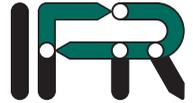




Technische  
Universität  
Braunschweig

Institut für  
Regelungstechnik



# Elektronische Fahrzeugsysteme 2017

Jahresbericht: Akademisches Jahr 2016/2017

Markus Maurer, Gerrit Bagschik (Hrsg.)

## **Titelbild**

Carolo-Cup® 2017

Copyright:

Stadthalle Braunschweig

© 2017

Technische Universität Braunschweig

Institut für Regelungstechnik

## **Impressum**

Copyright:

© 2017

Technische Universität Braunschweig

Institut für Regelungstechnik

Prof. Dr.-Ing. Markus Maurer

Gerrit Bagschik (Hrsg.)

ISBN:

978-3-9814969-6-3



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Vorwort</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Die AG Elektronische Fahrzeugsysteme</b>	<b>11</b>
2.1	Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter . . . . .	11
2.2	Neue Kolleginnen und Kollegen . . . . .	12
2.3	Abgänge . . . . .	17
<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 . . . . .	22
3.3	Studentische Arbeiten . . . . .	44
3.4	Prüfungen am Institut . . . . .	47
<b>4</b>	<b>Ereignisse</b>	<b>49</b>
4.1	Carolo-Cup 2017 . . . . .	49
4.2	Besuch Prof. Mohan Trivedi (UC San Diego) .	53
<b>II</b>	<b>Berichte aus der Forschung</b>	<b>55</b>
<b>5</b>	<b>Stadtpilot</b>	<b>57</b>

<b>6</b>	<b>Automatisch fahrerlos fahrendes Absicherungsfahrzeug für Arbeitsstellen auf Autobahnen (aFAS)</b>	<b>67</b>
<b>7</b>	<b>Wertebasierte Verhaltensentscheidung</b>	<b>73</b>
<b>8</b>	<b>Kooperation mit der AUDI AG</b>	<b>79</b>
<b>9</b>	<b>Industriekooperation zur Umfeldwahrnehmung</b>	<b>83</b>
<b>10</b>	<b>Valet Parking</b>	<b>85</b>
<b>11</b>	<b>Digitaler Knoten 4.o</b>	<b>87</b>
<b>12</b>	<b>Eldery People Intersection Crossing Assist (EPICa)</b>	<b>89</b>
<b>13</b>	<b>Controlling Concurrent Change (CCC)</b>	<b>91</b>
<b>14</b>	<b>MOBILE</b>	<b>95</b>
<b>15</b>	<b>Abgeschlossene Promotionen</b>	<b>99</b>
	15.1 Dissertation Fabian Schuldt . . . . .	99
	15.2 Dissertation Andreas Reschka . . . . .	102
<b>III</b>	<b>Publikationen und Medienberichte</b>	<b>111</b>
<b>16</b>	<b>Publikationen</b>	<b>113</b>
	16.1 Artikel in Fachzeitschriften, Konferenzbeiträge mit Review und Buchkapitel . . . . .	113
	16.2 Dissertationen . . . . .	115
<b>17</b>	<b>Die Arbeitsgruppe in den Medien</b>	<b>117</b>
	17.1 Radio und Fernsehen . . . . .	117

17.2	Printmedien . . . . .	118
17.3	Veröffentlichungen auf Internetseiten . . . . .	119



# 1 Vorwort

*von Markus Maurer*

„You should be proud of your system perspective.“ Diesen Rat hat Mohan Trivedi von der University California San Diego unserem Absolventen Simon Ulbrich als Berichterstatter in seinem Promotionsverfahren mitgegeben. Er trifft unsere aktuelle Institutssituation so gut, dass ich ihn gerne an prominenter Stelle zu Beginn des diesjährigen Jahresberichts verewige.

Mohan, thank you so much for the long journey all the way from San Diego to Braunschweig, thank you for your talk in the „old building“ of TU Braunschweig and thank you for your wise comments.

Für uns ist dieses Lob von außen auch deshalb so wichtig, da uns der tägliche Blick auf die Herausforderungen der maschinellen Umfeld- und Selbst-Wahrnehmung, der funktionalen Sicherheit und der Absicherung im Arbeitsalltag sehr bescheiden macht und gelegentlich auch überkritisch mit uns selber werden lässt. Tatsächlich zeichnet die Systemperspektive auf autonome Straßenfahrzeuge unsere Arbeitsgruppe aus. Die wissenschaftlichen Beiträge in den Projekten aFAS, „Value Based Decision Making“, „Digitaler Knoten 4.0“, „Controlling Concurrent Change“ und vielen anderen Projekten, über die wir auch in diesem Jahr gerne berichten, zeichnen sich überwiegend durch die systemische Perspektive aus und liegen damit oft neben dem Mainstream der Forschergruppen aus den Bereichen maschinelle Wahrnehmung, maschinelles Lernen, Regelungs- oder Fahrzeugtechnik.

Wir freuen uns, dass unsere Sichtweise zumindest in Deutschland und Kalifornien zunehmend wahrgenommen wird und Anhänger findet.

Wenn sich zentrale Forschungsfragen aus meinem Impulsreferat vor der Ethikkommission „automatisiertes und vernetztes Fahren“ des BMVI im Abschlussbericht als offene Fragen wiederfinden, wenn die Zwischenpräsentation im Projekt Pegasus des BMWi unter den Fragen „Wie sicher ist sicher genug?“ und „Wie weisen wir die Sicherheit nach?“ steht und damit zwei zentrale Forschungsfragen von Hermann Winner und mir aus dem Projekt „Autonomes Fahren - Villa Ladenburg“ mit der Daimler und Benz Stiftung aufnimmt, dann wissen wir, dass unsere Vorarbeiten beachtet werden und wirken. Viele Gespräche mit Entscheidern, Forschern, Journalisten und Vertretern der Gesellschaft und auch Rückmeldungen auf unseren letzten Jahresbericht bestätigen uns, dass die funktionale Sicherheit, die Absicherbarkeit von Systemen und das ethisch korrekte Verhalten von autonomen Fahrzeugen entscheidend sein werden für die gesellschaftliche Akzeptanz.

Wie in den vergangenen Jahren auch möchten wir an dieser Stelle unseren Dank für die vielfältige Unterstützung unserer Forschungen zum Ausdruck bringen: Da sind zunächst als Zuwendungsgeber das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie im Projekt aFAS, das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur im Projekt „Digitaler Knoten 4.0“, die Deutsche Forschungsgemeinschaft im Projekt CCC sowie die Daimler und Benz Stiftung im Projekt „Value-Based Decision Making“ zu nennen. Neu ist dieses Jahr das vom Land Niedersachsen geförderte Projekt „EPICa - Elderly People Intersection Crossing Assistant“ hinzugekommen.

Fruchtbar fortsetzen konnten wir die Zusammenarbeit mit den Kollegen von Volkswagen und Audi sowie von Wabco und Hella. Als Arbeitsgruppe der Technischen Universität Braunschweig erhalten wir wertvolle Unterstützung von Präsidium, Zentralverwaltung und Fakultät.

Mein besonderer Dank geht an alle Lehrenden der Arbeitsgruppe: die wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, Thomas Form als Honorarprofessor und Bernd Lichte als Lehrbeauftragten. Allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern in der Arbeitsgruppe danke ich für die intensive und konstruktive Zusammenarbeit im vergangenen Jahr. Die bestehenden Verträge und die Rückmeldungen unserer öffentlichen und privaten Fördergeber machen mich zuversichtlich, dass wir auch im kommenden Jahr unter günstigen Rahmenbedingungen gemeinsam forschen können.



# 2 Die AG Elektronische Fahrzeugsysteme

## 2.1 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter

Während des akademischen Jahres 2016/2017 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
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. Inga Jatzkowski	Wissenschaftliche Mitarbeiterin
M.Sc. Till Menzel	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Dipl.-Ing. Matthias Müller	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
M.Sc. Marcus Nolte	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
M.Sc. Andreas Reschka	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
M.Sc. Jens Rieken	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: 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
Robert Haider	Auszubildender Technik
Dominic Heinemann	Auszubildender Technik
Maximilian Jung	Auszubildender Technik
Leonie Reese	Auszubildende Technik
Sebastian Michael Soja	Auszubildender Technik

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

## 2.2 Neue Kolleginnen und Kollegen

Wir freuen uns sehr, in diesem Berichtszeitraum wieder zwei neue Mitarbeiter in unserer Arbeitsgruppe „Elektronische Fahrzeugsysteme“ willkommen zu heißen.

## 2.2.1 Robert Graubohm

*von Robert Graubohm*



Ich arbeite seit Januar 2017 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut. Im Zuge der Kooperation mit WABCO beschäftige ich mich mit der Unterstützung und Automatisierung von Rangiermanövern, insbesondere beim Einsatz von Anhängern. Außerdem habe ich begonnen, Erfahrungen der Arbeitsgruppe über die Strukturierung der frühen Entwicklungsphase automatisierter Fahrfunktionen zur Berücksichtigung der Aspekte funktionaler Sicherheit zu erfassen und grafisch in einem Referenzprozess aufzubereiten.

Aufgewachsen bin ich in Wunstorf nahe Hannover und habe dort 2010 mein Abitur gemacht. Anschließend bin ich für das Studium des Wirtschaftsingenieurwesens Fachrichtung Maschinenbau nach Braunschweig gekommen. Mich reizte die Verknüpfung von Wirtschaftswissenschaften und Technik in einem Studiengang. Die Möglichkeit, sich durch verschiedene Fachrichtungen direkt einer technischen Fakultät zuzuordnen und später aus technischen Vertiefungen dieses Themenfelds zu wählen, waren dabei Argumente für diesen Studienort. Das Bachelorstudium habe ich im Jahr 2013 abgeschlossen. In diesem Zeitraum war ich außerdem im Komponentenvertrieb der Siemens AG am Stand-

ort Braunschweig als Werkstudent beschäftigt. Das Masterstudium im gleichen Studienfach habe ich direkt im Anschluss begonnen. Dabei waren in meiner technischen Vertiefungsrichtung – der Mechatronik – diverse Veranstaltungen, die eher aus dem Bereich der Elektrotechnik stammen, optional belegbar. Auf dieser Basis lernte ich das Institut für Regelungstechnik und seine Forschungsschwerpunkte kennen. Die interessanten Themen der Arbeitsgruppe und eine aktuelle Ausschreibung brachten mich auf die Idee, mich nach meinem Abschluss auch hier zu bewerben.

Während des Studiums habe ich mich innerhalb der Mechatronik auf Veranstaltungen der Robotik und Fertigungsautomatisierung konzentriert. Meine wirtschaftswissenschaftlichen Vertiefungsrichtungen waren Produktion und Logistik sowie Decision Support. Sowohl zu Schulzeiten als auch im Studium lagen mir mathematiklastige Fächer besonders gut. Insofern war die Unterstützung der Veranstaltungen der Ingenieurmathematik während meines Studiums eine sehr angenehme Nebentätigkeit. Insgesamt war ich acht Semester als studentische Hilfskraft am Institut Computational Mathematics tätig. Das Masterstudium absolvierte ich als Double-Degree-Programm im Zuge des Austauschprogramms mit der University of Rhode Island. Etwas mehr als ein Jahr verbrachte ich zwischen August 2014 und September 2015 an der nordamerikanischen Ostküste, wo ich das einjährige Programm des MBA in Strategic Innovation durchlief. Die Struktur und Inhalte des MBA-Programms orientieren sich am Six-Sigma-Kernprozess DMAIC und ein erfolgreiches Absolvieren geht mit einer Green-Belt-Zertifizierung einher. Im Abschlussprojekt des Auslandsstudiums habe ich zusammen mit zwei amerikanischen Kommilitoninnen Analysen bestehender Lagerhaltungssysteme für das Einzelhandelsunternehmen der Pharmaziebranche CVS Health durchgeführt. Im vergangenen Jahr beendete ich dann das deutsche Masterstudium mit einer Abschlussarbeit über die

Modellbildung zur Toleranzanalyse einer automatisierten Folienzell-assemblierung in der Battery LabFactory Braunschweig. Dabei habe ich eine Monte-Carlo-Simulation zur Analyse der Prozessgenauigkeit eingesetzt, basierend auf der Quantifizierung der Unsicherheiten einzelner Teilschritte und einer mathematischen Formulierung der Toleranzkette.

## 2.2.2 Matthias Müller

*von Matthias Müller*

Seit März 2017 arbeite ich als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Regelungstechnik.

Aufgewachsen in der Nähe von Hildesheim, habe ich dort Abitur gemacht und Zivildienst geleistet. Nach dem Abschluss einer Ausbildung zum Tischler in einem kleinen auf hochwertige Laden- und Praxiseinrichtungen spezialisierten Betrieb entschied ich mich gegen eine Zukunft im Handwerk und für ein Elektrotechnik-Studium an der TU Braunschweig.

Im Studium war ich zunächst besonders an Messtechnik interessiert. Das Gelernte wollte ich studienbegleitend praktisch anwenden und so stieß ich zum Team CDLC. Hier habe ich das Gebiet des autonomen Fahrens kennengelernt und beschlossen, weiter in diese Richtung zu gehen. Das Projekt Stadtpilot habe ich durch meine HiWi-Tätigkeit kennengelernt. Das Fachpraktikum leistete ich in der Volkswagen-Konzernforschung ab. Dort habe ich unter anderem an der Bestimmung der GPS-Ortungsgenauigkeit in städtischer Umgebung gearbeitet. Mit einer von Andreas Reschka betreuten Abschlussarbeit zur Trajektorienplanung im Projekt Stadtpilot habe ich schließlich im Dezember 2016 mein Studium abgeschlossen.

Am Institut setze ich die Arbeit am Projekt Stadtpilot fort. Die Schwerpunkte liegen dabei auf der Trajektorienplanung und der Integration der Stadtpilot-Funktion in die neu aufgebaute Simulationsumgebung. Ich freue mich, das Team zu verstärken und die Arbeit auf dem faszinierenden Gebiet des autonomen Fahrens fortsetzen zu können.

## 2.3 Abgänge

### 2.3.1 Andreas Reschka

*von Gerrit Bagschik*

Mit Andreas hat uns unser dienstältester wissenschaftlicher Mitarbeiter in Richtung des Silicon Valley verlassen. Andreas war als wissenschaftlicher Mitarbeiter der Uni Hildesheim seit 2009 Mitglied im Team des Projekts Stadtpilot. Ab 2014 unterstützte er uns dann tatkräftig als Kollege am Institut für Regelungstechnik. Richtungsweisend für seine Zukunft ist wohl der halbjährige Auslandsaufenthalt an der Stanford University im Projekt Value Based Decision Making, begleitet von seiner Frau und seinem Sohn. Nach dem Einreichen seiner Dissertation gab es für Andreas in der Bay Area viele interessante Themen, Gesprächspartner und vor allem Firmen. Nach seiner Rückkehr ans Institut und Abschluss der Promotion freuen wir uns daher sehr, dass die Arbeiten unserer Arbeitsgruppe auch für hoch innovative Startups so relevant sind, dass eines davon Andreas als neuen Mitarbeiter im Bereich der Sicherheit für automatisierte Fahrzeuge eingestellt hat.

Wir danken dir, Andreas, für die langjährige Unterstützung und wünschen dir und deiner Familie alles Gute bei eurem Abenteuer im Land der unbegrenzten Möglichkeiten.



**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
( <i>Master</i> –)Teamprojekt	G. Bagschik
Mathematische Methoden für Elektronische Fahrzeugsysteme	Prof. Lichte
Oberseminar Elektronische Fahrzeugsysteme	Prof. Maurer

Tabelle 3.1: Veranstaltungen im Wintersemester 2016/2017

<b>Veranstaltung</b>	<b>Vortragende</b>
Elektromagnetische Verträglichkeit in der Fahrzeugtechnik	Prof. Form
Fahrerassistenzsysteme mit maschineller Wahrnehmung	Prof. Maurer
Fahrzeugsystemtechnik	Prof. Maurer

<b>Veranstaltung</b>	<b>Vortragende</b>
(Master-)Teamprojekt	G. Bagschik
Oberseminar Elektronische Fahrzeugsysteme	Prof. Maurer

Tabelle 3.2: Veranstaltungen im Sommersemester 2017

<b>Labor</b>	<b>Zeitraum</b>
Entwurf von vernetzten eingebetteten Fahrzeugsystemen	SoSe 17
Vernetzung und Diagnose im Kraftfahrzeug	SoSe 17

Tabelle 3.3: Labore im akademischen Jahr 2016/2017

## 3.2 Neues aus der Lehre

### 3.2.1 Oberseminar

von *Torben Stolte*

Das Oberseminar „Elektronische Fahrzeugsysteme“ wurde im Wintersemester 2016/2017 und im Sommersemester 2017 angeboten. Es dient dem vertieften wissenschaftlichen Austausch zu aktuellen Themen aus den Forschungsfeldern der Arbeitsgruppe Elektronische Fahrzeugsysteme. Die dreistündigen Termine werden von den Vortragenden frei gestaltet, wobei weniger Frontalvorträge als viel mehr offene Formate gewählt werden, um so den wissenschaftlichen Diskurs zu fördern. Es richtet sich vor allem an Wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Forschungsfelds „Intelligentes Fahrzeug“ des Nieder-

sächsischen Forschungszentrums für Fahrzeugtechnik sowie an wissenschaftlich interessierte Master-Studierende.

Der Fokus der Vorträge im vergangenen akademischen Jahr lag dabei auf den besonderen Herausforderungen der Fahrzeugautomatisierung, dem wissenschaftlichen Arbeiten sowie den Projekten des Lehrstuhls für elektronische Fahrzeugsysteme. Im Mittel waren im Wintersemester 13 und im Sommersemester 20 Teilnehmende im Oberseminar zu verzeichnen. Den 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
Jan Timo Wendler	Referenzierung in der Umfeldwahrnehmung
Team Stadtpilot	Projekt Stadtpilot – Aktueller Stand und Fahrversuch
Marcus Nolte, Frank Dierkes & Simon Ulbrich	Funktionale Systemarchitekturen – Aktuelle Diskussionen, Ideen für Führung & Stabilisierung
Till Menzel & Markus Steimle	X-in-the-Loop-Simulationen, inklusive Fahrversuch Vehicle-in-the-Loop
Team MOBILE	Projekt MOBILE – Aktueller Stand und Fahrversuch

Tabelle 3.4: Themen des Oberseminars im Wintersemester 2016/2017

<b>Vortragende</b>	<b>Thema</b>
Markus Maurer	Erfolgreiches wissenschaftliches Arbeiten
Jens Rieken	Laserbasierte Umfeldwahrnehmung
Team Stadtpilot	Projekt Stadtpilot – Aktueller Stand und Fahrversuch
Torben Stolte	Resiliente Fahrwerkssysteme
Marcus Nolte	Self-Aware Vehicles
Gerrit Bagschik & Till Menzel	Konzeptionelle Herausforderungen bei der Freigabe von Level 3+ Fahrfunktionen
Team MOBILE	Projekt MOBILE – Aktueller Stand und Fahrversuch
Markus Steimle	Vehicle in the Loop mit Fahrversuch

Tabelle 3.5: Themen des Oberseminars im Sommersemester 2017

### 3.2.2 Das CDLC-Team 2017

*von Waldemar Klan (Team CDLC)*

#### **Rückblick - Carolo-Cup 2017**

Im vergangenen Februar wurde die Stadthalle Braunschweigs zwei ganze Tage wieder der Austragungsort für einen Wettbewerb autonom fahrender Modellfahrzeuge. Insgesamt fanden 17 Teams den Weg nach Braunschweig; darunter auch ein Team aus Schweden. Da auch die Juroren das erste Mal eine internationale Besetzung aufwiesen, musste die statische Disziplin diesmal in englischer Sprache vorgetragen werden. Mit einer intensiven Entwicklungsphase im Rücken und als motivierter Titelverteidiger, stellten wir uns den anspruchsvollen Herausforderungen des Carolo-Cups mit unserem Carolinchen IX.

Der Carolo-Cup 2017 zeigte erneut, wie fast jedes Jahr, eine Steigerung im Schwierigkeitsgrad des Parcours. So kamen Neuerungen, wie zum Beispiel das Halten an einem Zebrastreifen mit wartendem Fußgänger oder auch die Erkennung von Sperrflächen und Geschwindigkeitsbeschränkungen hinzu. Aber auch das Einparken erschwerte sich von einem parallelen Einparkmanöver zum Einparken in eine Querparklücke. Auch den Organisatoren war klar, dass bestimmte Disziplinen, besonders für neue Teams, nicht einfach zu bewältigen sein würden, weshalb vereinfachte Varianten der Disziplinen angeboten wurden. Obgleich es vereinfachte Varianten gab, zeigte sich während des ersten Trainingstages sehr schnell, dass vereinfacht nicht einfach hieß. So hatte jedes Team in den verschiedenen Schwierigkeitsvarianten seine eigenen Probleme; uns leider eingeschlossen. Am nächsten Tag war dann der große Tag. Der Tag der autonomen Modellfahrzeuge, der Tag, der über die mühsame Zeit der Entwicklung gnadenlos richten sollte, der Tag der Kompromisslosigkeit: Der Tag des Wettbewerbs.



Abbildung 3.1: Carolinchen IX während des Carolo-Cups 2017

Unser Team, das in allen Disziplinen in der höchsten Schwierigkeitsstufe antrat, musste nun zeigen, wie gut programmiert und entwickelt wurde. Begonnen wurde mit dem Einparken in der erweiterten Disziplin, das in 5,65 Sekunden fehlerfrei gelang und uns, zumindest in dieser Disziplin, den ersten Platz sicherte. Dies war eine große Erleichterung, da noch während des Trainingstages einige Fehldetektionen aufgetreten waren. Die nächste Disziplin, der Rundkurs ohne Hindernisse, war eine sichere Sache für uns, da bereits im letzten Jahr alles hervorragend gelaufen war und wir nur einige Parameter während des Trainingstages modifiziert hatten. Carolinchen fuhr sehr schnell und legte mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 3,1 m/s eine Strecke von knapp 372 Metern zurück. Sie belegte damit auch in dieser Disziplin souverän den ersten Platz. Die Königsdisziplin des Cups, der Rundkurs mit Hindernissen im erweiterten Modus, verlangte uns deutlich mehr ab. Carolinchen musste unter korrektem Einsatz der Blinker Hindernissen ausweichen bzw. diese überholen, an Kreuzungen abbie-

gen, wenn nötig Vorfahrt gewähren, verkehrsberuhigte Bereiche erkennen und ihre Geschwindigkeit anpassen, Zebrastreifen mit Fußgängern wahrnehmen, um ggf. anzuhalten und zu warten, bis der Fußgänger die Straßenseite gewechselt hat. Nach drei Minuten ertönte der Schlusspfeif. Zwar musste unser Mann an der Fernbedienung einmal eingreifen,



Abbildung 3.2: Das Team CDLC war auch in diesem Jahr das Siegerteam im erweiterten Modus des Carolo-Cups 2017.

aber Carolinchen legte 105 Meter zurück. Jedoch waren wir nicht die einzigen, die den Parcours in diesem Schwierigkeitsgrad absolvierten. Die ISF Löwen, die ebenfalls an der TU Braunschweig anzutreffen sind, waren die größte Konkurrenz. Auch sie bewältigten den Rundkurs sehr zügig und sogar ohne Fernbedienungseingriff. Allerdings konnten wir trotz unseres Eingriffs glücklicherweise einige Meter mehr zurücklegen als die ISF Löwen und wurden so Sieger in dieser Disziplin. Für einen Gesamtsieg war allerdings auch das Ergebnis der statischen Disziplinen entscheidend. Hier lag unsere Punktezahl im Mittelfeld, wobei der Punkteabstand zu den anderen Teams sehr gering war. Es kann

gesagt werden, dass alle Teams bei diesem Cup eine hervorragende Präsentation abliefern.

Nach Beendigung der Präsentationsphase verließen alle Fahrzeuge den Parcours und die Teams versammelten sich vor der Leinwand. Die Regie hielt den Spannungsbogen mehrere Minuten, bis sie schließlich verkündete, dass Carolinchen nicht nur die dritte dynamische Disziplin für sich entscheiden konnte, sondern insgesamt den ersten Platz des Carolo-Cups im erweiterten Modus belegte.

### **Veranstaltungen in 2017**

Neben dem Carolo-Cup, der zweifelsohne die Hautveranstaltung ist, nahmen bzw. nehmen wir an folgenden Veranstaltungen teil:

- TU Night
- ConCarExpo
- Bosch Engineering Workshop

Am Tag der offenen Tür, der TU-Night, präsentierten wir uns zusammen mit den ISF Löwen an einem gemeinsamen Stand bis spät in die Nacht. Dadurch hatten wir die Möglichkeit, unsere Arbeit als Teil der Universität dem Laufpublikum greifbar zu machen. Auf der ConCarExpo hatten wir eine Fachklientel, die auf uns aufmerksam wurde und damit einhergehend einige konstruktive Diskussionen eröffnete. Bei dem kommenden Bosch Engineering Workshop in Abstatt bei Stuttgart werden wir versuchen, bereits einige Disziplinen des kommenden Carolo-Cups vorzuführen und hoffentlich auch in den Genuss von Fachdiskussionen mit den anderen Teams und den Gastgebern zu kommen.

Abgesehen von den Veranstaltungen beteiligen wir uns bei *unitativ*. Darin sind mehrere studentische Vereinigungen der TU mit dem Ziel

organisiert, die Existenz der studentischen Vereinigungen unter den neuen Studierenden bekannt zu machen und auf diese Weise neue Mitglieder zu gewinnen.

### **Das aktuelle Team**

Als Auftakt zur neuen Saison fand sich das Team nach dem Carolo-Cup und der Prüfungsphase das erste Mal Anfang April zusammen. Wir nahmen uns ein Wochenende Zeit, die vergangene Saison in einer teambildenden Atmosphäre zu besprechen und die neue Saison zu planen. Mit elf Mitgliedern starteten wir im Sommersemester, leider verließen uns ein paar Mitglieder aufgrund des Endes ihres Studiums, aber wir erhielten in diesem Wintersemester wieder weiteren Zuwachs.



Abbildung 3.3: Ein Teil der aktuellen Besetzung des Team CDLC

Momentan sind wir 13 aktive Teammitglieder aus den verschiedensten Studiengängen. Bei uns sind Elektrotechniker, Informationssystem-

techniker, Kraftfahrzeugtechniker, Maschinenbauer, Elektromobilisten und Masterstudenten der Elektronischen Systeme vertreten. Für die Gewinnung neuer Mitglieder treten wir unter anderem bei der Erstsemesterbegrüßung im Braunschweiger Eintracht-Stadion auf. Wir hoffen dadurch mehr Bekanntheit zu erlangen und unser Team stetig zu erweitern.

### Entwicklungsstand

An konstruktiven Arbeiten beschäftigen wir uns gerade mit der Verbesserung von Carolinchen X. Sie durfte bei dem vergangenen Carolo-Cup leider noch nicht antreten, aber wir sind sehr zuversichtlich, dass sie unseren Titel im nächsten Jahr verteidigen darf. Wir ersetzen ihren Rahmen durch einen geschweißten Gitterrohrrahmen, der uns in Puncto Stabilität und Gewichtsreduzierung massiv unterstützten soll. Bedingt durch ein neues Hindernis im Carolo-Cup, die Rampe, müssen auch Veränderungen am Fahrwerk vorgenommen werden. So muss beispielsweise unser Fahrwerksaufbau erhöht werden, da wir sonst auf der Kuppel auf der Fahrbahn aufsetzen würden. Weiterhin hat unser Fachmann neue Reifen organisiert, die uns eine bessere Traktion verschaffen sollen.

Im Zuge des letzten *Resümees* verständigten wir uns darauf, dass wir gern eine Schätzung für den Zustand unseres Fahrzeuges hätten. Darunter fallen unter anderem die Fahrzeuglängsgeschwindigkeit, die Gierrate und der Schimmwinkelvektor. Wir hoffen, dass uns ein Maussensor dabei unterstützen kann. Erste Versuche sind bereits vielversprechend, lediglich die Datenaufbereitung und eine sinnvolle Position im Fahrzeug sind zu diskutieren. Softwareseitig ist natürlich einiges an Entwicklungsarbeit zu leisten. Die neuen Regeländerungen des Carolo-Cups zwingen uns, den Code umzuschreiben und leider auch neu zu schrei-

ben. Die größte Herausforderung sehen wir momentan noch bei der Rampe, denn wenn Carolinchen auf die Steigung zufährt, faltet sich die Spur optisch auf, was zum Verlust der Orientierung und der Gefahr des Absturzes führen kann. Leitplanken erschienen uns deshalb wichtig für eine Rampe. Abschließend lässt sich noch etwas zur Karosserie sagen. Diese haben wir massiv mit einem Autogramm von der Rallye-Legende *Walter Röhrl* (s. Abbildung 3.4) aufgewertet. Obgleich der Carolo-Cup ausschließlich nicht Off-Road ausgetragen wird, wird der Kenner schnell sehen, dass die Karosserie Carolinchens dem Audi Sportquattro E2 Pikes Peak von Walter Röhrl aus den 80er Jahren nachempfunden ist.



Abbildung 3.4: Karosse von Carolinchen mit einem Autogramm von Rallye-Legende Walter Röhl

### 3.2.3 SummerCamp 2017

*von Jan Timo Wendler*

Im Zeitraum vom 3. bis 8. September hatte ich in diesem Jahr zum vierten Mal die Aufgabe, mit Kollegen von anderen Instituten das SummerCamp 2017 in Schulenberg (Harz) auszurichten. Neben 23 Studierenden der TU Braunschweig aus den Bereichen Elektrotechnik, Informatik und Maschinenbau nahmen zum sechsten Mal auch Studierende des Dynamic Design Labs sowie zum ersten Mal Studierende des Department of Aeronautics and Astronautics der Stanford University (USA) teil.

Das SummerCamp ist ein Planspiel, das gemeinsam mit den Instituten für Programmierung und Reaktive Systeme (IPS), Softwaretechnik und Fahrzeuginformatik (ISF) und Verkehrssicherheit und Automatisierungstechnik (iVA) durchgeführt wird.

Inhaltlich wird den Studierenden der Entwicklungsprozess anhand des V-Modells, welches auch bei großen Automobilherstellern und Zulieferern Anwendung findet, durch praktische Erfahrung veranschaulicht. In drei konkurrierenden Teams wird entsprechend des Modells ein vernetztes, auf mehrere Steuergeräte verteiltes Komfortsystem entwickelt. Ausgegangen wird dabei von einer Systembeschreibung, welche die Teilnehmer analysieren und daraus Systemanforderungen extrahieren. Nachdem die Anforderungen definiert wurden, ist eine funktionale Systemarchitektur zu erstellen, welche anschließend in Hard- und Software umgesetzt werden muss. Während der Entwicklungsphasen wird auf die Verbindung zum Testprozess geachtet und Testfälle werden spezifiziert und durchgeführt. Im abschließenden Abnahmetest wird die Funktionalität durch die Betreuer gegen die eingangs ausgehändigte Systembeschreibung getestet.

Ein Schwerpunkt der Veranstaltung ist das selbstorganisierte Arbeiten der einzelnen Teams. Zudem werden die Teilnehmer (Abbildung 3.5) durch die Konkurrenz zwischen den Teams und durch die unterschiedlichen Fortschritte gefordert. Ergänzt wird der Ablauf durch zusätzliche Aufgaben, in denen die Studierenden zum Beispiel innerhalb von kurzer Zeit ihren aktuellen Projektstatus präsentieren müssen.



Abbildung 3.5: Teilnehmende des SummerCamps 2017

Die einzelnen Phasen des Entwicklungsprozesses werden durch Fachvorträge eingeleitet. Diese werden zum einen von Vertretern der beteiligten Institute und zum anderen von Industrievertretern gehalten, zum Beispiel von Volkswagen, dSpace, Elektrobit und Luxoft

(Symtavision). Dabei werden die verschiedenen Aspekte der Prozessphasen und die im SummerCamp verwendeten Werkzeuge vorgestellt, die auch in der Automobilindustrie eingesetzt werden.

In diesem Jahr durften wir zum sechsten Mal Studierende der Stanford University begrüßen. Die Studenten des Dynamic Design Labs und des Department of Aeronautics and Astronautics wurden so aufgeteilt, dass ein englischsprachiger Student pro Gruppe vertreten war. Die Teilnahme der englischsprachigen Gäste hatte in den letzten Jahren das SummerCamp bereichert und die Durchführung in englischer Sprache mit sich gebracht. Die positive Rückmeldung der letzten Jahre wurde erneut durch alle Teilnehmenden – sowohl auf Seiten der hiesigen Studierenden als auch auf Seiten der Amerikaner – bestätigt. Wir hoffen, auch im nächsten Jahr wieder Studierende aus Stanford beim SummerCamp begrüßen zu dürfen.

Abschließend kann sowohl von unserer Seite als auch aufgrund des Feedbacks der Studierenden für das diesjährige SummerCamp ein positives Fazit gezogen werden. Ganz herzlich bedanken wir uns bei allen Referenten, bei den unterstützenden Unternehmen, die uns die Räumlichkeiten und die Werkzeuge zur Verfügung gestellt haben, sowie bei den beteiligten Instituten.

Persönlich möchte ich mich besonders bei Lukas Martin, der 2009 als Teilnehmer und seit 2011 als Betreuer teilgenommen hat, sowie bei den anderen Kollegen aller beteiligten Institute für die von mir als sehr positiv empfundene Zusammenarbeit bedanken und wünsche uns bereits jetzt ein erfolgreiches SummerCamp 2018!

### 3.2.4 Stanford Students at the SummerCamp 2017

*von Tim Allan Wheeler, Matthew Brown, and Jeremy Morton*

This year, Matt Brown, Jeremy Morton, and Tim Wheeler from Stanford had the opportunity to participate in the automotive design SummerCamp run annually by TU Braunschweig in the Volkswagen Schulungsheim. TU Braunschweig has a long-standing partnership with Stanford's automotive lab through a connection between Prof. Chris Gerdes and Prof. Markus Maurer.

The planning game is run and managed by PhD candidates at TU Braunschweig. They come from automotive engineering, electrical engineering, and computer science in accordance to the multidisciplinary nature of the Planning Game. Jan Timo Wendler was the lead organizer, and did a phenomenal job leading up to the event, welcoming us to Germany, and executing the event.

The camp organizers did a fantastic job of making us feel welcome upon our arrival in Germany. We were given a tour of the TU Braunschweig campus and lab facilities, as well as the city of Braunschweig (Figure 3.6). Our hosts also introduced us to German food and drinks, taking us out to local restaurants for dinner, brunch, and ice cream during our first day there. During our commute to the camp, we also got the opportunity to visit the town of Goslar, where we were able to take in views of traditional German architecture and the scenic local countryside.

The planning game had competing teams follow the automotive V-model to develop a comfort system according to the AUTOSAR standard. The class was high intensity, which increased the team and management factors of the project and thereby highlighted their importance in real-world development. As engineering students, we often feel very comfortable working individually, but working in larger teams at the



Abbildung 3.6: Matthew Brown, Tim Allan Wheeler, Jeremy Morton, Jan Timo Wendler, and Robert Graubohm in front of the castle of Braunschweig.

camp makes students learn and practice how to work together. Students from different language, cultural, and academic backgrounds were grouped together in teams, so a major aspect of the camp was learning how to effectively communicate and organize within a diverse group. We had the opportunity to learn a wide variety of industry tools, but perhaps even more importantly, we honed our presentation skills and practiced communicating with a realistic management team. We feel we learned a great deal and highly recommend the simulation game.

### 3.2.5 Vorlesung Fahrerassistenzsysteme

von Susanne Ernst

Dieses Jahr stand in der Lehrveranstaltung *Fahrerassistenzsysteme mit maschineller Wahrnehmung* nicht nur die geänderte Namensgebung zu *Fahrerassistenzsysteme und automatisiertes Fahren* im Vordergrund, sondern eine Überarbeitung der Veranstaltung im Allgemeinen. Zeitgleich mit der Namensänderung wurde auch der inhaltliche Fokus der Veranstaltung angepasst. In den letzten Jahren wurde die Veranstaltung zusammen mit der Vorlesung *Fahrzeugsystemtechnik* beständig um Inhalte des automatisierten Fahrens erweitert. Um weiterhin eine klare Trennung zwischen den Vorlesungen zu gewährleisten, wurden die Inhalte reorganisiert und neu strukturiert. So sind einige Übungsinhalte, wie der Beobachter und das Einspurmodell, zu *Fahrzeugsystemtechnik* gewandert. Dafür wurde der systematische Entwurfsprozess von Fahrerassistenzsystemen zu einer semesterbegleitenden Übung ausgebaut und den Studierenden die Möglichkeit gegeben, in Gruppen ein Konzept für ein beispielhaftes Assistenzsystem zu entwickeln und am Ende der Lehrveranstaltung in einer Präsentation vorzustellen. Durch die semesterbegleitende Aufgabe sollen den Studierenden relevante Fragestellungen bei der Entwicklung eines Assistenzsystems näher gebracht und somit zeitgleich eine bessere Prüfungsvorbereitung gewährleistet werden.

Ausschlaggebend für die Neustrukturierung der Veranstaltung war das Ziel, die Lehre näher an die institutseigene Forschung zu rücken. So wurden die Themen *Lidarbasierte Umfeldwahrnehmung* von Jens Rieken und *Model Predictive Control* von Marcus Nolte vorgestellt. Ergänzend zu der Vorlesung zu Umfeldwahrnehmung wurden stochastische Methoden, wie das Kalman-Filter oder das Partikel-Filter, als Werkzeug für die Zustandsschätzung eines Systems eingeführt.

Da dieses Jahr keine Exkursion mit Volkswagen stattfand, wurden den Studierenden die Versuchsträger Leonie, Mobile und der Vehicle-in-the-Loop Prüfstand vorgestellt. Auch hier konnte man die Forschung näher an die Studierenden herantragen und die Relevanz der in der Vorlesung vorgestellten Themen bekräftigen.

### 3.2.6 Vorlesung Fahrzeugsystemtechnik

von Inga Jatzkowski

Auch in diesem Semester erhielt die Vorlesung Fahrzeugsystemtechnik wieder deutlichen Zuwachs hinsichtlich der Teilnehmerzahlen. Etwa 120 Studierende waren im Sommersemester 2017 in die Veranstaltung eingeschrieben. Durch die bereits im letzten Durchlauf erhöhte Teilnehmerzahl wurde der Ablauf der Veranstaltung nicht beeinträchtigt. Für einen ausreichend großen Hörsaal war gesorgt, auch wenn dieser zu Beginn des Semesters an seine Kapazitätsgrenze stieß. Die Situation entspannte sich jedoch im Laufe des Semesters etwas.

In diesem Semester wurde die Vorlesung durch das Projekt *Automatisch fahrerlos fahrendes Absicherungsfahrzeug für Arbeitsstellen auf Autobahnen* (aFAS, siehe Kapitel 6) als Beispiel aus der Forschung ergänzt, um den Studierenden den praktischen Nutzen der Vorlesungsinhalte zu verdeutlichen. Torben Stolte stellte die Inhalte zu Beginn der Vorlesung vor und erläuterte den Entwicklungsprozess und die Absicherung des *automatisch fahrerlos fahrenden Absicherungsfahrzeugs* (AFA). Anschließend stand er den Studierenden für Fragen zum Projekt und den angewendeten Prozessen zur Verfügung. Auch im weiteren Verlauf wurde die Vorlesung immer wieder durch Experten aus dem Kollegenkreis unterstützt. So bereicherten etwa Markus Steimle und Jan Timo Wendler die Vorlesung zum Thema Testen und Simulation sowie Robert Graubohm zum Thema Entwicklungsprozesse.

Aufgrund der hohen Teilnehmerzahl war es leider in diesem Semester nicht mehr möglich die praktische Übung mit den 1:8 Fahrzeugen durchzuführen. Im Zuge der Umstrukturierung in der Lehre wurde eine rein theoretische Übung gehalten. Hierfür wurden die bestehenden Übungsinhalte aus der Vorlesung Fahrerassistenzsysteme (FAS) ergänzt, sodass Fahrzeugsystemtechnik nun die Grundlagenvorlesung für Fahrerassistenzsysteme darstellt. Einige Übungsinhalte aus Fahrzeugsystemtechnik werden dafür nun in FAS behandelt, wie etwa das Kalman-Filter. Die praktische Übung mit den 1:8 Fahrzeugen soll möglicherweise in der Zukunft als eigenes Labor angeboten werden.

### 3.2.7 Master-Teamprojekt

von Gerrit Bagschik

Das Master-Teamprojekt wurde mit den neuen Masterstudiengängen *Elektromobilität* und *Elektronische Systeme* an der Fakultät 5 als Alternative zum Industriepraktikum eingeführt. Die Studierenden absolvieren in diesem Modul eine Gruppenarbeit, die im Verlauf eines Semesters, in großen Teilen selbstorganisiert, bearbeitet werden soll. Am Institut für Regelungstechnik werden diese Gruppenarbeiten in den Projekten *Stadtpilot* und *MOBILE* angeboten. Inhalt und Ausrichtung werden in jedem Semester an den aktuellen Arbeitsstand in den Projekten angepasst. Somit können die Studierenden neben Soft Skills wie Präsentieren, Teamarbeit und Eigenorganisation einen Einblick in den aktuellen Stand der Forschung erhalten. Da die Projekte jeweils eigene Versuchsträger betreiben, werden die Aufgaben stets so formuliert, dass die Studierenden die Ergebnisse ihrer Arbeiten auch praktisch erleben können.

Eine Besonderheit in diesem Berichtszeitraum ist die Anmeldung eines einzelnen Studierenden für das Master-Teamprojekt. Dieser wurde in

ein Team aus wissenschaftlichen Mitarbeitern, Hilfskräften und studentischen Abschlussarbeiten eingeordnet und konnte so auch als einzelner Teilnehmer die Aufgabe in einem größeren Team bearbeiten. Darüber hinaus wurde eine weitere Einzelaufgabe im Rahmen einer Mitarbeit im Formula-Student Team der UPC Barcelona bearbeitet. Nach Beendigung des Auslandsaufenthaltes stellte der Student seine Arbeit in einem Projektbericht und einer Präsentation vor.

In den beiden vergangenen Semestern wurden folgende Themen behandelt:

- Erkennung von Verkehrsschildern und Fahrbahnmarkierungen für ein automatisiertes Modellfahrzeug
- State of Charge-Estimation
- Implementierung eines Modells zur Bewertung von Verkehrssicherheit

### 3.2.8 Seminarvorträge

*von Inga Jatzkowski*

Im letzten Jahr wurden erneut zahlreiche interessante Seminarvorträge von unseren Studierenden gehalten. Die Inhalte der Vorträge beschäftigten sich mit elektronischen Fahrzeugsystemen, Fahrerassistenzsystemen und automatisiertem Fahren. Nach jedem Vortrag folgte eine häufig sehr intensive Diskussion über die fachlichen Inhalte und eine Feedbackrunde der Vorträge an sich.

#### **Wintersemester 2016/2017**

- Stand der Forschung zum Labeling von 3D-Punktclouden: Verfahren, Werkzeuge, Datenbanken
- Systemtheoretische Analyse für Unfälle automatisierter Fahrzeuge
- Bewertung der Autobahninfrastruktur
- Stand der Forschung: Deep Learning für die Anwendung zum automatisierten Fahren
- Ansätze zur Prädiktion von anderen Verkehrsteilnehmern
- Stand der Technik: Testautomatisierung
- Validierung von (Radar-) Sensormodellen
- JIPDA (Joint Integrated Probabilistic Data Association) zur Bewertung der Existenzunsicherheit bei der Objekterkennung
- Automatisiertes Fahren bei schlechten Witterungsbedingungen
- Fehlertolerante Fahrdynamikregelung
- Das FUSE Project - Forschung zur Funktionalen Sicherheit automatisierter Fahrzeuge in Schweden

### Sommersemester 2017

- Stand der Forschung: Metriken zur Bewertung der Güte von Sensordaten automatisierter Fahrzeuge
- Ontologien als Werkzeug zum Szenenverständnis an Kreuzungen
- Vergleich von Maschinellen Lernverfahren anhand beispielhafter Metriken
- Vergleich von Häufigkeitsverteilungen
- Autonomic Computing - Ein IT-Paradigma für sich selbst überwachende Systeme
- Detektion von Anomalien in Systemen mittels Invarianten
- Rekurrente neuronale Netze zum Lernen von zeitabhängigen Bewegungssequenzen

### 3.2.9 Industriepraktika

Im akademischen Jahr 2016/2017 wurden folgende Industriepraktika von unserer Arbeitsgruppe betreut:

- Bosch GmbH, Hildesheim
- ETT Verpackungstechnik GmbH, Moringen
- Volkswagen AG, Wolfsburg
- Samsung SDI Europe GmbH
- EvoBus GmbH, Mannheim
- IAV GmbH, Gifhorn
- Atlas Copco Application Center Europe GmbH, Essen

### 3.3 Studentische Arbeiten

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

*Analyse und Optimierung des Aufwach-, Hochlauf- und Einschlafverhaltens eines FlexRay-Verbundes in einem Verbundtester*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Bachelorarbeit, 2016

*Entwicklung eines Modellprädiktiven Planungsalgorithmus zur optimierten Trajektoriengenerierung im statischen Fahrzeugumfeld*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Masterarbeit, 2016

*Entwicklung und Implementierung einer szenen-basierten Gefährdungserignisidentifikation am Beispiel eines automatischen und fahrerlosen Absicherungsfahrzeugs*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Masterarbeit, 2016

*Implementierung einer CANoe und Simulink basierten Co-Simulation für ein elektrisches Drive-By-Wire Fahrzeug*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Bachelorarbeit, 2016

*Inbetriebnahme und Evaluierung verschiedener Fahrdynamikmodelle für den Test von automatisierten Fahrfunktionen in der Simulation*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Masterarbeit, 2016

*Modifikation eines Algorithmus zur Routenplanung auf makroskaler Ebene für ein automatisiertes Fahrzeug in urbaner Umgebung*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Bachelorarbeit, 2016

*Simulative Bewertung und Potentialabschätzung zur Unfallvermeidung beziehungsweise Unfallfolgeminderung durch Spurassistentz*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Masterarbeit, 2016

*Deep Scanning: Laserscanbasierte Umfeldwahrnehmung mit Deep Learning in automatisierten Fahrzeugen*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Masterarbeit, 2017

*Entwicklung und Implementierung eines Fehlerdiagnoseverfahrens für den Fahrzeugversuchsträger MOBILE*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Masterarbeit, 2017

*Entwicklung und Implementierung von Verfahren zur Erkennung von Überbelichtung und Blendung in Kamerabildern vorwärtsschauender Fahrzeugkameras*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Bachelorarbeit, 2017

*Entwurf, Implementierung und Evaluation von Verfahren zur Stützung von Tracking-Algorithmen durch die Verwendung punktwolkenbasierter Konturbeschreibungen*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Masterarbeit, 2017

*Entwurf und Implementierung eines neuronalen Netzes für die Manövererkennung umliegender Verkehrsteilnehmer für automatisierte Straßenfahrzeuge*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Masterarbeit, 2017

*Entwurf und Optimierung von künstlichen neuronalen Netzen auf Basis von simulationsbasierten Trainingsdaten am Beispiel einer Fahrstreifenverlaufs-schätzung für automatisierte Fahrzeuge*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Masterarbeit, 2017

*Entwurf und Test eines Trajektorienfolgereglers für ein überaktuiertes Modellfahrzeug*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Bachelorarbeit, 2017

*Identifikation der Parameter eines Fahrdynamikmodells für ein überaktuiertes Versuchsfahrzeug*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Masterarbeit, 2017

*Kamerabasierte Fahrstreifenmarkierungserkennung zur Auswertung der Infrastruktur auf Autobahnen*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Masterarbeit, 2017

*Modellprädiktive Regelung des Radmoments eines Fahrzeugs mit E-Maschine und elektromechanischer Bremse unter Berücksichtigung des fahrdynamischen Grenzfalls*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Masterarbeit, 2017

*Weiterentwicklung und Evaluierung eines merkmallosten Verfahrens zur visuellen Odometrie für ein automatisiertes Straßenfahrzeug*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Masterarbeit, 2017

*Wissensbasierte Szenariengenerierung am Beispiel eines automatischen und fahrerlosen Absicherungsfahrzeugs*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Bachelorarbeit, 2017

### 3.4 Prüfungen am Institut

Im Berichtszeitraum wurden folgende Prüfungen abgelegt:

<b>Name des Fachs</b>	<b>Anzahl der Prüfungen</b>	<b>Durchschnitts-Note</b>
Datenbussysteme	52	2,6
Elektromagnetische Verträglichkeit	82	2,5
Elektronische Fahrzeugsysteme	105	2,7
Fahrzeugsystemtechnik	84	2,4
Fahrerassistenzsysteme und automatisiertes Fahren	53	2,1
Grundlagen der Elektrotechnik	220	3,9
Hochvoltsicherheit im Kraftfahrzeug	20	1,7
( <i>Master</i> –)Teamprojekt	13	k. A.
Mathematische Methoden für elektronische Fahrzeugsysteme	7	2,0
Oberseminar	4	k. A.

Tabelle 3.6: Anzahl der Prüfungen im Rahmen unserer Lehrveranstaltungen



# 4 Ereignisse

## 4.1 Carolo-Cup 2017

*von der Pressestelle der TU Braunschweig*

17 studentische Teams aus ganz Deutschland, Schweden und der Schweiz traten mit ihren selbst entwickelten und autonom fahrenden Mini-Fahrzeugen zum Wettkampf im Jubiläumsjahr an, der erstmals in drei Leistungsklassen ausgetragen wurde. Neben dem Junior-Cup und dem Hauptwettbewerb, bei dem reale Szenarien auf Landstraßen gemeistert werden mussten, gingen vier Teams erstmalig im erweiterten Hauptwettbewerb an den Start. Komplexe Verkehrssituationen, wie sie in Vororten zu finden sind, waren zu bewältigen. Zebrastreifen, Abbiegepeile, Vorfahrtsregelungen sowie Überholverbote stellten die Teilnehmer vor besondere Herausforderungen.

Das Braunschweiger Team CDLC zeigte eine beeindruckende Leistung in allen Disziplinen und wiederholte damit den Sieg aus dem Vorjahr. Souverän parkte „Carolinchen“ vorwärts ein, überzeugte mit Schnelligkeit auf der Rennstrecke und meisterte die Herausforderungen im erweiterten Hindernisparcours. „Wir haben mit unserem großen Team früh angefangen, kontinuierlich gearbeitet und uns auf das Wesentliche konzentriert, das hat sich ausgezahlt. Nachdem bereits am Montag der Probelauf super lief, sind wir schon optimistisch in den Wettkampf gestartet“, freute sich Teamleiter Oskar Maier.



Abbildung 4.1: Die Teams CDLC und ISF Löwen der TU Braunschweig freuen sich gemeinsam über die starke Leistung.  
©TU Braunschweig, Stabstelle Presse & Kommunikation

Der Wettstreit um die ersten Plätze war fest in Braunschweiger Hand: Am Ende belegten die ISF Löwen der TU Braunschweig den zweiten Platz. Nach Platz drei im Vorjahr zeigte sich Teamleiter Yasar Isik sehr zufrieden mit der Leistungssteigerung des Modellautos „Simba III“: „Wir freuen uns riesig über den zweiten Platz. Von der Schnelligkeit wäre noch mehr drin gewesen, aber die Strecke war sehr glatt. Wir haben wenig Fehler gemacht und sind sehr sicher unterwegs gewesen.“

Den dritten Platz belegte das Team NaN der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg. Das Modellauto der Hamburger brachte nur 1,15 Kilo auf die Waage. Das Team erhielt damit, wie bereits im Vorjahr, den mit 500 Euro dotierten Sonderpreis des VDI für das leichteste Fahrzeug.



Abbildung 4.2: „Carolinchen“ vom Team CDLC erkennt den Zebrastreifen sicher.

©TU Braunschweig, Stabstelle Presse & Kommunikation

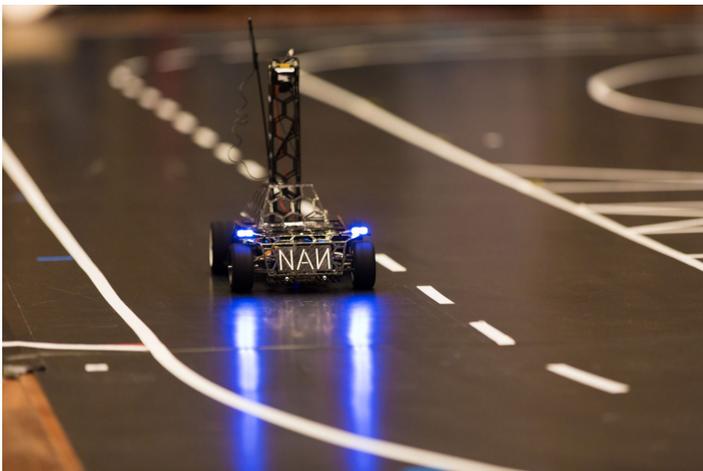


Abbildung 4.3: Schnell und leicht: Das autonome Modellauto des Teams NaN.

©TU Braunschweig, Stabstelle Presse & Kommunikation

Professor Thomas Form vom Organisationsteam des Instituts für Regelungstechnik hält die Regeländerungen im neuen Modus für wirkungsvoll: „Lange Jahre war der Schwierigkeitsgrad im Cup identisch. In diesem Jahr haben wir die Latte höher gelegt, um die Teams zu neuen Lösungen anzuregen. In den nächsten Jahren planen wir moderate Änderungen, denn wir möchten weiterhin die Begeisterung unter den Studierenden für das autonome Fahren wecken, schließlich ist der Weg das Ziel. Wir arbeiten gerade an einem Konzept, den Carolo-Cup zu straffen.“

Der Sieg im Hauptmodus ging an das Team Spatzenhirn der Universität Ulm. Ingolf Hurst kennt das Erfolgsgeheimnis: „Die robuste Spurerkennung und unsere Moosgummi-Reifen haben uns zum Sieg geführt. Wir wussten, dass unser Fahrzeug schnell ist und viel Strecke absolvieren kann.“

Im Junior-Cup wurde das Team „Die Eidgenossen“ von der Universität Basel mit dem ersten Platz ausgezeichnet.

Die Modellfahrzeuge im Maßstab 1:10 orientieren sich mit Hilfe von Kameras. Sie erkennen die vor dem Fahrzeug liegende Strecke und leiten die Kamerabilder dem Rechner mit der entsprechenden Software im Fahrzeug weiter. So gelingt es den Roboterfahrzeugen selbstständig die Fahrspur zu halten, die Geschwindigkeit entsprechend der Strecke anzupassen und in die richtige Richtung zu lenken.

Die Siegermannschaften konnten sich über ein Preisgeld von insgesamt 11.000 Euro freuen.

Am 14. Februar 2018 wird der nunmehr 11. Carolo-Cup stattfinden. Wir freuen uns, auch in den folgenden Jahren die Stadthalle als Veranstaltungsort gewonnen zu haben. Wir bedanken uns schon jetzt beim Team

der Stadthalle und dem Präsidium der TU Braunschweig für die große Unterstützung bei der Realisierung des nächsten Carolo-Cups.

## 4.2 Besuch Prof. Mohan Trivedi (UC San Diego)

*von Gerrit Bagschik*

Im Rahmen des Promotionsverfahren von Simon Ulbrich konnten die Arbeitsgruppe elektronische Fahrzeugsysteme und die TU Braunschweig Mohan Trivedi als Gast begrüßen. Prof. Trivedi ist einer der weltweit führenden Wissenschaftler auf dem Gebiet des autonomen Fahrens. Am Vortag der Verteidigung von Herrn Ulbrich gab es einen hochschulöffentlichen Vortrag zu ausgewählten Themen aus Prof. Trivedis Arbeiten. Ausgehend von den technischen Fortschritten in den Bereichen Bildverarbeitung, eingebettete Rechnersysteme, Umfeldwahrnehmung und Verhaltensplanung gewinnen die Themen Sicherheit, Robustheit und Zuverlässigkeit zunehmend an Relevanz für die breite Einführung autonomer Fahrzeuge. Wesentliche Aspekte dabei sind die Interaktion der Fahrzeuge mit dem Menschen im Fahrzeug, aber auch Personen, die sich in unmittelbarer Nähe des Fahrzeugs befinden. Prof. Trivedi erläuterte Einflussfaktoren und Konzepte, um einen ganzheitlichen Ansatz zum Verständnis der Komplexität autonomer Fahrzeuge zu entwickeln.

Nach dem gut besuchten Vortrag begann der nicht öffentliche Teil des Tages mit einem Besuch in der Fahrzeughalle im Bienroder Weg. So bekam Prof. Trivedi die Möglichkeit, alle Versuchsträger im kleinen Rahmen auf dem Campus Nord in Aktion zu erleben. Zurück am Institut gab es drei Vorträge mit anschließender Diskussion zu Forschungsthemen aus den Bereichen Stadtpilot, Absicherung und Fahrzeugsystemtechnik. Die fachlichen Diskussionen und speziell das Feedback von Prof. Trivedi eröffneten der Arbeitsgruppe eine neue Sicht auf unsere Ansätze,

welche oftmals eine systemische Perspektive zugrunde legen. Wir danken Prof. Trivedi, dass er sich die Zeit genommen hat, unsere aktuellen Arbeiten mit uns zu diskutieren.

**Teil II**

**Berichte aus der  
Forschung**



# 5 Stadtpilot

*von Jens Rieken, Susanne Ernst und Markus Steimle*

Das Projekt *Stadtpilot* befasst sich mit der Konzeption und Entwicklung automatisierter Fahrfunktionen in urbanen Umgebungen. Neben dem Institut für Regelungstechnik der Technischen Universität Braunschweig mit Professor Markus Maurer ist das Institut für Flugführung mit Professor Peter Hecker am Projekt beteiligt. Ziel des ausschließlich aus Mitteln von Instituten der Technischen Universität Braunschweig geförderten Projekts ist es, den Braunschweiger Stadtring im öffentlichen Straßenverkehr automatisiert zu umfahren. Die städtische Einsatzumgebung hält eine Vielzahl von Herausforderungen in allen Bereichen, beispielsweise der Umfeldwahrnehmung, Lokalisierung und Verhaltensgenerierung bereit. Neben Fahrstreifenfolgefunktionen umfasst dies auch Fahrstreifenwechselmanöver oder Abbiegevorgänge innerhalb einer Kreuzung bei Gegenverkehr oder zeitgleiche Ampelphasen mit Fußgängern und Radfahrern.

**Versuchsträger** Auch im vergangenen Jahr wurden Hard- und Software der im Projekt eingesetzten Komponenten weiterentwickelt, um in Zukunft die Herausforderungen besser bewältigen zu können. Dabei stand erstmals nicht nur Leonie als Versuchsträger für automatisierte Fahrfunktionen im Mittelpunkt. Parallel zu Wartung und Pflege von Leonie standen auch zwei neue Versuchsträger, VIL und RefSens als Test- und Referenzierungsplattformen im Fokus der Arbeiten. Auf den beiden Versuchsträgern wurden Ortungsplattformen, Sensoren und Rechnersysteme in Betrieb genommen, um Software-Module aus dem Stadtpilot dort ebenfalls verwenden zu können. Hierzu zählte auch die

Erstellung einer räumlichen Kalibrierung zur Ermittlung der relativen Lage der Komponenten. Diese wurde mit einem Stand-Laserscanner für Geodäsie-Anwendungen durchgeführt und ermöglichte eine genaue Vermessung der Versuchsträger.



Abbildung 5.1: Exemplarische Abbildung aus dem Kalibrierprozess der Versuchsträger. Im Bild zu erkennen sind Kugel- und Schachbrett-Marker, die zur Bestimmung der relativen Koordinaten von einzelnen Komponenten sowie zur Registrierung der Laser-Scans verwendet werden.

**Umfeldwahrnehmung** Zur Erweiterung der Umfeldwahrnehmung im Projekt wurde das Sensor-Setup um ein MobilEye-Kamerasystem hinter der Windschutzscheibe ergänzt, welche Informationen zu Objekten und Verkehrszeichen liefert. Damit steht der Umfeldwahrnehmung neben verschiedenen Laserscannern auf dem Fahrzeugdach (Velodyne HDL-64) bzw. in der vorderen und hinteren Stoßstange (jeweils Sick LD-MRS

und Sick LMS-151) und Radarsystemen (Delphi ESR2 und Delphi SRR2 im Frontbereich) nun auch ein System zur Verfügung, welches eine texturbasierte Klassifikation von Objekten ermöglicht.

Die Algorithmen zur Sensordatenfusion auf Objektebene wurden dahingehend erweitert, dass neben Zustandsgrößen auch Attribute wie Objektklasse und Brems- und Fahrtrichtungsanzeiger des Kamerasystems bei der Verarbeitung berücksichtigt werden. Zusammen mit den bereits für die Fusion der Radar-Objektdaten umgesetzten Algorithmen zur Verarbeitung zeitlich ungeordneter Sensordaten war eine zügige Integration des neuen Sensorsystems möglich. Damit werden nun sowohl extrahierte Objekte aus den Velodyne-Rohdaten, Radar-Objekte und Kamera-Objekte zu einem gemeinsamen Umfeldmodell fusioniert.

Ergänzend hierzu wurden zahlreiche Detailverbesserungen in der Rohdatenverarbeitung der Velodyne-Punktwolken durchgeführt. So wurde beispielsweise ein neuer Klassifikator für Bordstein-Strukturen aus Laserdaten umgesetzt, der die Scanlinien des Velodyne-Sensors auf Bordstein-spezifische Strukturen hin untersucht. Abbildung 5.2 zeigt beispielhafte Ergebnisse. Im Vergleich zum bisher rein höhenbasierten Ansatz zur Klassifikation konnte hierdurch eine deutlich gesteigerte Reichweite sowie präzisere Klassifikation der Strukturen erreicht werden.

**Evaluation der Umfeldwahrnehmung** Parallel zu Weiterentwicklungen der Umfeldwahrnehmung war die Referenzierung und Evaluation der bisher erreichten Ergebnisse Thema des letzten Jahres. Hierfür ist eine Vergleichsbasis erforderlich, um eine Bewertung hinsichtlich noch zu spezifizierender Metriken vornehmen zu können. Die Erzeugung einer solchen *Ground truth* kann auf verschiedene Weisen und in verschiedenen Güten erfolgen, welche abhängig von der angestrebten Bewertung sind.

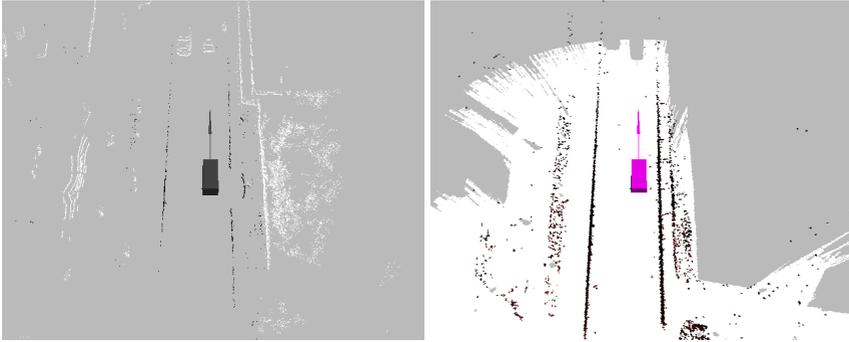


Abbildung 5.2: Bordstein-Klassifikation auf Basis von Velodyne-Punktwolken. Links: Erkennung der Bordsteinelemente in den Rohdaten (schwarz) und Bodenpunkte (weiß). Rechts: Akkumulierte Bordstein-Information zur späteren Fusion mit weiteren Merkmalen.

Zur Bewertung von Objekterkennung und -verfolgung lassen sich beispielsweise mit speziellen Ortungslösungen ausgestatteten Fahrzeuge einsetzen, die als zu erfassende Ziele für das zu referenzierende System dienen. In einem globalen Koordinatensystem lokalisiert, lassen sich relative Positionen der Ziele berechnen, ebenso wie präzise Geschwindigkeiten und Beschleunigungen der Ziele. Dieser Ansatz erlaubt die Bestimmung von Detektionsraten und Gütewerten der Zustandsschätzung im Genauigkeitsbereich der eingesetzten Ortungslösung, jedoch nur für entsprechend ausgestattete Fahrzeuge.

Ein weiterer Ansatz ist die Verwendung von Referenzalgorithmen und/oder -sensoren, welche eine Datenbasis für zu bewertende Systeme erzeugen können. Ein Teil hiervon ist die (ggf. semi-) manuelle Annotation von Sensordaten, bei welcher die Arbeit des Referenzalgorithmus durch den Menschen übernommen wird.

Während sich letzterer Ansatz für dieses Projekt derzeit in der Konzeptionsphase befindet, stehen mit VIL und RefSens bereits zwei entsprechend ausgestattete Fahrzeuge zur Verfügung, um die im ersten Ansatz beschriebene Methode exemplarisch umsetzen zu können. Zu diesem Zweck wurde mit allen drei Fahrzeugen eine Kolonnenfahrt im öffentlichen Straßenverkehr durchgeführt und die Positionslösungen von VIL und RefSens sowie die Sensorrohdaten von Leonie aufgezeichnet. Hierdurch ließ sich in der Nachprozessierung die Detektionsrate und -güte beider Ziele aus der Sicht des Egofahrzeugs bestimmen. Die hierfür entwickelten Softwarekomponenten wurden so gestaltet, dass sie auch mit weiteren Fahrzeugen und anderen Sensorsystemen eine Bewertung ermöglichen.

Abbildung 5.3 zeigt einige Ergebnisse der durchgeführten Auswertung. Zu sehen ist eine Fahrt auf einem Teil des Braunschweiger Rings, auf dem das Zielfahrzeug (RefSens) vor dem Egofahrzeug fährt und von dessen Sensorik erfasst wird. Während der Fahrt führt das Zielfahrzeug mehrere Anhalte- und Wiederanfahr-Manöver an Kreuzungen und Baustellen durch; Kurs und Geschwindigkeit sind im oberen Bild dargestellt. Das untere Bild zeigt die aus Sicht des Egofahrzeugs geschätzte Geschwindigkeit des Zielfahrzeugs im Vergleich zu der mittels einer INS-GNSS-Plattform ermittelten Geschwindigkeit des letzteren.

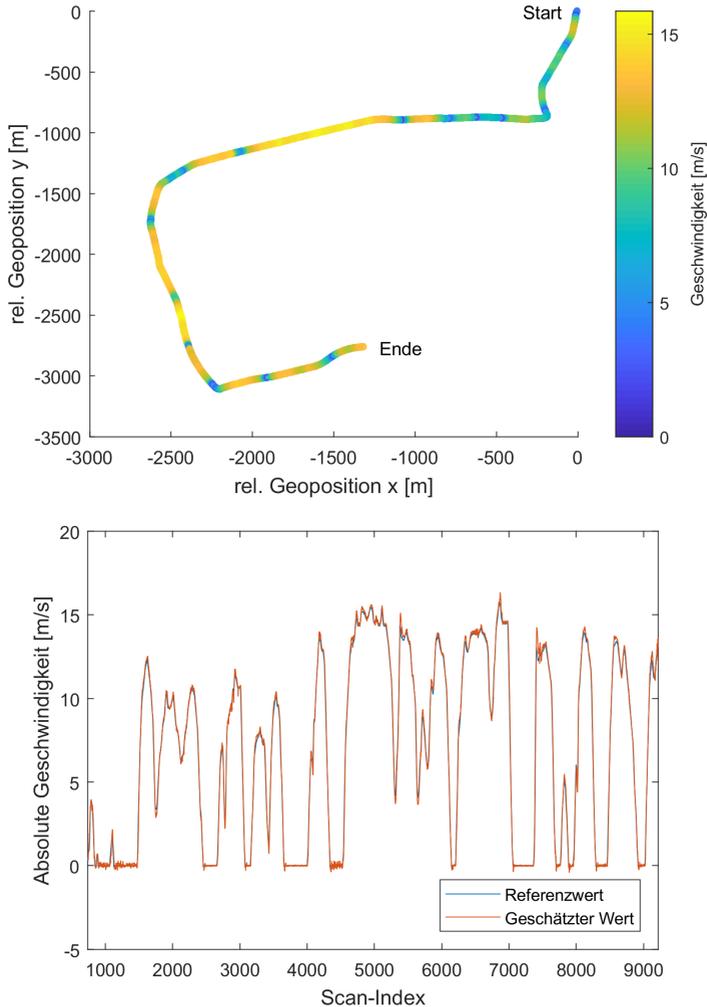


Abbildung 5.3: Auszug aus der Evaluation des Stadtpiloten. Gezeigt wird der zurückgelegte Weg des Referenzfahrzeugs (oben) und dessen Geschwindigkeitssignal sowie die aus Sicht des Egofahrzeugs geschätzte Geschwindigkeit im Vergleich (unten) über die Existenzdauer einer Objekthypothese.

**Verhaltensentscheidung** Auf Basis der im vorhergehenden Berichtszeitraums umgesetzten Neustrukturierung des Kontextmodells wurden in diesem Jahr erste Arbeiten zur Realisierung neuer Verhaltensentscheidungsalgorithmen durchgeführt. So wurde im Rahmen einer studentischen Arbeit eine prototypische Routenplanung auf Straßenebene umgesetzt. Eine weitere Arbeit befasste sich mit Extraktion von Vorfahrtsregeln zwischen Objekten in Kreuzungen auf Basis von Wahrnehmungsdaten. Beide Arbeiten dienen als Vorbereitung für eine funktional erweiterte Verhaltensentscheidung, welche zukünftig sowohl weitere Fahrsituationen beherrschen als auch die Grundlage zur Analyse ethischer Aspekte für automatisierte Fahrzeuge bieten soll. Eine erste Konzeption und Implementierung solcher Algorithmen wird derzeit im Rahmen einer weiteren Masterarbeit bearbeitet.

**Trajektorienplanung und Fahrzeugregelung** Neben Arbeiten an Umfeldwahrnehmung und Verhaltensentscheidung wurden weitere Fortschritte bei der Umsetzung einer Trajektoriengenerierung nach dem Werling-Ansatz sowie der nachgelagerten Fahrzeugregelung auf einer dSpace MicroAutoBox II erzielt. Beides soll zukünftig neben einem komfortableren Fahrerlebnis auch die Umsetzung weiterer Fahrfunktionalitäten ermöglichen. Durch den lokalen Planungscharakter des Trajektorienplaners ist dieser Algorithmus ein wichtiger Schritt weg von der bisher globalen Bahnplanung hin zu einer flexibleren Planung durch das lokale Umfeld.

Während die neue Trajektorienplanung und Verhaltensentscheidung derzeit intensiv auf dem Testgelände und in simulativen Umgebungen erprobt und weiterentwickelt werden, sind die Erweiterungen an der Umfeldwahrnehmung und die Fahrzeugregelung auf Basis der MicroAutoBox II bereits im Freigabestadium und können im öffentlichen Straßenverkehr erlebt werden.

**Kontinuierliche Integration** Während des Berichtszeitraums wurde im Stadtpilot das Konzept der *Kontinuierlichen Integration* realisiert. Dies bedeutet, dass nach jeder Änderung im Software-Repository des Projekts der Programmcode automatisch neu erstellt und ausgeführt wird, um die Entwickler (Mitarbeiter und Studierende) auf Fehler und nicht ausführbare Programmmodule aufmerksam zu machen. Dadurch wird die Entwicklungszeit und der Abstimmungsbedarf reduziert, da Fehler direkt detektiert werden und der entsprechende Entwickler informiert werden kann.

**Stadtpilot in der Simulation** Im Berichtszeitraum wurde die Stadtpilot-Software an eine Simulationsumgebung angebunden, um die Entwickler durch simulierte Daten zu unterstützen und Testfälle simulativ auszuführen. Die Entwickler haben dadurch die Möglichkeit, Algorithmen (gefahrlos) im Büro auszuführen und zu testen, da benötigte Daten von der Simulation bereitgestellt werden. So kann ein Teil der Entwicklungsarbeit ohne direkten Zugriff auf einen Versuchsträger und ohne das Risiko einer Fahrt in realer Umgebung durchgeführt werden. Studierende müssen ebenfalls zum Testen ihrer Arbeiten nicht auf freie Mitarbeiter bzw. ein freies Fahrzeug warten. Beides reduziert die Entwicklungszeit und den Entwicklungsaufwand.

Zusätzlich wurde das Straßennetz vom Campus Nord aus dem Kontextmodell extrahiert und in die Simulation übertragen sowie ein definierter Freischnitt der Stadtpilot-Software an die Simulationsumgebung angebunden. Im Rahmen der im Abschnitt *Verhaltensentscheidung* genannten Masterarbeit werden die dort entwickelten Algorithmen bereits operativ in der Simulation getestet. Abbildung 5.4 zeigt das erstellte Straßennetz des Campus Nord (oben) sowie einen Ausschnitt aus der Simulation der Verhaltensentscheidung (unten).

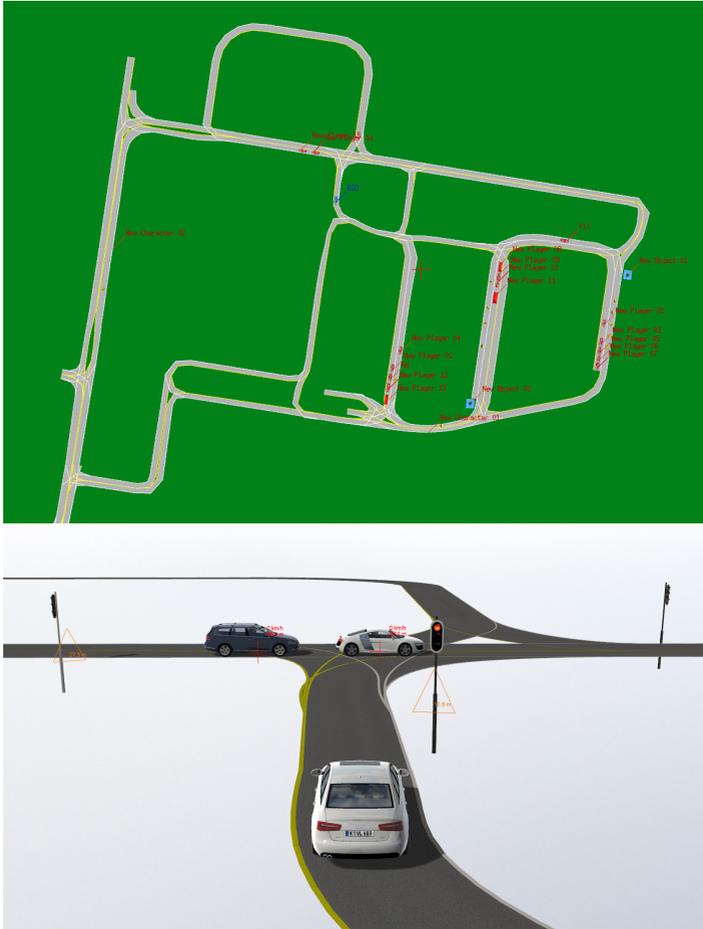


Abbildung 5.4: Auszug aus der Simulationsumgebung. Oben: Darstellung des Straßennetzes auf dem Campus Nord. Unten: Ausschnitt aus der Simulation der Verhaltensentscheidung.



# 6 Automatisch fahrerlos fahrendes Absicherungsfahrzeug für Arbeitsstellen auf Autobahnen (aFAS)

von Markus Steimle & Torben Stolte

Arbeitsstellen kürzerer Dauer auf Seitenstreifen von Autobahnen (z. B. die Mahd des Seitenstreifens, das Säubern von Leitpfählen und das Kehren des Seitenstreifens) stellen für die Mitarbeiter des Straßenbetriebsdiensts ein besonderes Unfallrisiko dar. Im Vergleich zur gewerblichen Wirtschaft ist die Wahrscheinlichkeit, an einem Unfall beteiligt zu sein, für den Mitarbeiter in dem Fahrzeug, das die Arbeitsstelle gegen den fließenden Verkehr absichert, rund 13-mal höher. Ziel des Projektes *automatisch fahrerlos fahrendes Absicherungsfahrzeug für Arbeitsstellen auf Autobahnen* (aFAS) ist es, ein Absicherungsfahrzeug zu entwickeln, das in der Lage ist, eine Arbeitsstelle kürzerer Dauer auf dem Seitenstreifen einer Autobahn automatisiert und ohne menschliche Überwachung abzusichern. Gemeinsam mit den vier Industriepartnern MAN, WABCO, ZF TRW und Bosch Automotive Steering sowie dem Straßenbetriebsdienst des Landes Hessen „Hessen Mobil“, der BAST und der Hochschule Karlsruhe wird dabei bewusst auf den Sicherheitsfahrer verzichtet. Im Unterschied zum Projekt Stadtpilot (siehe Kapitel 5) und vergleichbaren Projekten soll erstmals ein vollautomatisierter Betrieb (Level 4 nach aktuell etablierten Definitionen) im öffentlichen Straßenverkehr in Deutschland demonstriert werden. Das Projekt wird vom

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie mit einer Laufzeit von vier Jahren und insgesamt ca. 3,4 Mio. Euro gefördert.

Der Seitenstreifen einer Autobahn stellt im Vergleich zu vollautomatisiertem Fahren auf einer Autobahn oder gar in der Stadt einen kleinen aber immer noch sehr komplexen Ereignisraum dar, in dem sich das automatisierte Absicherungsfahrzeug bewegen soll. Ein besonderes Merkmal des Projektes ist die Abwesenheit eines permanenten menschlichen Überwachers, sei es in Form eines Sicherheitsfahrers oder einer Fernüberwachung. Die zentrale Herausforderung ist deshalb die funktionale Sicherheit, deren Betrachtung im Projekt federführend vom Institut für Regelungstechnik bearbeitet wird. Insbesondere werden gemeinsam mit den Industriepartnern ein Sicherheitskonzept und ein Testkonzept zur Sicherheitsvalidierung des Gesamtsystems erarbeitet. Dies umfasst zum einen die Abstimmung definierter Entwicklungsschnittstellen zwischen den Konsortialpartnern. Zum anderen soll ein gemeinsames Verständnis der ISO 26262, der zentralen Norm zur funktionalen Sicherheit von elektronischen Systemen im Kraftfahrzeug, hergestellt werden. Die ISO 26262 wird zusätzlich hinsichtlich der Anwendbarkeit für automatisierte Fahrzeuge untersucht. Die einzelnen Arbeitsergebnisse sollen abschließend in Ansätzen zur Absicherung vollautomatisierter Fahrzeuge generalisiert werden.

Die Arbeitspakete des Instituts für Regelungstechnik orientieren sich an dem Prozess der ISO 26262. Im Referenzentwicklungsprozess der ISO 26262 stehen die Aufgaben des Instituts für Regelungstechnik am Anfang (Konzeptphase) und Ende (Validierung auf Systemebene) des der Norm zugrunde liegenden V-Modells. Die Item Definition, eine detaillierte funktionale Beschreibung des automatisierten und fahrerlosen Betriebs, dient als Basis für die nachfolgenden Schritte im Referenzentwicklungsprozess der ISO 26262. Die Item Definition wurde im

Berichtszeitraum abgeschlossen. Auf mittlerweile 55 Seiten werden alle für die Entwicklung im Projekt aFAS wesentlichen Punkte adressiert. Diese umfassen u. a. Beschreibungen des Betriebsablaufs bei Einsatz des fahrerlosen Absicherungsfahrzeugs durch den Straßenbetriebsdienst, Betriebszustände des zu entwickelnden Systems, Schnittstellen zu weiteren relevanten Komponenten im Fahrzeug, funktionale Systemgrenzen, die Einsatzumgebung sowie Randbedingungen wie Temperaturen und Sichtbedingungen.

Auf die Item Definition folgt im Referenzentwicklungsprozess der ISO 26262 die Durchführung einer Gefährdungsanalyse und Risikobewertung. Im Rahmen der Gefährdungsanalyse werden mögliche Gefährdungen identifiziert, die durch Fehlfunktionen einzelner Systemkomponenten entstehen können. Die Fehlfunktionen ergeben in Kombination mit einem Betriebsszenario potenzielle Gefährdungsereignisse, die in der Risikobewertung in das *Automotive Safety Integrity Level (ASIL)*, einer fünfstufigen Ordinalskala von QM, ASIL A bis ASIL D, eingestuft werden. Hierbei sind die betrachteten Einflussfaktoren zu erwartende Unfallschwere, Auftretenswahrscheinlichkeit des Betriebsszenarios sowie Beherrschbarkeit durch die Fahrzeuginsassen, aber auch durch den umgebenden Verkehr. Die Einstufung wird einem Sicherheitsziel zugeordnet, das zur Verhinderung oder Minderung des gefährlichen Szenarios formuliert wird. In einem Serienentwicklungsprozess bestimmt die Einstufung den Entwicklungsaufwand von Systemteilen, die ein oder mehrere Sicherheitsziele betreffen, maßgeblich.

Im Projekt aFAS wurde die Gefährdungsanalyse und Risikobewertung parallel zur Item Definition erstellt. Dies hat zum einen den Vorteil eines beschleunigten Projektverlaufs. Zum anderen kann die Item Definition auf diese Weise hinsichtlich ihrer Konsistenz iterativ überprüft werden. Bezogen auf das automatisierte und fahrerlose Absicherungs-

fahrzeug ist die wesentliche Gefährdung eine Kollision mit anderen Verkehrsteilnehmern, vor allem durch das Verlassen des Seitenstreifens in Richtung der Fahrstreifen sowie durch das Auffahren auf stehende Hindernisse auf dem Seitenstreifen (z. B. vorausfahrendes Arbeitsfahrzeug oder nothaltendes Fahrzeug). Aufgrund der Abwesenheit eines Fahrers oder eines Überwachers im automatisierten Betrieb erfolgt im Projekt aFAS nur eine Betrachtung der Beherrschbarkeit von Gefährdungen durch den umliegenden Verkehr.

Die iterativen Arbeiten an der Gefährdungsanalyse und Risikobewertung sind größtenteils abgeschlossen. Die Ergebnisse wurden im Berichtszeitraum auf dem IEEE Intelligent Vehicles Symposium in den USA präsentiert. Insgesamt wurden über 50 Gefährdungsereignisse identifiziert. Die dazu entwickelten Sicherheitsziele erhielten vereinzelt Einstufungen bis zu ASIL D. Ein Großteil der Sicherheitsziele sind jedoch niedriger eingestuft, beispielsweise das Nicht-Überfahren der Seitenstreifenmarkierung mit ASIL B.

Für die 17 Sicherheitsziele werden im weiteren Projektlauf Konzepte entwickelt, wie diese technisch umgesetzt werden können. Dabei wird aus zwei Perspektiven vorgegangen. Zum einen werden bestehende Systeme der Industriepartner bezüglich ihrer Eignung für den fahrerlosen Betrieb überprüft und erweitert. Zum anderen werden Konzepte ohne detaillierte Kenntnis der Partnersysteme entwickelt. Die Ergebnisse beider Ansätze werden gegenübergestellt, um mögliche Schwachstellen zu identifizieren und auszubessern. Die Entwicklung des Sicherheitskonzepts ist weit fortgeschritten und wird derzeit gemeinsam mit dem Konsortium diskutiert.

Aus wissenschaftlicher Perspektive wurden einzelne Punkte der Item Definition und der Gefährdungsanalyse parallel zum beschriebenen Vorgehen, das insbesondere auf Expertenwissen aufbaut, systematisch

betrachtet. Zum einen wurde ein Ansatz untersucht, welcher potenziell gefährliche Szenarien soweit wie möglich automatisiert identifizieren kann. Dabei fließt das Expertenwissen nicht in die eigentliche Erstellung der Szenarien, sondern in die vorangestellte Modellierung des Systems. Durch diese Methode wurden deutlich mehr potenziell gefährliche Szenarien generiert, die derzeit im Vergleich zu den manuell identifizierten Gefährdungen ausgewertet werden. Eine Untersuchung der qualitativen Aussage vor allem in Bezug auf Dopplungen von Gefährdungen wird derzeit bearbeitet. Des Weiteren wurden die systematische Identifikation von Fehlfunktionen sowie die systematische Ableitung von Sicherheitszielen und -anforderungen für automatisierte Fahrzeuge im Allgemeinen mit einer systemtheoretischen Prozessanalyse (STPA: System-Theoretic Process Analysis) durchgeführt.

Die bisher beschriebenen Aktivitäten sind dem Beginn eines Entwicklungsprozesses nach dem V-Modell zuzuordnen. Ein weiterer wichtiger Aspekt, der von unserer Arbeitsgruppe betrachtet wird, ist die Sicherheitsvalidierung am Ende des V-Modells. Gerade für Systeme, die wie beim automatisierten Fahren mit einer offenen Menge an Szenarien umgehen können müssen, stellt dies eine große Herausforderung dar. Dies trifft auch auf den vergleichsweise einfachen Anwendungsfall zu, der im Projekt aFAS betrachtet wird.

Im Berichtszeitraum wurde mit der Erstellung des Testkonzepts für die Sicherheitsvalidierung begonnen. Das Konzept sah ursprünglich sowohl eine simulative Absicherung als auch eine im Realtest vor. Die simulative Absicherung, für die parallel zur Konzepterstellung eine Simulationsumgebung aufgebaut wurde, hat aufgrund fehlender validierter Simulationsmodelle nur eine sehr begrenzte Aussagekraft. Entsprechend wird die Sicherheitsvalidierung im Realtest erfolgen.

Ein zentrales Ereignis im Berichtszeitraum war die Zwischenpräsentation bei der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) am 26. Oktober 2016. Erstmals wurde dort der entwickelte Prototyp der Öffentlichkeit vorgestellt und ein funktional beschränkter und noch überwachter automatisierter Betrieb des Fahrzeugs exemplarisch auf dem Prüfgelände der BASt demonstriert. Zudem regten Fachvorträge und Posterpräsentationen über den Stand der Forschung und Entwicklung im Projekt aFAS das Fachpublikum zu zahlreichen interessanten Diskussionen zu Fragestellungen rund um das automatisierte Fahren an. Im Beitrag "Das Auto-Auto und die Ethiker" in der Wochenzeitung "Die Zeit" vom 06. September 2017 fasst Dirk Asendorpf die Aussagen der aFAS Zwischendemonstration an prominenter Stelle eloquent zusammen.

Mit Ausblick auf das kommende akademische Jahr wird die Sicherheitsvalidierung den größten Teil der Aktivitäten einnehmen. Die Arbeiten rund um das Sicherheitskonzept sollen abgeschlossen werden. Zudem werden die Arbeitsergebnisse noch einmal aufbereitet und dem TÜV Süd in ihrer Gesamtheit zu einer externen Begutachtung vorgelegt und mit diesem diskutiert. Im Juni 2018 erfolgt dann auf der Abschlusspräsentation hoffentlich eine erfolgreiche Demonstration des fahrerlosen Betriebs im öffentlichen Straßenverkehr.

# 7 Wertebasierte Verhaltensentscheidung mit der Daimler und Benz Stiftung

von Susanne Ernst

Ethische Aspekte von Verhaltensentscheidungen wurden und werden in den letzten Jahren verstärkt diskutiert, da sie für automatisierte Fahrzeuge über die technologischen Aspekte hinaus eine wichtige Rolle für die gesellschaftliche Akzeptanz spielen. So richtete das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur eine Ethikkommission für automatisierte Fahrzeuge ein, die sich seit Oktober 2016 mit ethischen Fragestellungen befasste. Mitte dieses Jahres wurden die 20 Thesen, die innerhalb der Kommission erarbeitet worden sind, in einem Bericht zusammengefasst und der Öffentlichkeit vorgestellt <sup>1</sup>.

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, sollen hier auch alltägliche und auf den ersten Blick eindeutige Verhaltensentscheidungen betrachtet werden. Das Projekt ist eng verbunden mit den Forschungsaktivitäten auf dem selben Gebiet der Arbeitsgruppe von Chris Gerdes, des Dynamic Design Labs von der Stanford University. Diese Gruppe wird u.a.

---

<sup>1</sup><https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2017/084-dobrindt-bericht-der-ethik-kommission.html>

durch die Daimler AG unterstützt. Zudem soll die Zusammenarbeit zwischen Ingenieuren und Philosophen gestärkt werden, um den interdisziplinären Dialog zu ermöglichen. In diesem Kontext ist vor allem die Ethics and Emerging Sciences Group der California Polytechnic State University San Luis Obispo von Patrick Lin vertreten.

In diesem akademischen Jahr wurden in unserer Arbeitsgruppe Werte identifiziert, die Einfluss auf Verhaltensentscheidungen haben und bei diesen berücksichtigt werden müssen. Darauf basierend schlagen wir einen Werteraum mit den Dimensionen Gesetzestreue, Kooperation, Effizienz, Komfort, Verfügbarkeit und Sicherheit vor. Im weiteren Verlauf des Projekts soll untersucht werden, ob und in welchen Situationen die jeweiligen Werte in der Praxis zu ethisch vertretbarem Verhalten führen. Diese müssen bei jeder Verhaltensentscheidung gegeneinander abgewogen und gewichtet werden. Sie legen fest, wie beispielsweise folgende Fragen beantwortet werden können:

- Wie viel Risiko darf eingegangen werden?
- Wie ist beispielsweise eine kurze Reisezeit gegen eine sichere Geschwindigkeit zu gewichten?
- Wie werden Unsicherheiten in den Entscheidungsalgorithmen berücksichtigt?

Um die den Fragen zugrundeliegenden Werte gewichten und gegeneinander abwägen zu können und damit zufriedenstellende Aussagen zu treffen, müssen Metriken eingeführt werden. Ein Beispiel für eine Metrik des Wertebereichs *Gesetzestreue* wären Strafen im Sinne des geltenden Rechtssystems, die durch widerrechtliches Verhalten entstehen. Neben möglichen Metriken wurde zudem diskutiert, in welchen funktionalen Modulen eines automatisiert fahrenden Fahrzeugs die jeweiligen Wertebereiche relevant sind. Fragen wie

- Darf das Alter einer Person erkannt und in die Verhaltensentscheidung einfließen?
- Ab wann sollte ein durch die Umfeldwahrnehmung erkanntes Objekt am Straßenrand als Fußgänger identifiziert werden und für die Verhaltensentscheidung relevant werden?

betreffen dabei unterschiedliche funktionale Module (Entscheidung, Umfeldwahrnehmung) und Werte. Weitere Arbeiten schließen die Weiterentwicklung der für das Projekt benötigten Simulationsumgebung ein. Zudem wurde an einer ersten Implementierung einer Verhaltensentscheidung gearbeitet, die bereits in der Simulation getestet wird. Diese hat bisher einen rudimentären Stand, sodass sie noch nicht in der Lage ist, ethische Aspekte zu berücksichtigen. Im nächsten Jahr sollen hier Werte als Randbedingungen einfließen und der Einfluss auf die Verhaltensentscheidung analysiert werden.

Die Arbeiten und Fortschritte wurden besonders durch den Auslandsaufenthalt von Andreas Reschka am Stanford Intelligent Systems Laboratory vorangetrieben. Hierdurch war eine engere Zusammenarbeit mit den Projektpartnern in Stanford möglich.

Begleitet wurde die praktische Projektarbeit durch den fachlichen Austausch mit vielen Vertretern aus Wissenschaft, Industrie und Gesellschaft. Innerhalb von Vorträgen und Diskussionen wurden dabei auch ethische Aspekte automatisierten Fahrens diskutiert:

- Markus Maurer, Vortrag vor der Ethikkommission *Automatisiertes und Vernetztes Fahren* des BMVI, 31.1.2017
- Markus Maurer, Gespräch mit Dr. Manfred Bischoff, Vorsitzender des Aufsichtsrates der Daimler AG, 7.3.2017

- Markus Maurer, Plenarvortrag auf der Tagung Heureka 2017 der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen in Stuttgart, 22.3.2017
- Markus Maurer, Gespräch mit Dr. Ulrich Eichhorn u.a., Technikvorstand Konzern der Volkswagen AG und Mitglied der Ethikkommission des BMVI, 12.4.2017
- Markus Maurer, Plenarvortrag auf der VDI-Tagung *Nutzfahrzeuge* in Friedrichshafen, 17.5.2017
- Markus Maurer, Teilnahme an der Podiumsdiskussion *Autonomes Fahren - Wenn der Computer lenkt*. (<https://www.die-debatte.org/wenn-der-computer-lenkt-live/>), 19.5.2017
- Markus Maurer, Teilnahme an der Veröffentlichung des Berichtes der Ethikkommission des BMVI und Diskussion der Ergebnisse mit Mitgliedern der Kommission und am Runden Tisch des BMVI, 20.6.2017
- Markus Maurer, Teilnahme an der Jahrestagung des Deutschen Ethikrates, u.a. Diskussion des Berichtes der Ethikkommission, 21.6.2017
- Markus Maurer, Susanne Ernst, Jens Rieken, Diskussion des Berichtes der Ethikkommission mit Dirk Asendorpf als Grundlage für einen Artikel in der Wochenzeitung *Die Zeit*, *Das Auto-Auto und die Ethiker* (<http://www.zeit.de/2017/37/autonomes-fahren-regeln-kommission-ethik>), 16.8.2017
- Markus Maurer, Gespräch mit Ron Medford, Google, u.a. über ethische Aspekte automatischen Fahrens, Mountain View, CA, 14.9.2017

- Markus Maurer, Vorbereitungstreffen für den deutschen Verkehrsgerichtstag 2018 in Goslar. Mitarbeit in der Arbeitsgruppe zu haftungsrechtlichen Fragen, 21.9.2017



# 8 Kooperation mit der AUDI AG – Umfeldrepräsentation und Verhaltensplanung für automatisierte Fahrfunktionen

*von Frank Dierkes*

Das Institut für Regelungstechnik kooperiert seit vielen Jahren mit der Vorentwicklung für automatisierte Fahrfunktionen der AUDI AG. Aktuell umfasst die Kooperation primär die Themenfelder Umfeldrepräsentation und Verhaltensplanung.

Der Schwerpunkt des vergangenen Jahres lag auf der Fahrkorridorwahl für automatisiert fahrende Fahrzeuge. Der zu wählende Fahrkorridor beschreibt den Bereich, in dem sich das Fahrzeug bewegen darf und dient als eine Randbedingung für die weitere Handlungsplanung, in erster Linie der Bewegungsplanung. Im Standardfall entspricht der Fahrkorridor dem zu folgenden Fahrstreifen, kann für bestimmte Fahrmanöver, beispielsweise bei einem Fahrstreifenwechsel, aber auch mehrere Fahrstreifen umfassen. Eine der Herausforderungen bei der Wahl des Fahrkorridors liegt in der potentiell unsicheren und unvollständigen Umfeldrepräsentation. Insbesondere bei Witterungsbedingungen, die für die Sensorik ungünstig sind, bei schlechtem Zustand der Fahrbahnmarkierungen, bei verschmutzter Fahrbahn oder bei Verdeckungen durch andere Verkehrsteilnehmer kann es zu Fehldetektionen und Fehlklassifikationen von Fahrstreifenbegrenzungen kommen. Fehldetektionen

bedeuten sowohl die Nichtdetektion vorhandener Markierungen oder anderer möglicher Begrenzungen wie auch die falsche Detektion nicht vorhandener Begrenzungen. Diese Fehlwahrnehmungen können zu einem falschen Verständnis der Fahrbahn und der Verkehrsszene führen.

Auch die tatsächlichen Gegebenheiten können für das Verständnis der Verkehrsszene und damit die Wahl eines Fahrkorridors herausfordernd sein. Zum einen können Fahrstreifen nicht oder nicht eindeutig markiert sein. Unmarkierte Fahrstreifen betreffen zwar vor allem Straßen niederer Ordnung, treten aber zeit- und abschnittsweise auch auf Autobahnen auf. Bei temporären Markierungen oder nicht gründlich entfernten alten Markierungen kann unklar sein, welche Markierungen zu beachten sind. Ähnliches gilt in komplexen Kreuzungen. Zum anderen können sich in bestimmten Situationen Verkehrsströme bilden, die von den ursprünglich vorgesehenen Fahrstreifen abweichen. Ein Beispiel sind Stausituationen, in denen eine Rettungsgasse gebildet wird. Dort können sich die Fahrspuren, entlang derer sich die Fahrzeugkolonnen bewegen, relativ zu den markierten Fahrstreifen verkleinern und verschieben – und dementsprechend auch die wählbaren Fahrkorridore. In allen genannten Fällen ist eine höhere Interpretationsleistung durch die automatisierte Fahrfunktion notwendig, die noch einmal eine größere Herausforderung darstellt und dementsprechend weitere potenzielle Unsicherheiten mit sich bringt.

In Kooperation mit der AUDI AG erforschen wir daher Ansätze, die es automatisierten Fahrzeugen ermöglichen sollen, trotz unsicherer und unvollständiger Informationen über ihr Umfeld, sicheres Verhalten zu gewährleisten. In den vergangenen Jahren wurde dazu bereits eine Multi-Hypothesen-Umfeldrepräsentation entwickelt, die es einer automatisierten Fahrfunktion ermöglicht, bestehende Unsicherheiten über das Verständnis von Fahrbahn und Fahrstreifen in Form mehrerer

Hypothesen abzubilden. In diesem Berichtszeitraum wurden im nächsten Schritt Algorithmen entwickelt, die auf Basis der repräsentierten Fahrbahnhypothesen einen Fahrkorridor für das automatisierte Fahrzeug ableiten. Erster Anwendungsfall für die Erprobung waren Ausfahrten von Autobahnen. Hinzukommende Fahrstreifenmarkierungen, die die Ausfahrt oder den Verzögerungstreifen von dem durchgehenden Fahrstreifen trennen, werden häufig erst mit einer gewissen Verzögerung detektiert. Um falsch-positive Detektionen zu vermeiden, muss zunächst eine bestimmte Evidenzschwelle erreicht werden. Das führt in manchen Fällen dazu, dass Ausfahrten zu spät oder fälschlicherweise als sich aufweitender Fahrstreifen erkannt werden. Die Berücksichtigung von Unsicherheiten bei der Fahrkorridorwahl ermöglicht es, die Detektionsschwelle zu senken. Durch diese Maßnahme konnte sich das Versuchsfahrzeug im experimentell untersuchten Szenario wunschgemäß verhalten, das heißt, je nach Zielvorgabe der Straße weiter folgen oder die Ausfahrt nehmen.

Ziel für das kommende Jahr ist es, die entwickelten Ansätze auf weitere Szenarien anzupassen und zu erproben.



# 9 Kooperation mit der Industrie - Umfeldwahrnehmung für auto- matisierte Fahrzeuge

*von Jens Rieken*

Automatisiertes Fahren ist mittlerweile ein Kernthema der Automobilforschung und entwickelt sich auch innerhalb der großen Fahrzeughersteller zu einem wichtiger werdenden Forschungsschwerpunkt.

Neben Autobahnszenarien rücken hierbei zunehmend auch innerstädtische und suburbane Bereiche in den Fokus der Forschung. Während zur Realisierung von Fahrerassistenzfunktionen für den Einsatz in stark strukturierten Umgebungen wie Autobahnen und Bundesstraßen bestehende Sensorsysteme eine ausreichende Leistung bieten, stellen insbesondere innerstädtische Umgebungen diese vor Herausforderungen. Auch bisher wenig beachtete Fälle wie überhängende Strukturen und Fahrwege mit starken Steigungen und Gefällen sind Elemente, die insbesondere zur Umsetzung hochautomatisierter Fahrfunktionen zuverlässig erkannt und berücksichtigt werden müssen. Aus diesem Grund wird auch hier verstärkt an einer vollständig dreidimensionalen Erfassung und Repräsentation des Fahrzeugumfelds gearbeitet.

Basierend auf den Erfahrungen und Ergebnissen des Projekts Stadtpilot, in welchem sowohl innerstädtische Umgebungen wie auch, durch Einsatz eines hochauflösenden Laserscanners, eine dreidimensionale Abbildung des Umfelds im Mittelpunkt stehen, wird nun auch im Rahmen von Kooperationen mit Industriepartnern an ähnlichen Konzep-

ten geforscht. Basierend auf einem abgewandelten Sensorsetup werden Algorithmen zur räumlichen und zeitlichen Fusion von mehreren 3D-Laserscannern untersucht. Nachgelagerte Aufgaben sind die Detektion von Bordsteinen sowie die Extraktion und Verfolgung von beweglichen Objekten im Fahrzeugumfeld.

# 10 Valet Parking

*von Robert Graubohm*

Am Institut für Regelungstechnik werden im Rahmen des internen Projekts Valet Parking automatisierte Fahrfunktionen für Rangier- und Parkaufgaben erforscht. Das Projekt soll dabei einen vollständigen und modellunterstützten Entwicklungsprozess durchlaufen. Zielsetzung ist das selbständige Verkehren von Versuchsträgern der Arbeitsgruppe zwischen Stellplätzen und definierten Bereitstellungsorten. Teil der Entwicklung ist auch die Durchführung komplizierter Parkmanöver mit mehreren Hindernissen.

Eine besondere Herausforderung wird in Zukunft die Entwicklung von Fahrfunktionen für Gespanne darstellen. Dafür wird ein Erprobungsanhänger aufgebaut, der in Kombination mit vorhandenen Versuchsfahrzeugen betrieben werden kann. Um eine Objekterkennung und Verhaltensanpassung während der Rückwärtsfahrt weiterhin zu ermöglichen, soll dabei auch der Anhänger mit Umfeldsensoren ausgestattet werden. Außerdem wird die Konzeption eines geeigneten Systems zur Knickwinkelschätzung notwendig, um die Anhängerposition zu erfassen und eine Bewegungsplanung und -steuerung für die Rückwärtsfahrt zu ermöglichen. Es ist geplant, Erkenntnisse über die Automatisierung von Rangiermanövern einer Kombination von Zugfahrzeug und Anhänger innerhalb der Kooperation mit WABCO auf schwere Nutzfahrzeuge zu übertragen. Im Zuge der Zusammenarbeit können außerdem verschiedene Ansätze für die Sensorikausstattung eines Anhängers praxisnah untersucht werden.



# 11 Digitaler Knoten 4.0

von Susanne Ernst

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.

Dieses Potential gilt es, innerhalb des Projektes *Digitaler Knoten 4.0*, gefördert vom Bundesministerium für Verkehr und digitaler Infrastruktur, zu untersuchen. Dabei wird Kooperation zwischen einzelnen Fahrzeugen und einer infrastrukturseitigen Schnittstelle in Form von Informationsaustausch und der Koordination der einzelnen Verkehrsteilnehmer genutzt, um die Möglichkeiten der Steuerung von Mischverkehr an Kreuzungen zu bewerten. In ausgewählten Szenarien werden neben automatisiert fahrenden und manuell gesteuerten Fahrzeugen auch Fahrradfahrer und Fußgänger betrachtet.

Das Institut für Verkehrssystemtechnik des Deutschen Luft- und Raumfahrtzentrums (DLR) stellt innerhalb des Projektes die Anwendungsplattform Intelligente Mobilität (AIM) als Testfeld zur Verfügung. Mit Hilfe dieser Plattform können beispielsweise Lichtsignalanlagen gesteuert werden, um bestimmten Verkehrsteilnehmern basierend auf einer Strategie zur Optimierung des Verkehrs Vorrang zu gewähren. Auch kann über eine zentrale Infrastruktureinheit die globale

Betrachtung zur Verkehrsregelung und der Kooperation zwischen Verkehrsteilnehmern durchgeführt werden. Somit ist es möglich, den Verkehrsteilnehmern Kooperations- oder Fahrstrategien aufzuzeigen, die vorteilhaft für die gesamte Kreuzungssituation sind.

Konzepte und Methoden zum Datenaustausch, die Entwicklung von kooperativen, vernetzten Fahrzeugfunktionen und mögliche Optimierungsstrategien des Verkehrs werden zusammen mit den Projektpartnern aus der Industrie (Volkswagen, AVL Software and Functions, OFFIS, TRANSVER, Norddeutsche Systemtechnik, OECON) und den Forschungseinrichtungen des DLR und der Technischen Universität Braunschweig betrachtet. Das Institut für Regelungstechnik beteiligt sich hier unter anderem an der Szenariendefinition und der Ableitung der daraus resultierenden Anforderungen, der Entwicklung von Kooperationskonzepten und stellt seine Versuchsträger mit der angepassten Umfeldwahrnehmung und der im Projekt Stadtpilot genutzten Fahrfunktion zur Verfügung.

Die entwickelten Ansätze werden praktisch umgesetzt und in einer abschließenden Demonstration an der Forschungskreuzung in Braunschweig gezeigt. Das Institut für Regelungstechnik wird dafür die Versuchsträger Leonie, VIL und RefSens zur Verfügung stellen.

# 12 Elderly People Intersection Crossing Assist (EPICa)

von *Susanne Ernst*

Vor allem für ältere und körperlich beeinträchtigte Menschen stellen komplexe Verkehrssituationen, insbesondere an innerstädtischen Kreuzungen, eine erhebliche Herausforderung dar. Assistierte oder automatisiertes Fahren ermöglicht, dass auch diesen Personengruppen ihre individuelle Mobilität aufrecht erhalten werden kann, indem automatisierte Systeme Fahraufgaben des Menschen übernehmen und zu einer Entlastung des Fahrers beitragen.

Mit diesem Ziel startete das vom Land Niedersachsen geförderte Projekt *Elderly People Intersection Crossing Assist* (EPICa) Ende des Jahres 2016. Innerhalb des Projekts werden Funktionen entwickelt, die dem Fahrer unterschiedliche Unterstützungsgrade zur Verfügung stellen. Angefangen mit der automatisierten Durchquerung einer Kreuzung, soll das Fahrzeug den Fahrer innerhalb des vorher vom Fahrer manuell angefahrenen korrekten Fahrstreifens durch die Kreuzung führen. Wobei das Fahrzeug auf vorausfahrenden Verkehr und auf den Status der Lichtsignalanlagen reagiert. Im weiteren Projektverlauf kommen zusätzlich die automatisierte Auswahl des korrekten Fahrstreifens bei der Anfahrt auf eine Kreuzung und Linksabbiegen mit und ohne Gegenverkehr hinzu.

Die Ausbaustufen dieser Funktion werden abschließend in einer Demonstration unter Nutzung des Vehicle-in-the-Loop Versuchsträgers gezeigt. Dabei soll eine ausgewählte Kreuzung des Braunschweiger

Stadtrings auf einer Dynamikfläche simuliert werden, sodass der Fahrer ohne Risiko die beschriebenen Szenarien durchfahren kann.

# 13 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 durchgeführten 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> ist eine DFG-geförderte interdisziplinäre Forschergruppe. Ziel des gemeinsamen Projekts ist die Entwicklung von Mechanismen und einer Infrastruktur-Software, die es ermögli-

---

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

chen, bestehende Systeme unter Berücksichtigung von Aspekten wie Safety und Security zur Laufzeit erweiterbar und rekonfigurierbar zu gestalten. Durch kontraktbasierte formale Validierungsmechanismen soll dabei gleichzeitig der Testaufwand für entsprechende Systeme im Labor reduziert werden, während Monitoringmechanismen zur Laufzeit Abweichungen vom modellierten Systemverhalten detektierbar machen sollen, um bei Bedarf Gegenmaßnahmen ergreifen zu können. Das Institut für Regelungstechnik entwickelt in diesem Zusammenhang dynamisch modifizierbare Fahrerassistenzapplikationen, die in den anderen Projektbereichen erarbeiteten Ergebnisse zur Anwendung bringen. Als Plattform für diese Systeme dient der am Institut entwickelte, vollelektrische Versuchsträger MOBILE. Dieser ermöglicht, im Gegensatz zu einem modifizierten Serienfahrzeug, den uneingeschränkten Zugriff auf sämtliche systemrelevanten Interna der Hard- und Softwarekomponenten.

Neben der Erforschung von Methoden zur Rekonfiguration auf Basis von Systemaktualisierungen ist ein weiteres Ziel des Projektes die Realisierung von Überwachungsmechanismen zur Fehlerdetektion während der Laufzeit. Der Schwerpunkt des IfR liegt dabei in der Entwicklung von Konzepten zur Erfassung der funktionalen Leistungsfähigkeit eines automatisierten Fahrzeugs. Ein Ziel ist es hierbei, die Grundlagen für ein holistisches ebenenübergreifendes Monitoring von den Aktuatoren über die Steuergeräte und deren Kommunikation, bis hin zu einer Überwachung der ausgeführten Funktion im Hinblick auf ein fehlerhaftes externes Verhalten des Fahrzeugs zu liefern. Die Diskussionen und Untersuchungen innerhalb des Projekts zeigen dabei, dass die ganzheitliche Modellierung auf verschiedenen Systemebenen (z.B. Funktion, Software, Hardware) eine wesentliche Grundlage für das oben beschriebene umfassende Selbstüberwachungskonzept ist. Diese ermöglicht auf der einen Seite, Fehler im System zu erkennen, zu lokalisieren sowie

das Systemverhalten, aber auch die Systemkonfiguration anzupassen, um die Auswirkungen von Fehlern beherrschen zu können.

Zu diesem Zweck wurde MOBILE im vergangenen Berichtszeitraum zunächst mit Laserscannern (zwei Velodyne VLP-16 PUCK, sowie ein Velodyne HDL-32) zur Umfeldwahrnehmung ausgestattet. Basierend auf den im Stadtpilot entwickelten Umfeldwahrnehmungsalgorithmen wurde ein Verfahren zur modellbasierten Trajektoriengenerierung für das überaktuierte Fahrzeug implementiert. Dieses bildet die Grundlage für die Realisierung einer automatisierten Ausweichfunktion. Aktuell wird die Trajektoriengenerierung mit einer modellbasierten Regelung ergänzt. Dieses Planungs- und Regelungsframework liefert die Grundlage zur Verhaltensanpassung im Fehlerfall und ergänzt somit die im Projekt betrachteten Rekonfigurationsmechanismen.

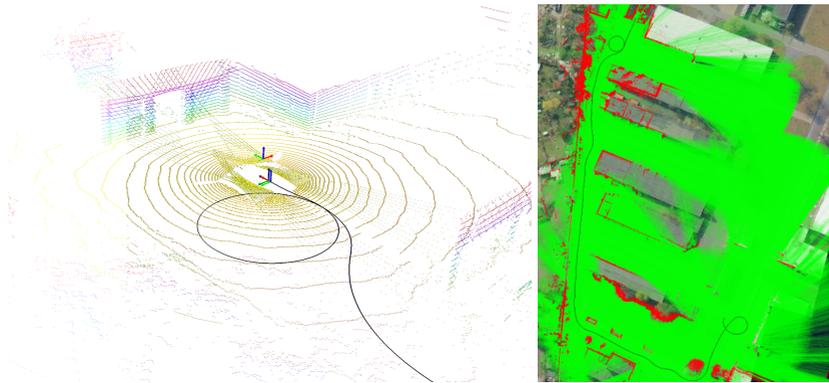


Abbildung 13.1: Darstellung der tatsächlichen Abdeckung der LiDAR-Sensorik an MOBILE (vgl. simulative Darstellung in Abbildung 14.2), sowie des damit aufgezeichneten Belegunggitters bei einer Fahrt über den Campus Nord.

Der Anwendungsfall des automatisierten Ausweichens bietet die Basis zur formalen Modellierung des Systems mit den im Projekt CCC

entwickelten Methoden. Er dient dazu, deren Anwendbarkeit auch im Hinblick auf die Realisierung von unter Fehlern operabel bleibenden Fahrzeugführungssystemen beispielhaft zu zeigen.

Es hat sich bereits in der ersten Projektphase herausgestellt, dass die Annahme eines verteilten Systems schon bei einfachen Fahrerassistenzsystemen mit wenigen Softwarekomponenten zu einem schnell wachsenden und somit schwer beherrschbaren Lösungsraum von möglichen Systemkonfigurationen führt. Aus diesem Grund wurden in der Modellierung Möglichkeiten geschaffen, zusätzliche Randbedingungen für die Zuordnung von funktionalen Blöcken festzulegen.

Unter Berücksichtigung einer Modellierung der Fähigkeiten, die ein System zur Ausführung seiner Mission auf funktionaler Ebene benötigt, ergibt sich einerseits eine Hierarchie, die auf der Entwicklerseite hilfreich ist, um eine weitreichende formale Systembeschreibung strukturiert zu erstellen. Andererseits wird auch die automatisierte Berechnung von zulässigen Systemkonfigurationen vereinfacht, da der Lösungsraum aller theoretisch denkbaren Konfigurationen durch Zusatzinformationen (z.B. durch Expertenwissen bzw. Entwicklungserfahrung) vorab eingeschränkt werden kann.

# 14 MOBILE

*von Robert Graubohm*

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

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 Fahrzeug verbindet. Lokal werden vornehmlich CAN-Busse eingesetzt. Die verwendeten Steuergeräte sind Eigenentwicklungen und können mit Hilfe einer modellbasierten Werkzeugkette programmiert werden. Daher ist sämtliche im Fahrzeug laufende Software bekannt.

Nach der erfolgreichen Überarbeitung des Hochvoltsystems stand MOBILE im Berichtszeitraum wieder für den Versuchsbetrieb zur Verfügung. Ein wesentliches Ziel war hierbei, die Robustheit des Fahrzeugs im Versuchsbetrieb zu erhöhen. Etwa wurden das Lademanagement und das Batterie-Balancing weiterentwickelt, um die Leistungsfähigkeit des Energiespeichers sicherzustellen. In diesem Zuge wurde auch das Batteriepaket einschließlich der Batteriesensorik überholt. Des Weiteren

ren wurden Parametrierungen der Frequenzumrichter der Lenkmotoren angepasst, wodurch Initialisierung und Betrieb der Achsmodule stabilisiert werden konnten.

Auf Grundlage der Neufassung des Sicherheitskonzepts für das Laden der Traktionsbatterien im Fahrzeug wurde auf MOBILE ein neues Lade-Inlet in Betrieb genommen. Dieses erlaubt das Aufladen des Fahrzeugs, ohne dass der Gefahrenbereich abgesperrt werden muss, da eine Freischaltung des Ladevorgangs erst nach erfolgreichem Stecken beider Stecker des Ladekabels erfolgt.



Abbildung 14.1: Versuchsträger MOBILE mit Umfoldsensoren

Im vergangenen Jahr wurden außerdem Inertialsensoren und Umfoldsensoren auf MOBILE in Betrieb genommen. Ein erster Schritt bei der Adaptierung der entwickelten Algorithmen zur Umfeldwahrnehmung aus dem Projekt Stadtpilot (siehe Abschnitt 5) war dabei die erfolgreiche Visualisierung des wahrgenommenen Umfelds auf einem Funktionsrechner im Fahrzeug. Abbildung 14.1 zeigt den aktuellen Versuchsträger einschließlich der neu installierten Laserscanner.

Basis einer Fusion der Punktwolken mehrerer Sensoren und der korrekten Interpretation von Gierwinkeln war eine genaue Einmessung der Sensorpositionen relativ zum Fahrzeug und seines Inertialmesssystems. Die Orientierung der kleineren Lasersensoren ist hierbei geeignet, Blindbereiche im Nahbereich des Fahrzeugs auszugleichen, die klassischerweise durch zentral auf dem Fahrzeugdach angebrachte Sensoren entstehen. Außerdem ist der Bereich vor dem Fahrzeug durch alle Sensoren abgedeckt, wodurch die Qualität der Objekterkennung und -verfolgung in Fahrtrichtung deutlich gesteigert wird. Abbildung 14.2 zeigt die vorliegende Sensorabdeckung auf Basis der Scanlinien aller Sensoren in einer Simulation.

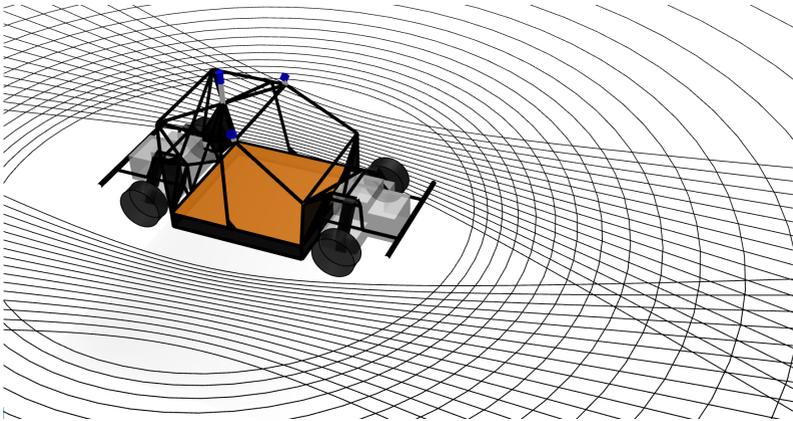


Abbildung 14.2: Scanlinien der Umfeldsensoren in der Simulation

Der Betrieb der neuen Sensorik erfordert eine unabhängig schaltbare 12 V Spannungsversorgung, um eine Beeinflussung wichtiger Systeme durch den zusätzlichen Energiebedarf zu vermeiden. Für die Entkoppelung der Sensorik und Funktionsrechner vom Fahrzeugnetz wird zurzeit eine Spannungsverteilung einschließlich Bedieneinheit erstellt. Dieses

Setup erleichtert zukünftig auch die Diagnose während der Initialisierung.

Im Zuge des Projekts Controlling Concurrent Change (siehe Abschnitt 13) wurden im vergangenen Jahr professionelle Drohnenaufnahmen einer Fahrt von MOBILE gemacht. Das Video „Experimental Car MOBILE“ ist auf der Projektwebseite [ccc-project.org](http://ccc-project.org) abrufbar.

In Zukunft wird das Fahrzeug mit zusätzlichen Sensoren für die Umfeldwahrnehmung ausgerüstet. Eine Fusion von Kamera- und Radardaten mit den Informationen der Laserscanner ist vorgesehen. Außerdem wird das Fahrdynamikmodell für die Simulation des Fahrverhaltens von MOBILE im Rechner weiterentwickelt. Schließlich wird der Ladeprozess der Energiespeicher auf Basis der vorhandenen Hardware weiterentwickelt, etwa durch Anpassung der Ladekennlinie.

# 15 Abgeschlossene Promotionen

## 15.1 Dissertation Fabian Schuldt: Ein Beitrag für den methodischen Test von automatisierten Fahrfunktionen mit Hilfe von virtuellen Umgebungen

*von Fabian Schuldt*

In den vergangenen Jahren haben zahlreiche Projekte und Demonstrationen die öffentliche Aufmerksamkeit auf das automatisierte Fahren gelenkt. Der Fokus lag dabei vor allem auf der funktionalen Entwicklung der Fahrfunktionen. Die Demonstrationen lassen auf eine nahe Serieneinführung der Systeme schließen. Jedoch wurde durch die Demonstrationen lediglich die funktionale Sicht auf die Fahrfunktion gezeigt. Das Testkonzept, welches für die Freigabe erforderlich ist, stand nicht im Fokus. In dieser Arbeit wird ein Beitrag für den methodischen Test von automatisierten Fahrfunktionen mit Hilfe von virtuellen Umgebungen geleistet.

Im ersten Teil wird die Notwendigkeit eines systematischen Testkonzepts begründet. Dazu wird das Testdilemma automatisierter Fahrfunktionen dargestellt und die These aufgestellt, dass ein szenarienbasiertes Testkonzept eine mögliche Lösung für das Testdilemma darstellen könnte. Es werden sechs Forschungsfragen aufgestellt, die für die Entwicklung eines szenarienbasierten Ansatzes beantwortet werden müssen.

Im zweiten Teil werden die Grundlagen und Voraussetzungen der vorliegenden Arbeit dargestellt. Es werden Begriffe und Definitionen für den Bereich des Tests, zur Beschreibung von Schnittstellen und zur Beschreibung von Straßen vorgestellt. Weiterhin wird der Begriff der Komplexität von Szenarien untersucht. Es werden eine Beschreibung von Automatisierungsgraden und eine funktionale Systemarchitektur für automatisierte Fahrfunktionen vorgestellt. Der Teil schließt mit Methoden des Softwaretests sowie der Verkehrssimulation und einer Klassifikation von verschiedenen X-in-the-Loop-Verfahren ab.

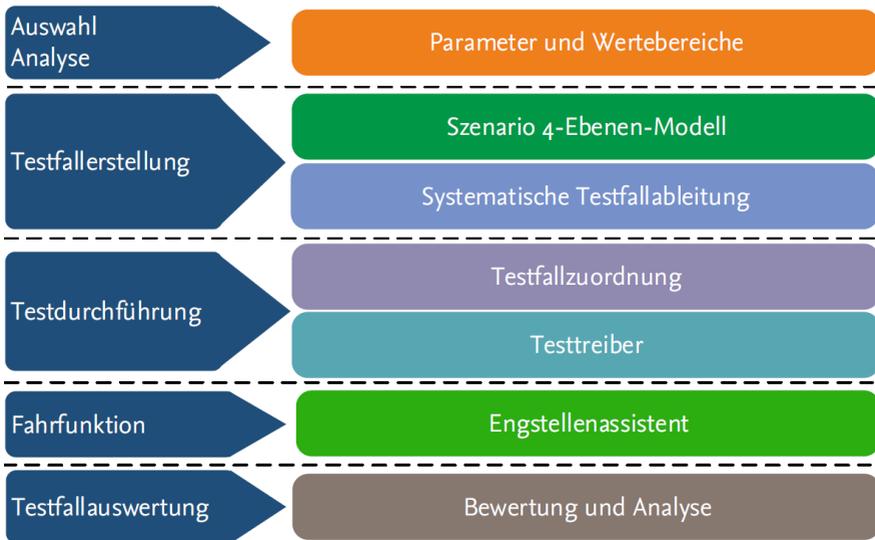


Abbildung 15.1: Modularer virtueller Testbaukasten

Im dritten Teil wird das Testkonzept des modularen virtuellen Testbaukastens vorgestellt, welcher in Abbildung 15.1 zu sehen ist. Der Testbaukasten besteht aus den Modulen: Auswahl und Analyse, Testfallerstellung, Testdurchführung und Testfallauswertung. Es werden Anforderungen an ein Testkonzept für automatisierte Fahrfunktionen definiert

sowie der Aufbau und die Schnittstellen zwischen den Modulen des Testbaukastens präsentiert. Für die Auswahl und Analyse der Einflussparameter, die Testfallerstellung und die Testdurchführung mittels X-in-the-Loop-Verfahren werden Anforderungen definiert und der relevante Stand der Technik vorgestellt. Aus dem vorgestellten Stand der Technik wird der Forschungsbedarf abgeleitet. Für die Auswahl und Analyse der Einflussparameter wird ein Schema zur Beschreibung der Einflussparameter hergeleitet und es werden Informationsquellen für die Auswahl und Analyse von Einflussparametern bewertet. Für die Testfallerstellung wird ein generisches 4-Ebenen-Modell zur Beschreibung von Szenarien vorgestellt. Die vier Ebenen beschreiben das Basisstraßennetzwerk, situationsspezifische Anpassungen am Basisstreckennetzwerk, Beschreibung und Regelung der Akteure und die Umweltbedingungen. Weiterhin wird eine kombinatorische Testfallableitung präsentiert. Für die Testdurchführung wird eine Zuordnungsmethode für Testfälle auf verschiedene X-in-the-Loop-Verfahren beschrieben. Zusätzlich werden Testtreiber für die Module einer funktionalen Systemarchitektur analysiert und die Testtreiber des modularen virtuellen Testbaukastens vorgestellt. Für das Modul der Testfallauswertung werden Anforderungen definiert und Methoden aus dem Stand der Technik zur Bewertung und zur Analyse der Testergebnisse präsentiert. Der Teil schließt mit einer Beschreibung der Limitationen des Testbaukastens ab.

Der vierte Teil beschreibt die Anwendung des Testbaukastens im Fallbeispiel des Engstellenassistenten. Das Projekt wird vorgestellt und die verschiedenen Module des Testbaukastens werden angewendet.

## **15.2 Dissertation Andreas Reschka: Fertigkeiten- und Fähigkeitengraphen als Grundlage des sicheren Betriebs von automatisierten Fahrzeugen im öffentlichen Straßenverkehr in städtischer Umgebung**

*von Andreas Reschka*

In den vergangenen Jahren haben zahlreiche Projekte zur Erforschung automatisierter Fahrzeuge öffentliche Aufmerksamkeit erlangt. Der Fokus lag in diesen Projekten vor allem auf der funktionalen Entwicklung. Die dabei gezeigten Resultate lassen auf eine absehbare Serienreife von Fahrzeugführungssystemen zur Automatisierung von Fahrzeugen schließen. Der Betrieb von Versuchsträgern wurde bisher stets durch einen Sicherheitsfahrer abgesichert. So ist es auch im Projekt Stadtpilot der Technischen Universität Braunschweig, in dessen Rahmen diese Dissertation entstand.

### **Teil I - Einführung**

In dieser Dissertation wird ein Beitrag zur Sicherheit automatisierter Fahrzeuge für den öffentlichen Straßenverkehr geleistet. Im ersten Teil werden die Rahmenbedingungen für automatisierte Fahrzeuge betrachtet und wesentliche Begriffe definiert. Im Fokus steht dabei eine Betrachtung der Automatisierungsgrade für automatisierte Fahrzeuge. Hierbei versucht das Kapitel eine Klärung der vielfältig und unterschiedlich verwendeten Begriffe zu leisten und liefert einen Vorschlag zu einer deutschsprachigen Terminologie - angelehnt an die US-amerikanische Terminologie. Des weiteren werden Konsequenzen aus den Besonderheiten der einzelnen Automatisierungsgrade her-

Automatisierungsgrad	Bezeichnung	Bedienung der Aktorik	Planung von Fahrentscheidungen	Wahrnehmung des Umfelds	Rückfallebene	Fahrstuationen (System)	Überwachung des Fahrzeugs	Überwachung der Ladung	Unterstützung der Insassen	BASt / VDA	NHTSA
<b>Fahrer überwacht Umfeld, Fahrzeug und Ladung und unterstützt Insassen</b>											
0	Keine Automatisierung	Fahrer	Fahrer	Fahrer	Fahrer	Keine	Fahrer	Fahrer	Fahrer	Driver only	0
1	Fahrerassistenz	Fahrer und System	Fahrer	Fahrer und System	Fahrer	Einige	Fahrer und System	Fahrer	Fahrer	Assistiert	1
2	Teilweise Automatisierung	System	Fahrer und System	Fahrer und System	Fahrer	Einige	Fahrer und System	Fahrer	Fahrer	Teilautomatisiert	2
<b>System überwacht Umfeld; Fahrer überwacht Fahrzeug und Ladung und unterstützt Insassen</b>											
3	Bedingte Automatisierung	System	System	System	Fahrer (mit Zeitreserve)	Einige	Fahrer und System	Fahrer	Fahrer	Hochautomatisiert	3
<b>System überwacht Umfeld und Fahrzeug; Fahrer überwacht Ladung und unterstützt Insassen</b>											
4	Hohe Automatisierung	System	System	System	System	Viele	System	Fahrer	Fahrer	Vollautomatisiert	3/4
<b>System überwacht Umfeld, Fahrzeug und Ladung und unterstützt Insassen; Betrieb ohne Menschen an Bord möglich</b>											
5	Vollständige Automatisierung	System	System	System	System	Alle	System	System	System	VDA: fahrerlos	3/4

Abbildung 15.2: Automatisierungsgrade mit Erweiterungen

ausgearbeitet. Im Speziellen werden die verschiedenen Aufgaben der Fahrzeugführung dem Menschen und einem technischen System je nach Automatisierungsgrad gegenüber gestellt. Abbildung 15.2 zeigt das Resultat dieser Gegenüberstellung.

Der Stand der Forschung zur Automatisierung von Fahrzeugen schließt den ersten Teil. Eine Betrachtung von Robotiksystemen und Flugzeugen zeigt, dass automatisiertes Fahren besondere Herausforderungen liefert. Speziell die offene Menge an möglichen Szenarien ist in der Robotik und der Luftfahrt nicht gegeben.

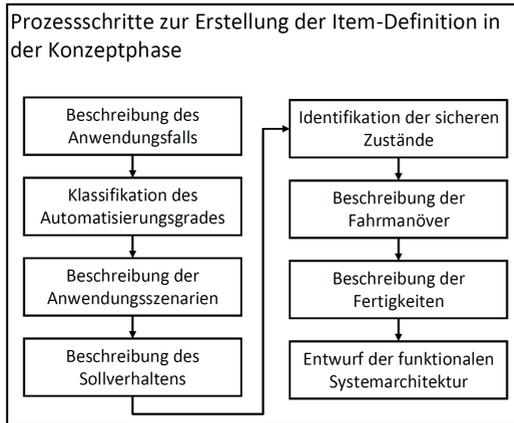


Abbildung 15.3: Prozessschritte zur Erstellung der Item-Definition in der Konzeptphase

## Teil II - Entwicklungsprozess

Im zweiten Teil der Dissertation wird der Entwicklungsprozess nach Norm ISO 26262 betrachtet und auf automatisierte Fahrzeuge angewandt. Die Norm ISO 26262 wurde für elektrische und elektronische Systeme im Kraftfahrzeug entwickelt und wird auch auf Fahrerassistenzsysteme angewendet. Eine Übertragung auf automatisierte Fahrzeuge ist jedoch nicht ohne weiteres möglich, da der Standard besonders die Konzeptphase zur Erhebung der Anforderungen nicht auf Gesamtfahrzeugebene ausdehnt, sondern eher für Teilsysteme geeignet ist.

Dennoch werden in diesem Teil die Prozessschritte zur Erstellung einer Item Definition für das vollständig automatisierte Fahrzeug auf Abruf als Anwendungsfall des automatisierten Fahrens in der Stadt exemplarisch durchgeführt. Abbildung 15,3 zeigt diese Prozessschritte.

Da eine vollständige Item Definition mit einer Betrachtung von allen Szenarien im Rahmen einer Dissertation nicht erstellt werden kann, werden ausgewählte pathologische Szenarien genutzt, um die Anforderungen abzuleiten. Im Rahmen dieser Untersuchung hat sich gezeigt, dass jedes Szenario, das einen anderen Verkehrsteilnehmer enthält, auch so modifiziert werden kann, dass es zu einer Gefährdung kommen kann. Daher sind viele funktionale Anforderungen auch sicherheitsrelevant.

Für einen sicheren Betrieb sind nicht nur die Informationen aus der Umfeldwahrnehmung erforderlich, sondern auch die eigenen Fertigkeiten des automatisierten Fahrzeugs. In diesem Teil der Dissertation werden daher Fertigkeitengraphen zur Modellierung von Fahrzeugführungssystemen in die Konzeptphase integriert. Diese ermöglichen eine Modellierung des Systems angelehnt an die Aktivitäten, die ein Mensch bei der Fahrzeugführung ausführt. In dieser Dissertation werden Fertigkeitengraphen angelehnt an die für den Betrieb erforderlichen Fahrmanöver abgeleitet. Abbildung 15.4 zeigt einen Fertigkeitengraphen für das Fahrmanöver *Folgen*.

Diese Fertigkeitengraphen können hierarchisch modelliert werden und zu einem systemübergreifenden Fertigkeitengraphen zusammengefasst werden. Dadurch werden die systeminternen Zusammenhänge zwischen Fertigkeiten deutlich und der Fertigkeitengraph kann als Vorlage für die Selbstüberwachung des automatisierten Fahrzeugs im Betrieb genutzt werden.

### **Teil III - Sicherheitskonzept**

Im dritten Teil der Dissertation wird ein funktionales Sicherheitskonzept entwickelt, das den Betrieb von automatisierten Fahrzeugen im städtischen Straßenverkehr ermöglichen soll. Das Sicherheitskonzept

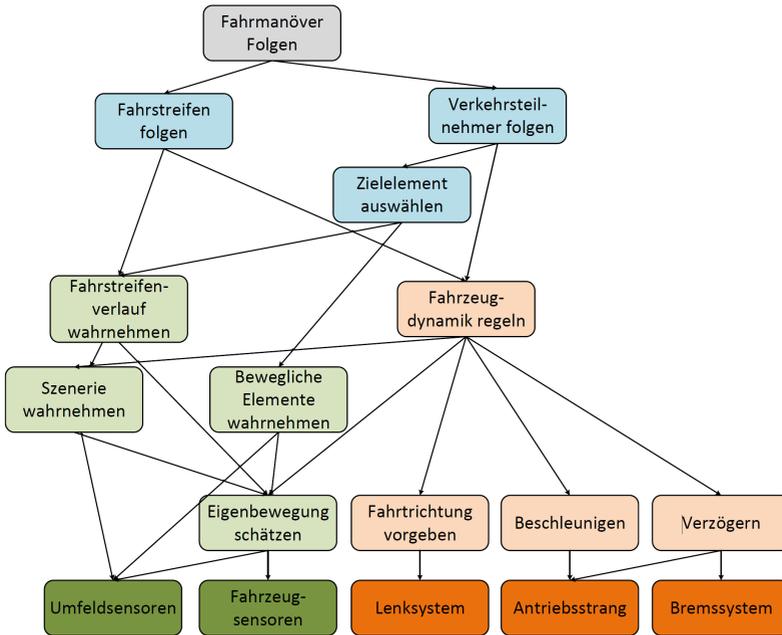


Abbildung 15.4: Fertigkeitengraph für das Fahrmanöver Folgen; Grau: Systemfähigkeiten, Hellblau: Planungsfähigkeiten, Hellgrün: Wahrnehmungsfähigkeiten, Grün: Sensoren und weitere Datenquellen, Hellorange: Aktionsfähigkeiten, Orange: Aktoren und weitere Datenquellen

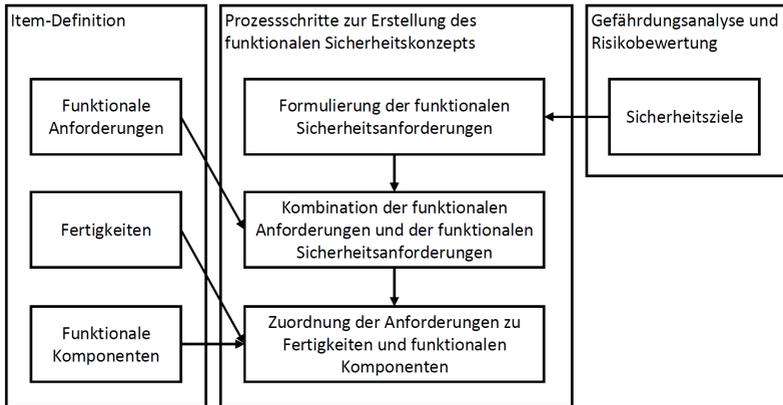


Abbildung 15.5: Schritte zur Erstellung des funktionalen Sicherheitskonzepts

basiert auf den identifizierten pathologischen Szenarien. Abbildung 15.5 zeigt den Prozess zur Erstellung des Sicherheitskonzepts.

Beispielhaft wird eine Gefährdungsanalyse und Risikobewertung für die pathologischen Szenarien des vollständig automatisierten Fahrzeugs auf Abruf durchgeführt. Das Ergebnis sind die Sicherheitsziele, die von dem zu entwickelnden System erreicht werden müssen. Für die pathologischen Szenarien sind die Sicherheitsziele sehr hoch und viele Teile des Systems erben die Automobil-Sicherheitsintegritätslevel (ASIL) B, C und D. Dies führt zu hohen Anforderungen an die Verlässlichkeit der Software- und Hardwarekomponenten.

Das funktionale Sicherheitskonzept setzt diese Sicherheitsziele durch eine Selbstwahrnehmung und Selbstrepräsentation des automatisierten Fahrzeugs um. Statt alle funktionalen Komponenten mit hohen Sicherheitsanforderungen zu entwickeln, bietet die Selbstrepräsentation eine Möglichkeit, die Fähigkeiten des automatisierten Fahrzeugs zu modellieren. Dies wird durch eine Überführung des systemweiten

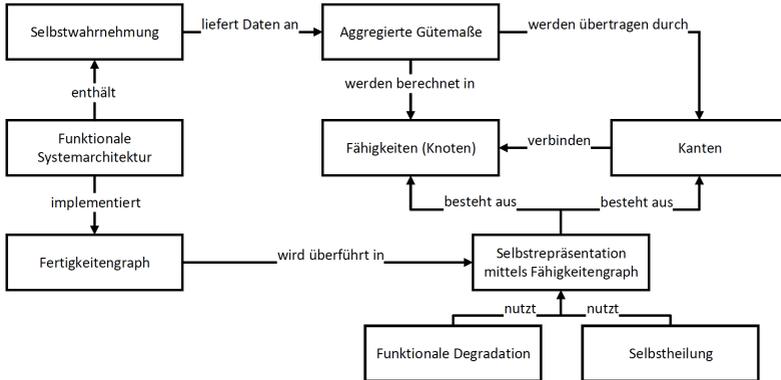


Abbildung 15.6: Elemente des funktionalen Sicherheitskonzepts; das zu entwickelnde System wird durch die funktionale Systemarchitektur repräsentiert; diese enthält die Schnittstellen zur Umwelt

Fertigkeitengraphen aus der Konzeptphase in einen Fähigkeitengraphen des Fahrzeugführungssystems erreicht. Abbildung 15.6 zeigt die Elemente des funktionalen Sicherheitskonzepts.

In diesem werden aggregierte Gütemaße berechnet, die ein Abbild der aktuellen Leistungsfähigkeit des automatisierten Fahrzeugs unter Berücksichtigung der aktuellen Situation ermöglichen. Diese Selbstrepräsentation kann als Eingangsgröße für Fahrentscheidungen genutzt werden und so zu sicheren Fahrentscheidungen führen.

Je nach Anforderungen aus der Situation an das Fahrzeug können Aktionen ausgelöst werden, die einen sicheren Betrieb erhalten. Beispielsweise sind dies die Reduzierung der Fahrgeschwindigkeit und die Erhöhung von Sicherheitsabständen.

## **Fazit**

Im Rahmen der Dissertation haben sich zahlreiche Herausforderungen bei der Automatisierung von Straßenfahrzeugen gezeigt. Ein Baustein auf dem Weg zu einem sicheren Betrieb ist ein strukturierter Entwicklungsprozess. Ein weiterer Baustein ist die Selbstrepräsentation des automatisierten Fahrzeugs, die neben Lokalisierung und Umfeldwahrnehmung notwendige Informationen für sichere Fahrentscheidungen liefert. Die erreichten Resultate helfen somit, den sicheren Betrieb von automatisierten Fahrzeugen zu ermöglichen, jedoch bleiben noch zahlreiche Herausforderungen in nahezu allen technischen Teilbereichen offen.



**Teil III**

**Publikationen und  
Medienberichte**



# 16 Publikationen

## 16.1 Artikel in Fachzeitschriften, Konferenzbeiträge mit Review und Buchkapitel

BAGSCHIK, G.; MENZEL, T.; RESCHKA, A.; MAURER, M.: Szenarien für Entwicklung, Absicherung und Test von automatisierten Fahrzeugen. In: *11. Workshop Fahrerassistenz und automatisiertes Fahren FAS 2017*. Walting im Altmühltal, Deutschland, Mai 2017, S. 125–135

BAGSCHIK, G.; STOLTE, T.; MAURER, M.: Safety Analysis Based on Systems Theory Applied to an Unmanned Protective Vehicle. In: *Procedia Engineering* 179 (2017), Januar, S. 61–71

ERNST, S.; RIEKEN, J.; MAURER, M.: Behaviour Recognition of Traffic Participants by using Manoeuvre Primitives for Automated Vehicles in Urban Traffic. In: *2016 IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*. Rio de Janeiro, Brasilien, November 2016, S. 976–983

HAMAD, M.; NOLTE, M.; PREVELAKIS, V.: Towards Comprehensive Threat Modeling for Vehicles. In: *1st Workshop on Security and Dependability of Critical Embedded Real-Time Systems (CERTS)*, November 2016, S. 31–36

J. SCHLATOW; MÖSTL, M.; ERNST, R.; NOLTE, M.; JATZKOWSKI, I.; MAURER, M.; HERBER, C.; HERKERSDORF, A.: Self-awareness in Autonomous Automotive Systems. In: *2017 Design, Automation Test in Europe Conference Exhibition (DATE)*. Lausanne, Schweiz, März 2017, S. 1050–1055

NOLTE, M.; JATZKOWSKI, I.; SCHLATOW, J.; MÖSTL, M.; MAURER, M.; ERNST, R.: Ein Beitrag zur Selbstüberwachung von automatisierten Fahrzeugsystemen. In: *Diagnosetagung 2017*. Dresden, Deutschland, Mai 2017, S. 237–253

NOLTE, M.; ROSE, M.; STOLTE, T.; MAURER, M.: Model Predictive Control based Trajectory Generation for Autonomous Vehicles - An Architectural Approach. In: *2017 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*. Los Angeles, CA, USA, Juni 2017, S. 798–805

RIEKEN, J.; MAURER, M.: Sensor Scan Timing Compensation in Environment Models for Automated Road Vehicles. In: *2016 IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*. Rio de Janeiro, Brasilien, November 2016, S. 635–642

SEMRAU, M.; ERDMANN, J.; RIEKEN, J.; FRIEDRICH, B.: Modelling and Calibrating Situation Adaptive Lane Changing and Merging Behavior on Chinese Elevated Roads. In: *Berichte aus dem DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik - Proceedings of the SUMO2017 - Towards Simulation for Autonomous Mobility* Bd. 31. Berlin, Deutschland, Mai 2017, Kap. 2, S. 15–28

STOLTE, T.; BAGSCHIK, G.; MAURER, M.: Safety Goals and Functional Safety Requirements for Actuation Systems of Automated Vehicles. In: *2016 IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*. Rio de Janeiro, Brasilien, November 2016, S. 2191–2198

STOLTE, T.; BAGSCHIK, G.; RESCHKA, A.; MAURER, M.: Hazard Analysis and Risk Assessment for an Automated Unmanned Protective Vehicle. In: *2017 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*. Los Angeles, CA, USA, Juni 2017, S. 1848–1855

ULBRICH, S.; SCHULDT, F.; HOMEIER, K.; STEINHOFF, M.; MENZEL, T.; KRAUSE, J.; MAURER, M.: *Testing and Validating Tactical Lane Change Behavior Planning for Automated Driving*. S. 451–471. In: WATZENIG, D. (Hrsg.); HORN, M. (Hrsg.): *Automated Driving: Safer and More Efficient Future Driving*. Cham : Springer International Publishing, 2017

## 16.2 Dissertationen

Im Berichtszeitraum wurden die folgenden Dissertationen in unserer Arbeitsgruppe veröffentlicht oder zur Veröffentlichung angenommen:

RESCHKA, A.: *Fertigkeiten- und Fähigkeitengraphen als Grundlage des sicheren Betriebs von automatisierten Fahrzeugen im öffentlichen Straßenverkehr in städtischer Umgebung*. Braunschweig, Technische Universität Braunschweig, Dissertation, Juli 2017

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

ULBRICH, S.: *Towards Tactical Lane Change Behavior Planning for Automated Vehicles*. Braunschweig, Technische Universität Braunschweig, Dissertation, 2017. – zur Veröffentlichung angenommen



# 17 Die Arbeitsgruppe in den Medien

Unser Institut konnte auch im akademischen Jahr 2016/2017 wiederum ein großes Medienecho erzielen. Im Folgenden findet sich eine Auswahl von Beiträgen und Artikeln in diversen Medienformaten.

## 17.1 Radio und Fernsehen

Medium	Datum	Artikel
NDR	07.02.2017	Carolo-Cup: „Ich würde nicht damit fahren“
ARD	30.03.2017	Tagesthemen „Automatisiertes Fahren, der Bundestag stellt Regeln für selbstfahrende Autos auf“
NDR	10.05.2017	Wie geht das? „Hightech-Laster auf der A2“

## 17.2 Printmedien

Medium	Datum	Artikel
Die Zeit	12.01.2017	Stur in der Spur
Aller-Zeitung	27.01.2017	Fahrzeuge ohne Fahrer im Wettkampf
Braunschweiger Zeitung	31.01.2017	Miniaturlautos fahren um den Carolo Cup
Berliner Zeitung	06.02.2017	Geisterfahrer
Göttinger Tageblatt	06.02.2017	Studenten lassen ihre Modellautos um die Wette fahren
Badische Zeitung	07.02.2017	Auf der Spur der Roboterautos
Cellesche Zeitung	07.02.2017	Carolinchen neben der Spur
Bremer Nachrichten	07.02.2017	Start frei für autonome Mini-Autos
Siegener Zeitung	07.02.2017	Autonom en miniature
General Anzeiger	07.02.2017	Wettrennen mit autonomen Modell-Autos
NRZ	07.02.2017	Autonome Modellautos fahren um die Wette
Braunschweiger Zeitung	08.02.2017	Kleine Flitzer müssen noch mehr leisten
Süddeutsche Zeitung	13.02.2017	Hundert Meter Zukunft
Kölner Stadt-Anzeiger	16.02.2017	Die Maschine lenkt sich selbst
Frankfurter Allgemeine Zeitung	17.05.2017	Selbstfahren - „Die Debatte“ startet im Internet
Braunschweiger Zeitung	18.05.2017	Wissenschaft sucht Dialog mit Bürgern - Diskussionsreihe startet im Haus der Wissenschaft
Braunschweiger Zeitung	22.05.2017	Kreuzungen kann der Computer noch nicht
Zeit	06.09.2017	Das Auto-Auto und die Ethiker

## 17.3 Veröffentlichungen auf Internetseiten

Medium	Datum	Artikel
Zeit Online	26.01.2017	Stur in der Spur
Regionalsport.de	28.01.2017	Kleiner Motorsport ganz groß: Carolo Cup 2017
regionalbraunschweig.de	26.01.2017	Zehnter Carolo-Cup mit neuem Wettbewerbsmodus
news38.de	04.02.2017	In den letzten Kurven: So starten die Teams in den Carolo-Cup
Heise.de	06.02.2017	Carolinchen neben der Spur - Autonome Modellautos fahren um die Wette
NDR.de	07.02.2017	Carolo-Cup: „Ich würde damit nicht fahren!“
regionalbraunschweig.de	07.02.2017	Kampf um den Carolo-Cup - TU Teams weit vorne?
studiz8.de/wissenschaft	08.02.2017	„Carolinchen“ ist erneut am schlausten
Heise.de	09.02.2017	10 Jahre Carolo-Cup: Autonome Modellautos achten auf Radarfallen
Zeit.de	28.09.2017	Das Auto-Auto und die Ethiker



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

ISBN: 978-3-9814969-6-3