risikoerhöhung für Cyberattacken und Sachbeschädigung. Und dann wurden dem Autonomen Fahren auch noch fehlende moralische Urteilskraft und fehlende Empathiefähigkeit vorgeworfen.



Abbildung 20.1: Eine fiktive Gerichtsverhandlung zum autonomen Fahren. Die Aula im Haus der Wissenschaft ist voll. ©Michael Wiggins/Wissenschaft im Dialog

Am 26. September 2019 wurde in voll besetzter Aula über das Autonome Fahren höchstselbst verhandelt. Für das innovative Veranstaltungsformat, bei dem reale Themen aus der Wissenschaft im Rahmen eines fiktiven Gerichtstermins kontrovers erörtert werden, war die gemeinnützige Organisation Wissenschaft im Dialog eigens aus Berlin nach Braunschweig gereist.

Das Verfahren im Haus der Wissenschaft begann also mit „starkem Tobak“. Doch kaum hatte die Strafrechtlerin Michelle Fiekens (Universität Hannover) in der Rolle der Staatsanwältin ihre Anklageschrift verlesen, konterte der „Verteidiger“: Technik müsse nicht zu hundert Prozent sicher sein, so Prof. Ralf Imhof von der Ostfalia. Es sei entscheidend, dass sie ein höheres Maß an Sicherheit gewährleiste, als der Mensch dies tun würde. Verkehr fließe mit autonomen Fahrzeugen zudem geordneter, Staus würden in Zukunft der Vergangenheit angehören und Rettungsgassen ordnungsgemäß gebildet. All dies ließe nur einen Freispruch zu, so der Anwalt.

### **Wissenschaft vor dem „Kadi“**

Kontroverse Argumente lieferte auch die anschließende Zeugenvernehmung, bei der neben einer Verbraucherschützerin, einem Psychologen und einem KI-Spezialisten auch Professor Markus Maurer als Gutachter geladen war. Was passiert, wenn ich mich als Nutzer eines autonomen Fahrzeugs zu sehr auf die Technik verlasse? Wer trägt die Verantwortung, wer haftet bei Unfällen? Können wir es wirtschaftlich verantworten, Schlüsseltechnologien nicht voranzutreiben?

### **Reden über Risiken**

Maurer wandte sich direkt ans Publikum. „Wenn ich bei den Technikern rede, bin ich der große Mahner. Hier bin ich heute für die Verteidigung eingeladen – das ist aber kein Widerspruch.“ Um zu einem Konsens über



Abbildung 20.2: Professor Markus Maurer wendet sich an das Publikum. ©Michael Wingers/Wissenschaft im Dialog

die künftige Nutzung von autonomen Fahrzeugen zu kommen, müsse man auch über die Risiken sprechen, die menschliche Fahrerinnen und Fahrer übernehmen. Die Leistungsfähigkeit unseres Verkehrssystems beruhe wahrscheinlich auch darauf, dass jeder bereit sei, ein gewisses inhärentes Risiko einzugehen. Über diese Risiken müsse auch und insbesondere beim autonomen Fahren gesprochen werden. „Wir haben ein Risiko“, erklärte er. „Wenn Sie Skeptiker sind, möchte ich sagen: Bleiben Sie skeptisch!“ Es sei wichtig, zu diskutieren, bevor schwerwiegende Unfälle mit autonomen Fahrzeugen geschehen. Was müssen autonome Fahrzeuge können, wie müssen sie sich verhalten, damit sie in der Gesellschaft akzeptiert werden können? „Wir brauchen eine breite öffentliche Debatte“, appellierte er mit Nachdruck. „Damit wir als Bürger sagen können, welche autonomen Fahrzeuge wir wollen.“

## Freispruch mit Auflagen

Nach ausführlicher konstruktiver Diskussion und Abstimmung im Publikum sprach „Richterin“ Daniela Sprengel von der Universität Hannover das Urteil: Das Autonome Fahren wurde verurteilt, allerdings nur zur Einhaltung von Auflagen: „Es muss genau definiert werden, was von Mensch und Technik erwartet wird“, so die Juristin. Und: „Der Testbetrieb soll möglichst sicher sein ... aber auch fortschrittlich!“ Schließlich, und da waren sich alle im Saal einig: „Wir brauchen mehr Debatten, wie wir sie hier geführt haben.“

### Hintergrund:

- Der Bericht über die Veranstaltung bei Wissenschaft im Dialog: <https://www.wissenschaft-im-dialog.de/blog/blogartikel/beitrag/autonomes-fahren-vor-gericht-wissenschaft-kontrovers-testet-neues-wisskomm-format/>
- Die Aufzeichnung der Gerichtsverhandlung: [https://www.youtube.com/watch?v=DkUbM4u\\_GKE&t=](https://www.youtube.com/watch?v=DkUbM4u_GKE&t=)
- Das Highlight-Video: <https://www.youtube.com/watch?v=4tAtDvg2CAc&t=4s>

# 21 Abgeschlossene Promotionen

## 21.1 Dissertation Jens Rieken: Ein Beitrag zur 3D-Umfeldwahrnehmung für automatisierte Straßenfahrzeuge im urbanen Raum

*von Jens Rieken*

Dem automatisierten Fahren wird ein großes Potenzial zur Lösung zukünftiger Herausforderungen in der Mobilität unserer Gesellschaft zugesprochen. Wesentliche Anteile an den Fragestellungen der technischen Realisierbarkeit sowie des zu erreichenden Funktionsumfangs solcher Systeme hat dabei die Fähigkeit, das Umfeld des Fahrzeugs in hinreichendem Maße zu erfassen und für die nachgelagerte Fahrfunktion zu repräsentieren.

Im Rahmen dieser Dissertation, welche im Kontext des Projekts *Stadt-pilot* angesiedelt ist, werden die Konzeption, Realisierung und Bewertung eines Umfeldwahrnehmungssystems für automatisierte Fahrzeuge adressiert. Fokus ist hierbei der Einsatz in urbanen Umgebungen und die Verwendung hochauflösender Lasersensorik als Sensor zur Umgebungserfassung. Im Gegensatz zum Großteil der aus der Literatur bekannten Ansätze und Systeme stehen in dieser Arbeit ein Gesamtsystemansatz sowie die Auslegung als ein in Realzeit einsetzbares System im Vordergrund. Das adressierte städtische Umfeld erfordert dabei eine Wahrnehmung in drei Raumdimensionen, um beispielsweise unter-

fahrbare Strukturen, überstehende Ladung oder unebene Fahrbahnen zu berücksichtigen. Auch ergibt sich die Notwendigkeit der expliziten Repräsentation von Verdeckungen und befahrbaren Bereichen, um eine angemessene Verhaltensplanung unter Berücksichtigung von Unsicherheiten zu ermöglichen. Hochauflösende Lasersensorik ist in der Lage, die Grundlage hierfür zu bilden. Ihr Einsatz als Teil eines real fahrenden, automatisierten Fahrzeugs stellt jedoch hohe Anforderungen an die Effizienz der Algorithmen, um eine mit dem Sensorsystem schritthaltende Verarbeitung sicherzustellen.

Ausgehend von den Zielsetzungen des Projekts *Stadtpilot*, welche zunächst in Form von Anwendungsszenarien beschrieben werden, wird im ersten Teil der Arbeit ein Systementwurf unter Berücksichtigung obiger Aspekte durchgeführt. Es wird ein graphenbasierter Ansatz verfolgt, um zentrale Aufgaben der Umfeldwahrnehmung zu identifizieren, zu strukturieren und hieraus ein detailliertes Systemkonzept abzuleiten. Das Systemkonzept beschreibt ein hybrides Umfeldmodell, in welchem stationäre und bewegliche Bestandteile des Fahrzeugumfelds in getrennten Repräsentationsformen abgebildet werden. Die Zuordnung zu diesen Repräsentationsformen erfolgt über eine vorgelagerte gitterbasierte Beweglichkeitsklassifikation. Das Konzept verzichtet auf eine aus Laufzeitsicht aufwendige, vollständig dreidimensionale Beschreibung des Umfelds. Stattdessen werden Informationen über die vertikalen Positionen und Ausdehnungen der Umgebungselemente relativ zur Bodenoberfläche sowie durch eine obere bzw. untere Begrenzung des Freiraums repräsentiert.

Der zweite Teil der Arbeit adressiert die Realisierung des zuvor beschriebenen Konzepts. Als Grundlage der bodenrelativen Repräsentation erfolgt als erster Verarbeitungsschritt die Schätzung der Bodenoberfläche sowie eine entsprechende Klassifikation der Punktdaten unter speziel-

ler Berücksichtigung von Unebenheiten und Verdeckungen. Basierend auf den Resultaten dieser Klassifikation werden realzeitfähige Ansätze zur Extraktion bodennaher Strukturen, zur Segmentierung sowie zur Beweglichkeitsschätzung erläutert. Diese erzeugen die Eingangsdaten für ein hybrides Umfeldmodell, bestehend aus zwei gekoppelten Repräsentationsformen. Das bewegliche Umfeld wird durch eine objektbasierte Repräsentation abgebildet, ein gitterbasierter Ansatz dient zur Repräsentation des stationären Umfelds. Verschiedene Gittermodelle bilden hierbei Merkmale wie die Belegung durch nicht über- bzw. unterfahrbare Elemente sowie bodennahe Strukturen ab. Zusätzlich wird die Textur der Bodenoberfläche, abgeleitet aus den Reflektivitätsdaten des eingesetzten Sensors, sowie die detektierte befahrbare Oberfläche repräsentiert. Letzteres dient unter anderem der expliziten Repräsentation befahrbarer Bereiche. Nach Fusion der zunächst merkmalspezifischen Gittermodelle erfolgt eine intervallbasierte Extraktion relevanter Merkmale. Zur Repräsentation beweglicher Elemente wird ein Ansatz auf Basis eines *Extended Kalman Interacting Multiple Model*-Filters präsentiert. Dieser nutzt ein explizites Quader-Referenzpunktmodell und führt Anpassungen für die effiziente Behandlung von Verdeckungen sowohl in der Hypothesengenerierung als auch der Objektverfolgung ein. Auch wird eine Erweiterung der Prädiktion um die Berücksichtigung zeitlich ausgedehnter Messzyklen vorgestellt, wie sie bei der Nutzung inkrementell arbeitender Sensorik auftreten. Abbildung 21.1 zeigt eine exemplarische Szene des Umfeldmodells.

Die abschließende Systembewertung wird mit Hilfe annotierter Datensätze sowie Messfahrzeugen auf Realdaten durchgeführt. Sie betrachtet dabei sowohl Aspekte der Modellierung des stationären Umfelds als auch der objektbasierten Repräsentation beweglicher Bestandteile. Neben szenarienübergreifenden Aspekten wie Laufzeitbetrachtungen liegt der Fokus dabei insbesondere auf einer gezielten Auswertung bezogen

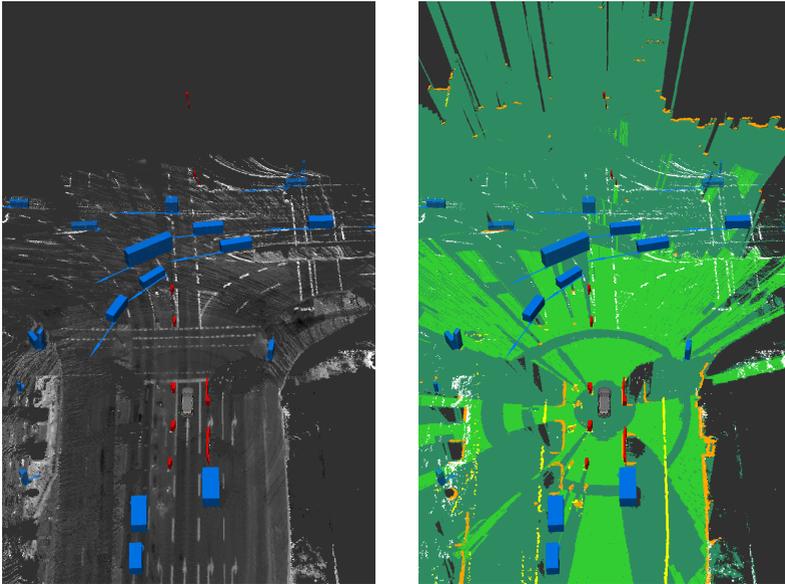


Abbildung 21.1: Exemplarische Resultate des vorgestellten Umfeldmodells. Links: Bestätigte bewegliche Objekte (blau) und stationäre Elemente (rot) über dem verwendeten Reflektivitätsgittermodell. Rechts: Repräsentation des stationären Umfelds als fusioniertes Gittermodell mit Freibereichen (Grüntöne), erhabenen Elementen (orange), Markierungen (weiß) sowie bodennahen Strukturen (gelb).

auf die Leistungsfähigkeit in den projekt- und funktionspezifischen Anwendungsszenarien. Hierfür wird der Forschungsbedarf in diesem Bereich aufgezeigt und ein möglicher Ansatz für eine szenarienabhängige Bewertungsstrategie vorgestellt. Speziell für diese Systembewertung wird ein Verfahren zur semi-automatischen Annotation von Messdaten entwickelt und ein neuer Referenzdatensatz erzeugt, welcher die Grundidee für das inzwischen öffentlich verfügbare *TUBS Road User Dataset* (Kapitel 18) bildet.

Die Resultate zeigen, dass das entwickelte System sowohl die Anforderungen an die Detektionsgüte als auch an die Ausführungszeit erfüllt. Es ist somit für einen realen Fahrbetrieb innerhalb des Projekts einsetzbar und findet in bestehenden und zukünftigen Arbeiten intensive Verwendung.

## **21.2 Dissertation Mohamed Brahmi: Bewertung der objektbasierten Umfeldwahrnehmung für Fahrerassistenzsysteme mithilfe von Referenzsystemen**

*von Mohamed Brahmi*

Fahrerassistenzsysteme gewinnen immer mehr an Bedeutung und weisen steigende Komplexität und Vernetzung auf. Die Hauptantriebe dafür sind die Regulierungen und das beabsichtigte autonome Fahren. Eng verbunden damit steigt ebenfalls der Bedarf, diese Systeme objektiv zu bewerten und zu validieren. Aufgrund ihrer hohen Komplexität stößt aber die Bewertung der Fahrerassistenzsysteme auf Systemebene an ihre Grenzen. Alternativ dazu kann ein Fahrerassistenzsystem in die

Teilsysteme Umfelderfassung, Situationsinterpretation und Funktion unterteilt werden. Diese Teilsysteme können dann separat und unabhängig bewertet werden. Für die Bewertung der Fahrerassistenzsysteme wird im Allgemeinen eine Vergleichsbasis benötigt. Speziell für die Bewertung der FAS-Umfeldwahrnehmung werden Referenzsysteme benötigt, deren Messdaten als Ground-Truth angenommen und als Vergleichsbasis herangezogen werden. Aus diesem Grund müssen diese Referenzsysteme bestimmte Anforderungen erfüllen.

#### **Anforderungen an ein Referenzsystem für die FAS-Umfeldwahrnehmung**

Die Anforderungen können zunächst in qualitative und quantitative Anforderungen unterteilt werden. Während die Erfüllung der qualitativen Anforderungen mit „Ja“ oder „Nein“ beantwortet werden kann, müssen bei den quantitativen Anforderungen numerische Kennzahlen angegeben und definiert werden.

Unter die qualitativen Anforderungen fallen die Mobilität (Selbstmobilität und Portierbarkeit), die Selbsteinschätzungsfähigkeit, die Kalibrierfähigkeit und die Fähigkeit, die gleiche Umweltrepräsentation wie das zu bewertende System zu liefern.

Zu den quantitativen Anforderungen gehören die Zuverlässigkeit, der Sichtbereich sowie das Zeitverhalten (Messfrequenz und Latenzzeit) und die Messgenauigkeit. Letztere wird in der Regel aus der Messgenauigkeit des zu bewertenden Systems hergeleitet.

**Gegenüberstellung von Referenzsystemen** Nach aktuellem Stand der Technik können drei Kategorien identifiziert werden, die die mögliche Realisierungen von Referenzsystemen umfassen. Diese Kategorisierung

basiert auf dem Funktionsprinzip und der Umsetzung der jeweiligen Referenzsysteme:

- Kategorie I: Referenzsysteme basierend auf einem fahrzeugmitgeführten Umgebungserfassungssystem
- Kategorie II: Referenzsysteme basierend auf einem fahrzeugfremden Umgebungserfassungssystem
- Kategorie III: Referenzsysteme basierend auf globaler Lokalisierung und Interfahrzeugkommunikation

Basierend auf der (a-priori) Erfüllung der zuvor hergeleiteten Anforderungen durch die jeweilige Kategorie, können diese gegenübergestellt werden. Diese Gegenüberstellung ist in Abbildung 21.2 als „Kiviat-Diagramm“ dargestellt.

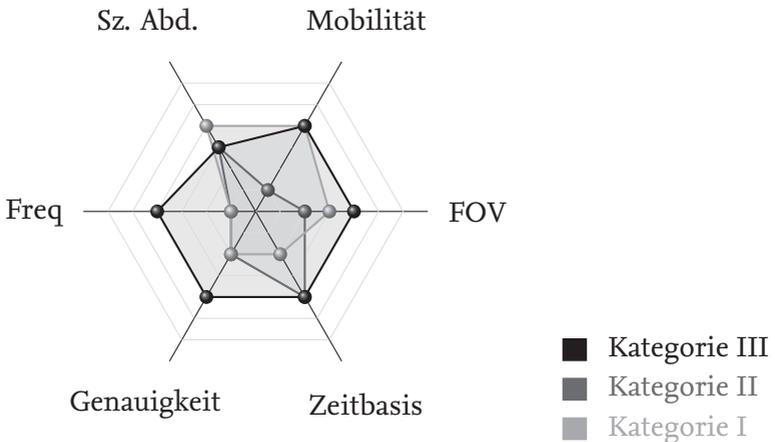


Abbildung 21.2: Gegenüberstellung als Kiviat Diagramm , FOV: Field of View (Sichtbereich), Sz. Abd.:Szenenabdeckung, Freq: Messfrequenz

**Validierung eines Referenzsystems: Referenz der Referenz** Bei der Validierung des Referenzsystems handelt es sich theoretisch um die „Referenz der Referenz“, wobei alle zuvor erwähnten Aspekte und Anforderungen gelten müssen. Ein solches physikalisches System ist in der Praxis nur mit einem sehr großen Aufwand realisierbar. Als Ausweg wird in dieser Arbeit ein „Teile-und-Herrsche“ ähnliches Verfahren eingesetzt. Dabei wird, anstatt ein gesamtes neues Referenzsystem zu finden oder zu entwickeln, das zu validierende Referenzsystem in dessen Teilaspekte unterteilt, die einzeln validiert werden können. Diese Idee veranschaulicht Abbildung 21.3.

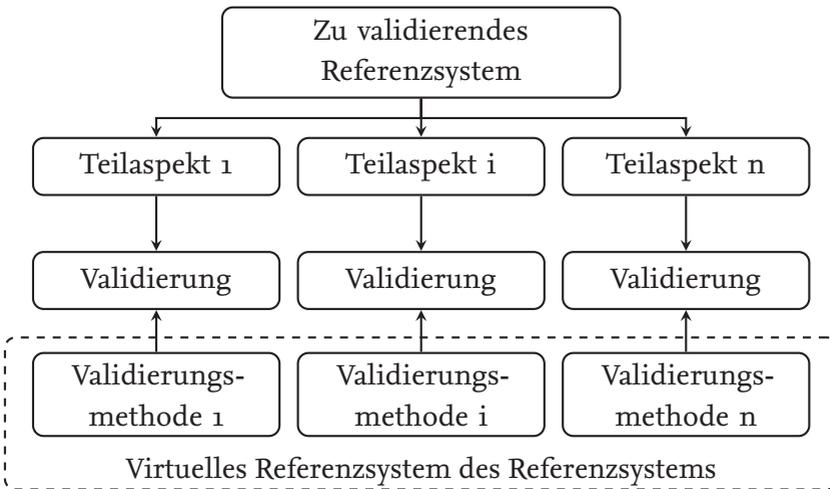


Abbildung 21.3: Prinzip der Validierung des Referenzsystems durch die Validierung der einzelnen Teilaspekte. Die Summe der Validierungsmethode ergibt ein virtuelles Referenzsystem

**Bewertung der objektbasierten Umfeldwahrnehmung** Nach der Validierung des Referenzsystems kann dieses nun für die Bewertung der ob-

jektbasierten Umfeldwahrnehmung herangezogen werden. Die Bewertung setzt sich dabei aus den in Abbildung 21.4 dargestellten Schritten zusammen.

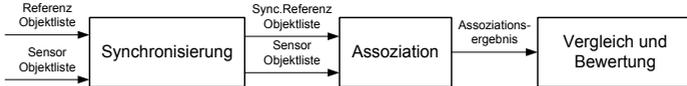


Abbildung 21.4: Verarbeitungsschritte für die Bewertung der Sensor-Objektbildung

Dabei erfolgt die Bewertung basierend auf Metriken, die aus dem automatischen und direkten Vergleich zwischen den Sensor- und Referenzobjektlisten berechnet werden. Das Prinzip dieser Assoziation ist in Abbildung 21.5 dargestellt.

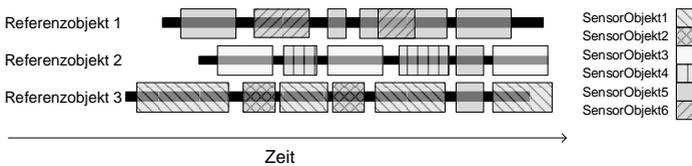


Abbildung 21.5: Illustratives Beispiel eines Assoziationsergebnisses

Basierend auf dem Assoziationsergebnis können die in Abbildung 21.6 dargestellten Ereignisse ermittelt werden.

Wird der zeitliche Ablauf dieser Assoziation berücksichtigt, so können zwei weitere Metriken als Maß für die Objektverfolgungsfähigkeit ermittelt werden: ID-Stabilität, Object Purity (OP) und zeitliche Abdeckung CV (Coverage). Die Leistungsfähigkeit eines Umfeld erfassungssystems kann nicht mit einem einzelnen Kriterium (Messgenauigkeit, Erkennungsrate usw.) beschrieben werden. In der Regel müssen verschiedene Aspekte für die Bewertung einbezogen werden. Die vorgestellten Aspekte der Objekterkennungsfähigkeit, der Objektverfolgungsfähigkeit und

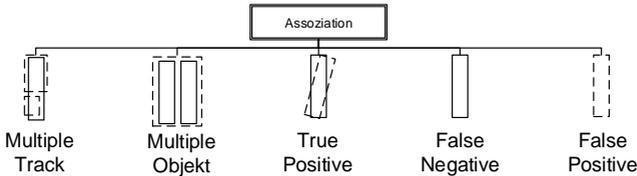


Abbildung 21.6: Assoziationsergebnis; Referenz , - - - Sensor

der Messgenauigkeit können kombiniert für die Beurteilung der Leistungsfähigkeit eines Umfelderkennungssystems herangezogen werden. Eine mögliche Zusammenfassung dieser Beurteilung kann mithilfe des „Kiviat-Diagramms“ erfolgen, siehe Abbildung 21.7.

**Praktische Umsetzung** Basierend auf der Gegenüberstellung der Referenzsysteme wurde ein Referenzsystem der Kategorie III ausgewählt und umgesetzt, dessen Funktionsprinzip in Abbildung 21.8 dargestellt ist.

Die von diesem Referenzsystem zu erfüllenden Anforderungen wurden basierend auf zwei zu bewertenden Umfelderkennungssensoren aus dem Stand der Technik definiert: dem Laserscanner SCALA (Ibeo Automotive) und dem Long Range Radar LRR3 (Robert Bosch GmbH). Die Validierung dieses Systems erfolgt mit Hilfe unterschiedlicher Methoden, die jeweils für einen Teilaspekt herangezogen werden. Zum Beispiel wird für die Validierung der Abstandsmessgenauigkeit eine Methode entwickelt, bei der der Abstand zwischen dem Egofahrzeug und dem Zielfahrzeug über die Zeit während einer Fahrt konstant gehalten wird. Hierfür wird das Egofahrzeug vom Zielfahrzeug mit Hilfe einer starren Stange gezogen. Dadurch kann der vom Referenzsystem

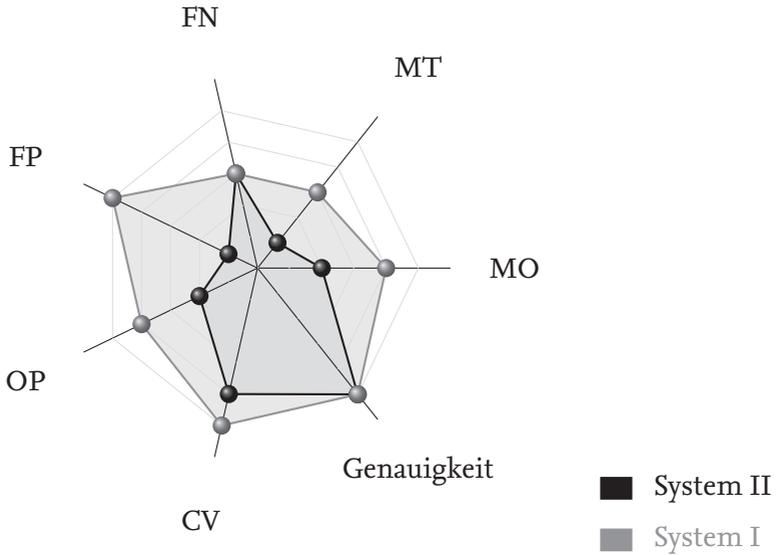


Abbildung 21.7: Beispielhafte zusammenfassende Bewertung als Kiviat Diagram. MO: Multiple Object, MT: Multiple Target, FN: False Negative, FP: False Positive, OP: Object Purity (ID-Stabilität), CV: Coverage (zeitliche Abdeckung)

ermittelte Abstand mit dem Sollabstand (Länge der Stange) verglichen werden. Abbildung 21.9 zeigt ein Beispiel dieses Vergleichs.

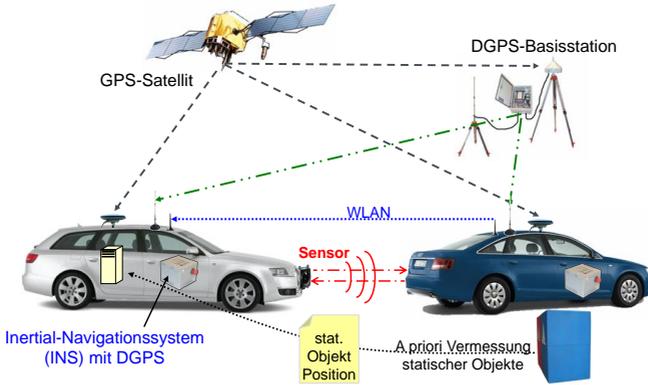


Abbildung 21.8: Funktionsprinzip des Referenzsystems

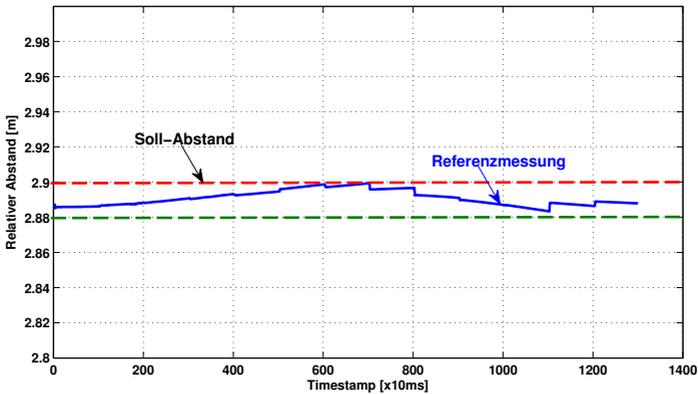


Abbildung 21.9: Vergleich des Referenzabstands mit dem Sollabstand 2.9 m. Die grüne Linie entspricht dem unteren Toleranzbereich 2.9 m - 2 cm.

**Teil III**

# **Aktivitäten von Partnern**



## 22 MAN gewinnt mit aFAS den ersten „Truck Innovation Award“

von Inga Jatzkowski und Torben Stolte

MAN Truck & Bus hat mit dem Projekt *automatisch fahrerlos fahrenden Absicherungsfahrzeug für Arbeitsstellen auf Autobahnen* (aFAS) den ersten Truck Innovation Award 2019 gewonnen. Der Preis wird von der Jury *International Truck of the Year* (IToY) vergeben, die sich aus Nutzfahrzeugredakteuren und Journalisten großer Trucking-Magazine aus Europa und Südafrika zusammensetzt. Dieser neue Preis honoriert die enormen technischen Entwicklungen im Nutzfahrzeugbereich.

MAN setzte sich dabei gegen Mitbewerber von Mercedes-Benz, Volvo Trucks, Renault Trucks, DAF sowie ZF durch. Für den Preis werden Fahrzeuge mit einem Gewicht von über 3,5 t nominiert, welche fortschrittliche Technologien zeigen. Sie sollten entweder alternative Antriebstechnologien zeigen oder alternative Kraftstoff- bzw. Energiespeichersysteme. Alternativ können auch neuartige Technologielösungen, wie neue Möglichkeiten der Vernetzung, teil- oder vollautomatisiertes Fahren, Platooning-Fähigkeiten, oder fortschrittliche Assistenzsysteme wie Ferndiagnosemöglichkeiten demonstriert werden.

Der Truck Innovation Award wurde Joachim Drees, Vorstandsvorsitzender der MAN Truck & Bus, im Rahmen des Pressetages der IAA Nutzfahrzeuge überreicht, Abbildung 22.1.

Die IToY-Journalisten zeigte sich dabei beeindruckt, dass das aFAS bereits auf 4000 km öffentlicher Straße unfallfrei getestet wurde. Jury-



Abbildung 22.1: MAN Truck & Bus CEO Joachim Drees (rechts) nimmt den Truck Innovation Award auf der IAA Nutzfahrzeuge von Jury-Präsident Gianenrico Griffini entgegen. ©MAN Truck & Bus

mitglieder hoben zudem positiv hervor, dass das aFAS Leben retten kann, da Wanderbaustellen auf Autobahnen ein erhebliches Risiko für die Betriebsdienstmitarbeiter und -mitarbeiterinnen darstellt, die das Absicherungsfahrzeug fahren. Auffahrunfälle mit Lkw sind keine Seltenheit. Sie zeigten sich ebenfalls erfreut über die einfache Bedienbarkeit des aFAS, das hohe Maß an aktiver Sicherheit und die weite Nutzung von Serienkomponenten. Zusätzlich positiv erwähnt wurde, dass es sich bei dem aFAS um das erste Level 4 Fahrzeug im öffentlichen Straßenverkehr in Europa handelt.

Gianenrico Griffini, der Vorsitzende des *International Truck of the Year*, fasste die Abstimmung der Jury mit den folgenden Worten zusammen: „Mit dem aFas-Projekt hat MAN nicht nur eine effektive Lösung zum

Schutz mobiler Baustellen auf Autobahnen geliefert, sondern auch wichtige Erkenntnisse für die zukünftige Entwicklung vollautomatisierter Straßenfahrzeuge gewonnen.“

Neben MAN Bus & Truck als Konsortialführer setzte sich das aFAS-Konsortium aus den Unternehmen Bosch Automotive Steering, WABCO und ZF, dem Straßenverkehrsbetrieb des Landes Hessen “Hessen Mobil“, dem Bundesamt für Straßenwesen (BASt) sowie der Hochschule Karlsruhe und der TU Braunschweig zusammen. Das Institut für Regelungstechnik der TU Braunschweig war für die Sicherheitskonzeption des automatisierten Betriebs auf Gesamtfahrzeugebene verantwortlich.

Wir gratulieren MAN Truck & Bus herzlich zum „Truck Innovation Award 2019“!



**Teil IV**

**Publikationen und  
Medienberichte**



## 23 Publikationen

BAGSCHIK, G.; NOLTE, M.; ERNST, S.; MAURER, M.: A System's Perspective Towards an Architecture Framework for Safe Automated Vehicles. In: *2018 IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*. Maui, HI, USA : IEEE, 2018

GRAUBOHM, R.; STOLTE, T.; BAGSCHIK, G.; STEIMLE, M.; MAURER, M.: Functional Safety Concept Generation within the Process of Preliminary Design of Automated Driving Functions at the Example of an Unmanned Protective Vehicle. In: *Proceedings of the 22nd International Conference on Engineering Design (ICED19)*. Delft, Niederlande : Cambridge University Press, 2019

JATZKOWSKI, I.; WILKE, D.; MAURER, M.: A Deep-Learning Approach for the Detection of Overexposure in Automotive Camera Images. In: *2018 IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*. Maui, HI, USA : IEEE, 2018

MENZEL, T.; BAGSCHIK, G.; ISENSEE, L.; SCHOMBURG, A.; MAURER, M.: From Functional to Logical Scenarios: Detailing a Keyword-Based Scenario Description for Execution in a Simulation Environment. In: *2019 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*. Paris, Frankreich : IEEE, 2019

MÖSTL, M.; NOLTE, M.; SCHLATOW, J.; ERNST, R.: Controlling Concurrent Change - A Multiview Approach Toward Updatable Vehicle Automation Systems. In: SAIDI, S. (Hrsg.); ERNST, R. (Hrsg.); ZIEGENBEIN, D. (Hrsg.): *Workshop on Autonomous Systems Design (ASD 2019)*

Bd. 68. Dagstuhl : Schloss Dagstuhl – Leibniz-Zentrum fuer Informatik, 2019

MÖSTL, M.; SCHLATOW, J.; PEECK, J.; ERNST, R.; NOLTE, M.; JATZKOWSKI, I.; MAURER, M.; JANKOWSKI, A.: Controlling Concurrent Change: Managing In-Field Change in Critical Embedded Systems. In: *2018 12th European Workshop on Microelectronics Education (EWME)*. Braunschweig, 2018

NOLTE, M.; ERNST, S.; RICHELMANN, J.; MAURER, M.: Representing the Unknown – Impact of Uncertainty on the Interaction between Decision Making and Trajectory Generation. In: *2018 IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*. Maui, HI, USA : IEEE, 2018

NOLTE, M.; KISTER, N.; MAURER, M.: Assessment of Deep Convolutional Neural Networks for Road Surface Classification. In: *2018 IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*. Maui, HI, USA : IEEE, 2018

PLACHETKA, C.; RIEKEN, J.; MAURER, M.: The TUBS Road User Dataset: A New LiDAR Dataset and its Application to CNN-based Road User Classification for Automated Vehicles. In: *2018 IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*. Maui, HI, USA : IEEE, 2018

ROSENBERGER, P.; WENDLER, J. T.; HOLDER, M. F.; LINNHOF, C.; BERGHÖFER, M.; WINNER, H.; MAURER, M.: Towards a Generally Accepted Validation Methodology for Sensor Models - Challenges, Metrics, and First Results. In: *Grazer Symposium Virtuelles Fahrzeug*. Graz, Österreich, 2019

SCHRÄDER, T.; STOLTE, T.; GRAUBOHM, R.; JATZKOWSKI, I.; MAURER, M.: Konzipierung eines autonomen Familienfahrzeugs. In: *AAET 2019 – Automatisiertes und vernetztes Fahren*. Braunschweig : ITS Niedersachsen, 2019

SCHRÄDER, T.; STOLTE, T.; JATZKOWSKI, I.; GRAUBOHM, R.; MAURER, M.: An Approach for a Requirement Analysis for an Autonomous Family Vehicle. In: *2019 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*. Paris, Frankreich : IEEE, 2019

SCHULDt, F.; PHILIPP, R.; MENZEL, T.: Erkennung von Basismanövern auf Autobahnen aus Messdaten zur Erstellung von Szenarien und Testfällen für den Absicherungsprozess. In: *34. VDI/VW Gemeinschaftstagung Fahrerassistenzsysteme und automatisiertes Fahren 2018*. Wolfsburg, 2018

STOLTE, T.; LIAO, T.; NEE, M.; NOLTE, M.; MAURER, M.: Investigating Functional Redundancies in the Context of Vehicle Automation – A Trajectory Tracking Perspective. In: *2018 IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*. Maui, HI, USA : IEEE, 2018

STOLTE, T.; QIU, L.; MAURER, M.: Reference Trajectories for Investigating Fault-Tolerant Trajectory Tracking Control Algorithms for Automated Vehicles. In: *Advances in Automotive Control*. Orléans, Frankreich : IFAC, 2019

WOOPEN, T.; LAMPE, B.; BÖDDEKER, T.; ECKSTEIN, L.; KAMPMANN, A.; ALRIFAE, B.; KOWALEWSKI, S.; MOORMANN, D.; STOLTE, T.; JATZKOWSKI, I.; MAURER, M.; MÖSTL, M.; ERNST, R.; ACKERMANN, S.; AMERSBACH, C.; WINNER, H.; PÜLLEN, D.; KATZENBEISSER, S.; LEINEN, S.; BECKER, M.; STILLER, C.; FURMANS, K.; BENGLER, K.; DIERMEYER, F.; LIENKAMP, M.; KEILHOFF, D.; REUSS, C.; BUCHHOLZ, M.; DIETMAYER, K.;

LATEGAHN, H.; SIEPENKÖTTER, N.; ELBS, M.; VON HINÜBER, E.; DUPUIS, M.; HECKER, C.: UNICARagil – Disruptive Modular Architectures for Agile Automated Vehicle Concepts. In: *27. Aachener Kolloquium*. Aachen, 2018

# 24 Die Arbeitsgruppe in den Medien

Unser Institut konnte auch im akademischen Jahr 2018/2019 wiederum ein großes Medienecho erzielen. Im Folgenden findet sich eine Auswahl von Beiträgen und Artikeln in diversen Medienformaten.

## 24.1 Radio und Fernsehen

Medium	Datum	Artikel
Deutschlandfunk Kultur	18.01.2019	Autonomes Fahren - Wohin steuern wir?
Sat.1 Regional	05.02.2019	Selbstfahrende Modellautos auf dem Carolo Cup in Braunschweig
NDR	06.02.2019	Hallo Niedersachsen - Carolo-Cup: Modellautoren in Braunschweig
Sat.1 Regional	09.05.2019	Braunschweiger Forscher testen autonomes Linksabbiegen
RTL	09.05.2019	Intelligente Kreuzung - Links abbiegen sicher machen
NDR	09.05.2019	Hallo Niedersachsen - Braunschweiger Forscher testen autonome Autos
ARD	13.05.2019	Tagesschau - „Projekt Pegasus“: Forschungen zum autonomen Fahren

## 24.2 Printmedien

Medium	Datum	Artikel
Braunschweiger Zeitung	01.02.2019	Carolo-Cup: Modellfahrzeuge messen sich auf dem Parcours
Braunschweiger Zeitung	02.02.2019	Modellfahrzeuge auf dem Parcours
Aller Zeitung	04.02.2019	Wettkampf der kleinen Autos
Braunschweiger Zeitung	05.02.2019	Coole Kisten ganz allein unterwegs
Braunschweiger Zeitung	08.02.2019	Carolo-Cup: Team der TU Braunschweig wird Dritter
Wolfsburger Nachrichten	08.02.2019	Der e.Wolf fährt auf den vierten Platz
Neue Braunschweiger Zeitung	10.02.2019	Spatzen flogen allen davon
Braunschweiger Zeitung	06.04.2019	Neun Highlights zwischen Weltall und Galapagos
Braunschweiger Zeitung	15.04.2019	Autonomes Abbiegen wird auf Braunschweigs Straßen getestet
Braunschweiger Zeitung	23.05.2019	Braunschweiger Forscher bringen das autonome Fahren voran
Braunschweiger Zeitung	24.09.2019	Der Prozess: Anklage gegen das autonome Fahren!
Braunschweiger Zeitung	02.10.2019	Autonomes Fahren: Freispruch mit Auflagen

## 24.3 Veröffentlichungen auf Internetseiten

Medium	Datum	Artikel
Deutschlandfunk.de	23.11.2018	Sicherheit im Autobahnbau - Ohne Fahrer auf der A3
Volkswagen Stiftung.de	15.01.2019	Autonomes Fahren: Wohin steuern wir?
Volkswagen Stiftung.de	22.01.2019	Autonomes Fahren: Welche Chancen sehen Sie?
Volkswagen Stiftung.de	23.01.2019	Autonomes Fahren: Wer wagt es?
Volkswagen Stiftung.de	29.01.2019	Autonomes Fahren: Welche Risiken sehen sie?
pressebox.de	31.01.2019	VIRES unterstützt interantionalen Hochschulwettbewerb
Braunschweiger-Zeitung.de	01.02.2019	Modellfahrzeuge messen sich auf dem Parocurs
Trendyone.de	07.02.2019	Ulmer Studierende gewinnen Carolo-Cup für selbstfahrende Modellautos
Golem.de Forschung und Wissenschaft	07.06.2019	Digitaler Knoten 4.o: Auto und Ampel im Austausch



Technische Universität Braunschweig  
Institut für Regelungstechnik  
Hans-Sommer-Str. 66  
38106 Braunschweig

ISBN: 978-3-9814969-8-7