



## Elektronische Fahrzeugsysteme 2014

Jahresbericht: Akademisches Jahr 2013/2014

Markus Maurer, Richard Matthaei,  
Andreas Reschka (Hrsg.)



## **Impressum**

Copyright: © 2014

Technische Universität Braunschweig

Institut für Regelungstechnik

Prof. Dr.-Ing. Markus Maurer, Richard Matthaei, Andreas  
Reschka (Hrsg.)

ISBN: 978-3-9814969-3-2

# Inhaltsverzeichnis

<b>I</b>	<b>Aktivitäten der AG Elektronische Fahrzeugsysteme</b>	<b>9</b>
<b>1</b>	<b>Die AG Elektronische Fahrzeugsysteme</b>	<b>11</b>
1.1	Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter . . . . .	11
1.2	Neue Kollegen . . . . .	14
<b>2</b>	<b>Lehre</b>	<b>19</b>
2.1	Übersicht . . . . .	19
2.2	Neues aus der Lehre . . . . .	21
2.3	Studentische Arbeiten . . . . .	37
2.4	Prüfungen am Institut . . . . .	39
<b>3</b>	<b>Berichte aus der Forschung</b>	<b>41</b>
3.1	Autonomes Fahren und Fahrerassistenz . . . . .	41
3.2	Fahrzeugsystemtechnik . . . . .	62
3.3	Abgeschlossene Promotionen . . . . .	71
<b>4</b>	<b>Ereignisse</b>	<b>81</b>
4.1	Carolo-Cup 2014 . . . . .	81
4.2	Mobility Award 2013 . . . . .	85
4.3	Mitarbeit in der AG Forschung der BAST 2014 . . . . .	86

<b>II</b>	<b>Aktivitäten von Mitarbeitern, Ehemaligen, Freunden</b>	<b>89</b>
<b>5</b>	<b>Berichte aus der Forschung</b>	<b>91</b>
5.1	Projekt „Villa Ladenburg“ . . . . .	91
5.2	Teilnahme am Uni-DAS Doktorandentag 2014 . . . . .	94
<b>6</b>	<b>Auszeichnungen</b>	<b>97</b>
6.1	Uni-DAS Wissenschaftspreis für Dr.-Ing. Jörn Mar- ten Wille 2014 . . . . .	97
6.2	„VDE-Stiftung Erwin-Marx“-Preis für Marcus Nolte . .	98
<b>III</b>	<b>Publikationen und Medienberichte</b>	<b>99</b>
<b>7</b>	<b>Publikationen</b>	<b>101</b>
7.1	Konferenzbeiträge mit Review . . . . .	101
7.2	Dissertationen . . . . .	103
<b>8</b>	<b>Die Arbeitsgruppe in den Medien</b>	<b>105</b>
8.1	Radio und Fernsehen . . . . .	105
8.2	Printmedien . . . . .	105
8.3	Veröffentlichungen auf Internetseiten . . . . .	108

# Vorwort

*von Markus Maurer*

Unser Erfolg hat viele Gesichter. In diesem Jahr haben wir ganz bewusst das Team auf der Titelseite abgebildet, den Motor unseres Erfolges als Arbeitsgruppe „Elektronische Fahrzeugsysteme“. Die Erfolge zeigen sich in der langjährigen, vertrauensvollen Zusammenarbeit mit unseren Industriepartnern Volkswagen, Wabco, Audi und Hella in bilateralen Forschungsprojekten. Bei der Akquise der öffentlich geförderten Projekte aFAS und DADAS konnten wir unsere Konsortialpartner und unsere Fördergeber überzeugen. Dank des erfolgreichen Bauantrages für das NFF können wir heute unsere neuen Prüfstände „Referenzsensorik“ und „Vehicle in the Loop“ konzipieren und aufbauen lassen. Unsere Aufnahme in die AG Forschung des Runden Tisches des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur spiegelt uns, dass unsere Beiträge auch an maßgeblicher Stelle national geschätzt werden.

Die Erfolge wurden im Team erarbeitet. So verwundert es nicht, dass wir als Team attraktiv für den akademischen Nachwuchs sind. Mit Gerrit Bagschik, Marcus Nolte und Andreas Reschka haben wir die Mitarbeiter gewinnen können, die wir uns gewünscht haben. Richard Matthaei und Andreas Reschka haben sich entschieden, unser Team über ihre Dissertation hinaus als Postdocs zu führen. Bernd Lichtes Wirken in den vergangenen Jahren am Institut ist auch den Kollegen an der Ostfalia nicht verborgen geblieben. Sie haben ihn abgeworben als Professor mit einem Angebot, mit dem wir finanziell nicht mithalten konnten.

Unsere Absolventen tragen mit ihren Leistungen in der Industrie zum Renommee der Gruppe bei. Weltweit sichtbar wurde jüngst ein Audi RS7, der unbemannt, automatisiert über den Hockenheimring raste. Ausgerüstet wurde er von unseren Partnern im Audi-Projekthaus in Ingolstadt, Projektleiter war unser ehemaliger wissenschaftlicher Mitarbeiter Peter Bergmiller. Im Hintergrund unterstützen die Forscher von Volkswagen unter Leitung von Thomas Form, Honorarprofessor in unserem Team, und von unserem langjährigen Kooperationspartner Chris Gerdes von der Stanford University. Wir freuen uns über die Erfolge unserer Partner und unserer Ehemaligen!

Als Forscher werden wir auch gemessen an unseren Publikationen. Wir freuen uns, dass wir eingeladen wurden, mit zwei Artikeln zum Handbuch Fahrerassistenzsysteme beizutragen, das von Hermann Winner und seinen Mitarbeitern herausgegeben wird und in Zukunft auch auf Englisch erscheinen wird. Wichtig für uns sind auch die platzierten Beiträge in der Zeitschrift *at* zum Themenheft AUTO, auf den führenden internationalen Konferenzen IEEE Conference on „Intelligent Vehicles“ und IEEE „Intelligent Transportation Systems Conference“ sowie dem hochkompetitiven Workshop FAS 2014 in Walting, auf dem gleich drei Veröffentlichungen das Review bestanden haben.

Weniger sichtbar aber substanziell genauso wichtig für unser Team sind die vielen Beiträge unserer Studierenden als Hilfwissenschaftler, als Bacheloranden, Masteranden oder einfach in der aktiven Mitarbeit in unseren Lehrveranstaltungen. Da wir in unserer Gruppe in der glücklichen Lage sind, dass wir ganz im Humboldtschen Sinne getrieben aus unserer Forschung lehren dürfen, wirken die Beiträge der Studierenden in der Lehre auch wieder auf die Forschung zurück. Es ermutigt uns, wie viele Studierende sich auch für unsere spezialisierten Lehrveranstaltungen und für studentische Abschlussarbeiten in unserer Gruppe entscheiden.

Ausgezeichnet wurden die Leistungen unserer Aktiven und Ehemaligen im Berichtszeitraum durch den Mobility Award des Automotive Clusters der Landesinitiative Niedersachsen für die Ausrichtung des Carolo-Cups, dem Preis der „VDE-Stiftung Erwin Marx“ an Marcus Nolte als bestem Absolventen der Elektrotechnik des Studienjahres 2013/14 und dem Wissenschaftspreis des Uni-DAS e.V an Jörn Marten Wille für seine am Institut angefertigte Dissertation.

Erfolg hat Nebenwirkungen. Täglich fühlbar ist sicherlich zunächst das hohe Arbeitspensum und die hohe Intensität im Arbeitsalltag unserer Mitarbeiterinnen, Mitarbeiter und Studierenden. Wir mussten auch erfahren, dass wir - aus Kapazitätsgründen - nicht mehr an allen wichtigen Ausschreibungen zu unserem Thema teilnehmen konnten. Am schmerzlichsten war sicher die Einsicht im vergangenen Sommer, als wir uns eingestehen mussten, da wir keine freien Valenzen mehr haben, um einen eigenen Antrag zum DFG Schwerpunktprogramm „Kooperativ interagierende Automobile“ zu stellen, obwohl wir an der Einrichtung des Schwerpunktprogramms aktiv mitgewirkt hatten.

Neben allen individuellen Beiträgen maßgeblich für die Erfolge der Gruppe ist die wachsende Bedeutung des automatisierten Fahrens. Dadurch bewegt sich unser Forschungsthema aus der Nische in den Mainstream. Automatisiertes Fahren ist präsent in den Medien; es erfährt zunehmend Aufmerksamkeit der öffentlichen Fördergeber, dort verbunden mit einem Trend von der Fahrerassistenz zum automatisierten Fahren. Gerade unerfahrene Neueinsteiger haben hohe Naherwartungen an automatisiertes Fahren, die auch mit einer gewissen Enttäuschungsgefahr verbunden sind. Sehr positiv sehen wir, dass auch die gesellschaftliche Diskussion über die Potenziale aber auch die Risiken verbunden mit automatisiertem Fahren an Intensität zugenommen hat.

Die gesteigerte Aufmerksamkeit und die erhöhten finanziellen Ressourcen, die vor allem seitens der Industrie für automatisiertes Fahren aufgewendet werden, werden auch die akademische Forschung im Themenfeld verändern. Schon bei der Konzeption von aFAS haben wir gelernt, dass wir nicht die Prozesse am Institut haben, um Steuergeräte nach ASIL D bei uns zu programmieren. In diesem Projekt konzentrieren wir uns daher auf konzeptionelle Beiträge.

Forschung zu automatisiertem Fahren wird sich in Zukunft immer weniger in neuen Funktionen zeigen. Viele Funktionen wurden bereits einmal prototypisch dargestellt. Die Forschungsgemeinschaft wird neue Metriken etablieren, hinsichtlich derer sich die Leistung der automatisierten Systeme bewerten lässt. Zukünftig wird unsere Forschung an solchen Metriken gemessen werden.

Wir blicken dankbar auf das akademische Jahr 2013/14 zurück. Der Dank geht an alle Fördergeber, Partner, Mitarbeiterinnen/Mitarbeiter, Studierende und Kolleginnen/Kollegen, die uns unterstützt haben mit Ressourcen, aktiver Mitarbeit und in vielen Diskussionen und Gesprächen. Mit freudiger Erwartung und unverminderter Intensität sind wir bereits mit unseren Partnern in das noch junge akademische Jahr 2014/15 gestartet.

**Teil I**

**Aktivitäten der AG  
Elektronische  
Fahrzeugsysteme**



# 1 Die AG Elektronische Fahrzeugsysteme

## 1.1 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter

Während des akademischen Jahres 2013/2014 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.-Ing. Bernd Lichte	Standortleitung in Wolfsburg
Dr. phil. Veronika Krapf	Assistenz der Institutsleitung
Stefanie Scheffer	Sekretärin
Dipl.-Ing. Oussama Alaya	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
M.Sc. Gerrit Bagschik	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Dipl.-Ing. Horea Cernat	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Dipl.-Ing. Frank Dierkes	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Dipl.-Ing. Richard Matthaei	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
M.Sc. Marcus Nolte	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
M.Sc. Andreas Reschka	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
M.Sc. Jens Rieken	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Dipl.-Wirtsch.-Ing. Fabian Schuldt	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
M.Sc. Dipl.-Ing. (FH) Torben Stolte	Wissenschaftlicher Mitarbeiter

<b>Name</b>	<b>Aufgabenbereich</b>
M.Sc. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Simon Ulbrich	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
M.Sc. Jan Timo Wendler	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Dipl.-Ing. Mohamed Brahmi	Gastwissenschaftler
M.Sc. Jaebum Choi	Gastwissenschaftler
B.Sc. Bashar Ibrahim	Gastwissenschaftler
Dr.-Ing. Sven A. Beiker	Gastdozent
B.Eng. Sven Böhme	Technik

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
Denise Arenhövel	Auszubildende Technik
Selena Brauch	Auszubildende Technik
Robert Haider	Auszubildender Technik
Dominic Heinemann	Auszubildender Technik
Luc Möbius	Auszubildender Technik
Pierre Trenkner	Auszubildender Technik

Folgende externe Doktoranden werden von der Arbeitsgruppe Elektronische Fahrzeugsysteme betreut:

<b>Name</b>	<b>Firma</b>
Dipl.-Ing. Benjamin Bieber	Daimler AG
Dipl.-Ing. Philipp Heck	Volkswagen AG
M.Sc. Ahmed Ragab	WABCO Development GmbH
Dipl.-Ing. Max Schmidt	Audi AG

## 1.2 Neue Kollegen

Das Institut für Regelungstechnik freut sich sehr, auch in diesem Berichtszeitraum wieder neue Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in unserer Arbeitsgruppe „Elektronische Fahrzeugsysteme“ willkommen heißen zu können.

### 1.2.1 Gerrit Bagschik

*von Gerrit Bagschik*



Ich arbeite seit November 2013 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Regelungstechnik in der Arbeitsgruppe Elektronische Fahrzeugsysteme. An dieser Stelle eine kurze Erzählung über meinen Weg hierher.

Aufgewachsen bin ich im nahegelegenen Wiedelah und zur Schule gegangen im schönen und friedvollen Luftkurort Bad Harzburg. Nach den Leistungskursen Mathematik und Physik in der Oberstufe war mir relativ schnell klar, dass ich etwas technisches studieren möchte. Inspiriert durch meine Ferienjobs bei der Firma I+ME Actia, in der ich Diagnose-Geräte repariert und getestet habe, suchte ich nach einem

Studiengang, der Fahrzeugsysteme beinhaltet.

Nach meinem Abitur folgte dann also ein Studium an der Technischen Universität Braunschweig im Studiengang Informations-Systemtechnik mit der Vertiefung Elektronische Fahrzeugsysteme. Nach dem Grundstudium fertigte ich meine Bachelorarbeit bei unserem ehemaligen Kollegen Peter Bergmiller an. In der Arbeit entwarf ich ein Batteriemanagementsystem für den modularen Versuchsträger „MOBILE“. Motiviert durch die praktische Arbeit an einem Projekt wollte ich das im Studium gewonnene Wissen umsetzen. So begann ich im Team CDLC für die Teilnahme am Carolo-Cup zu arbeiten. Nach dem sehr erfolgreichen Cup 2012 und einer Neustrukturierung im Team bekam ich die ehrenvolle Aufgabe der Teamleitung bis zum Carolo Cup 2013, bei dem wir den zweiten Platz belegten. Parallel dazu ergab sich eine Praktikumsstelle in der Volkswagen-Konzernforschung und eine Anstellung als Werksstudent für ein Jahr. Im April 2013 begann ich dann mit meiner Masterarbeit unter der Betreuung von Richard Matthaei mit dem Titel „Evaluierung der Eignung des wahrgenommenen Straßenverlaufs als Merkmal zur hoch genauen Lokalisierung in digitalen Karten“.

Am Institut betreue ich die Übung Fahrzeugsystemtechnik. Des Weiteren wurde ich mit dem Aufbau der DFG-Großgeräte *Vehicle-in-the-loop* und *Referenzsensorik* betraut. Meinen Forschungsschwerpunkt möchte ich in den nächsten Jahren auf die Absicherung automatisierter Systeme zur Laufzeit legen. Dazu haben wir zusammen mit Leonie und den DFG-Großgeräten die besten Voraussetzungen und ich freue mich auf spannende Jahre.

## 1.2.2 Marcus Nolte

*von Marcus Nolte*



Seit Mai 2014 bin ich Teil der Arbeitsgruppe „Elektronische Fahrzeugsysteme“ am Institut für Regelungstechnik.

Ich komme aus dem recht überschaubaren Städtchen Hann. Münden im südlichsten Zipfel von Niedersachsen („So irgendwo zwischen Kassel und Göttingen“). Während der Schulzeit reifte in der Oberstufe die Entscheidung, „etwas Technisches“ zu studieren. In der Zeit des Zivildienstes beeindruckten mich Berichte über die Erfolge der Technischen Universität Braunschweig bei der DARPA Urban Challenge und ich entschloss mich, hier Elektrotechnik zu studieren.

Im zweiten Bachelorsemester landete ich als HiWi für die Webseitenbetreuung am IfR. Wie man vielleicht sieht, konnte ich mich seit dem nicht mehr so ganz von hier lösen und schrieb auch meine Bachelor- und Masterarbeit im Rahmen des Stadtpilot Projekts am Institut.

Vom Interesse am automatisierten Fahren angetrieben, konnte ich schon während des Studiums im Carolo-Cup Team (Team CDLC) erste praktische Erfahrungen rund um das Thema Bildverarbeitung sammeln. Diese Kenntnisse konnte ich im Rahmen eines sechsmonatigen

Praktikums bei der Robert Bosch GmbH in Hildesheim weiter vertiefen. Am Institut beschäftige ich mich mit dem Forschungsprojekt „Controlling Concurrent Change“. Mit unserem überaktuierten Versuchsfahrzeug MOBILE steht im Rahmen dieses Projektes eine Plattform zur Verfügung, die die Untersuchung und Verbesserung von Fahrerassistenzsystemen in hochdynamischen Fahrsituationen erlaubt. Mein persönlicher Schwerpunkt wird dabei auf der Erforschung von bildverarbeitenden Algorithmen liegen.

### 1.2.3 Andreas Reschka

*von Andreas Reschka*



Bereits seit 2009 arbeite ich am Projekt Stadtpilot im Rahmen des NFF mit und seit April 2014 nun auch als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Regelungstechnik. Wie es dazu kam möchte ich hier kurz erläutern.

Nach meinem Abitur in Traunreut im schönen Oberbayern habe ich Network Computing an der Technischen Universität Bergakademie Freiberg studiert und mit einem Bachelor of Science abgeschlossen. Danach folgten ein halbjähriges Industriepraktikum und ein viersemestriges Masterstudium zum Master of Science in Informationsmanagement und Informationstechnologie an der Universität Hildesheim. Nach meinem

Abschluss wurde ich vom dortigen Institut für Technik als wissenschaftlicher Mitarbeiter eingestellt und bekam die Gelegenheit zur Promotion im Rahmen des Stadtpilot Projekts.

In Hildesheim blieb ich bis Ende September 2013 als wissenschaftlicher Mitarbeiter und nahm dort unterschiedliche Aufgaben in der Lehre, Verwaltung und Forschung wahr. Ab Oktober 2013 war ich Stipendiat der Daimler-und-Benz-Stiftung im Projekt *Villa Ladenburg - Autonomes Fahren im Straßenverkehr der Zukunft* (siehe auch Kapitel 5.1). Als Experte für die Funktionale Sicherheit konnte ich im Rahmen des Projekt an mehreren spannenden Workshops teilnehmen. Seit April 2014 arbeite ich nun am Institut für Regelungstechnik und beschäftige mich auch weiterhin mit dem Thema *Funktionale Sicherheit für automatisierte Fahrzeuge* - unter anderem in den Projekten Stadtpilot, aFAS und CCC.

Meine Kenntnisse zur Funktionalen Sicherheit und dem automatisierten Fahren kann ich bei der Weiterentwicklung der Sicherheitskonzepte für die Versuchsträger des Instituts und in die Projekte, an denen ich beteiligt bin, einbringen und erweitern. Ich hoffe dadurch, die Forschung in diesen Bereichen voranzubringen und freue mich zusammen mit den Kollegen auf das Ziel der fahrerlosen automatisierten Fahrzeuge hinzuarbeiten.

# 2 Lehre

## 2.1 Übersicht

Folgende Veranstaltungen haben wir im vergangenen akademischen Jahr angeboten:

<b>Vorlesungen im Wintersemester 2013/2014</b>	<b>Vortragende</b>
Datenbussysteme	Dr. Grobe J. Rieken
Elektronische Fahrzeugsysteme	Prof. Form
Grundlagen der Elektrotechnik	Prof. Maurer
Oberseminar Elektronische Fahrzeugsysteme	Prof. Maurer

<b>Vorlesungen im Sommersemester 2013/2014</b>	<b>Vortragende</b>
Elektromagnetische Verträglichkeit in der Fahrzeugtechnik	Prof. Form
Fahrerassistenzsysteme mit maschineller Wahrnehmung	Prof. Maurer
Fahrzeugsystemtechnik	Prof. Maurer
Oberseminar Elektronische Fahrzeugsysteme	Prof. Maurer

<b>Labore</b>	<b>Zeitraum</b>
Entwurf von vernetzten eingebetteten Fahrzeugsystemen	WiSe 13/14 SoSe 14
Feldbussysteme in der Automatisierungstechnik	SoSe 14
Vernetzung und Diagnose im Kraftfahrzeug	WiSe 13/14

## 2.2 Neues aus der Lehre

### 2.2.1 Dissertationswerkstatt

*von Richard Matthaer*

Eine Folge des Weggangs von Bernd Lichte war eine institutsinterne, intensive Diskussion über die zukünftige Institutsstruktur. Neben einer Anpassung der organisatorischen Strukturen zur Bewältigung des Arbeitsalltags bestand vor allem Potential in einer Neuordnung der Strukturen zum wissenschaftlichen Austausch und zur Begleitung der inhaltlichen Entwicklung der Dissertationen.

Als Instrument haben wir in unserer Arbeitsgruppe die Dissertationswerkstatt ins Leben gerufen. Die Termine sind in der vorlesungsfreien Zeit im Halbjahres- oder Jahrestakt (nach Bedarf der Promovierenden) angesetzt. Innerhalb von 2 Stunden stellt dabei jeweils ein Doktorand (hier dürfen wir, da es sachlich derzeit korrekt ist, auf die weibliche Form verzichten) seinen aktuellen Stand der Erkenntnisse, Implementierung und Probleme vor. In einer offenen und sachlichen Diskussionsatmosphäre werden die Ansätze dabei mit dem Erfahrungsschatz des Doktorvaters und der anderen Doktoranden auf Herz und Nieren geprüft.

Nach anfänglich gemischten Erwartungen im Kreise der Beteiligten hat sich nach nunmehr zwei Durchläufen ein sehr positives Feedback bezüglich dieses Formats zur Begleitung des Promotionsvorhabens eingestellt. Bisher ist die Dissertationswerkstatt als Testballon zunächst nur für die internen Doktoranden umgesetzt. Wir sind in der Diskussion bezüglich eines äquivalenten Formats, das zusätzliche Geheimhaltungsvereinbarungen berücksichtigt und dadurch zukünftig auch den externen Doktoranden zugänglich ist.

Somit ist unsere Arbeitsgruppe dem in der Betreuungsvereinbarung der neuen Promotionsordnung vorgeschlagenen regelmäßigen 4-Augengespräch zwischen Promovierenden und Doktorvater mit einem Modell zuvorgekommen, dass in seiner Qualität das vorgeschlagene 4-Augengespräch nach Ansicht aller Beteiligten übertrifft.

Ein positiver und ebenfalls von den Mitarbeitern gewünschter Nebeneffekt ist, dass wir über den fachlichen Austausch in der Dissertationswerkstatt Instituts-Knowhow aufbauen, archivieren und an junge Kolleginnen und Kollegen weitergeben können.

### **2.2.2 Oberseminar**

*von Simon Ulbrich*

Das Oberseminar „Elektronische Fahrzeugsysteme“ ist eine Plattform zum wissenschaftlichen Austausch, Lernen und Weiterentwickeln für leistungsstarke Studierende und Promovierende. Es wird im Rahmen der Niedersächsischen Technischen Hochschule (NTH) und als Teil des Forschungsfelds „intelligentes Fahrzeug“ des Niedersächsischen Forschungszentrums für Fahrzeugtechnik (NFF) ausgerichtet.

Im Gegensatz zu den Vorjahren haben wir uns entschlossen, die Veranstaltung stärker zu bündeln (doppelte Dauer der einzelnen Termine), damit wir zu den einzelnen Themen mehr Zeit für Diskussionen haben. Ebenso planen wir das Format zu verändern: Weg von einer eher frontalen, vortragsdominierten Veranstaltung, hin zu einer stärkeren Workshop-Orientierung bzw. eines Forums zum unmittelbaren wissenschaftlichen Austausch.

Das Oberseminar wurde im Wintersemester 2013/2014 und im Sommersemester 2014 angeboten. Den Vortragenden sei herzlich für die spannenden Beiträge gedankt; den Zuhörern für die regen Diskussionsbeiträge.

<b>Vortragende</b>	<b>Thema</b>
Markus Maurer	Eröffnung und Motivation der Veranstaltung, Rückmeldungen aus der Korrektur von Dissertationen
Richard Matthaei	Architekturen für vollautomatisierte Straßenfahrzeuge
Thomas Winkle Markus Maurer	Projekt Villa Ladenburg - autonomes Fahren
Jens Rieken	Innovative Konzepte für die kooperative Fahrzeugführung
Thomas Scharnhorst Eckehard Schnieder Torben Stolte Felix Reinbold	Funktionale Sicherheit nach ISO 26262
Fabian Schuldt	Wie müsste ein Prüfgelände für Fahrerassistenzsysteme gestaltet sein?
Veronika Krapf Oussama Alaya	Wissenschaftliches Schreiben

Tabelle 2.4: Themen im Wintersemester 2013/2014

Vortragende	Thema
Andreas Reschka Richard Matthaei	Controlling Concurrent Change: Herausforderung für funktionale Sicherheit und Wahrnehmung
Veronika Krapf	Wissenschaftliches Schreiben
Jan Timo Wendler	Beschreibung der Leistungsfähigkeit von Fahrerassistenz
Simon Ulbrich	Kontextmodellierung und Informationsrepräsentation
Markus Maurer	Abschluss der Veranstaltung

Tabelle 2.5: Themen im Sommersemester 2014

### 2.2.3 Das CDLC-Team 2014

*vom Team CDLC*

**Das Team** Beim Carolo-Cup 2014 haben wir unter 13 teilnehmenden Teams den zweiten Platz errungen. Dieser Erfolg war für uns eine Anerkennung der investierten Mühe, zugleich aber auch Ansporn, die erkannten Verbesserungsmöglichkeiten umzusetzen.

Leider stehen uns einige bisherige Mitglieder für den nächsten Cup nicht mehr zur Verfügung, da diese ihr Studium abgeschlossen haben bzw. bald abschließen werden. Wir freuen uns aber, auch in diesem Jahr neue Mitglieder begrüßen zu dürfen. Damit besteht das Team CDLC für den Carolo-Cup 2015 aus 15 Mitgliedern der Studiengänge Elektrotechnik, Informations-Systemtechnik, Informatik und Wirtschaftsingenieurwesen Maschinenbau. Mit dieser Verstärkung konnten wir nach einer ausgiebigen Planungsphase die Umsetzung der Entwicklungsziele für den kommenden Wettbewerb in Angriff nehmen.



Abbildung 2.1: Das Team CDLC beim Carlo-Cup 2014

**Hardware** Eines der wesentlichen Entwicklungsziele bei Carolinchen 7 ist die Verringerung des Gesamtgewichts, um das Fahrverhalten, insbesondere in Kurven, zu verbessern. Darüber hinaus soll durch das geringere Gewicht die maximale Bremsverzögerung deutlich erhöht werden, wodurch wir uns eine Steigerung der möglichen Höchstgeschwindigkeit durch eine höhere Bremsleistung versprechen. Zur Zeit experimentieren wir auch mit Automotive-Batterien der *Battery LabFactory Braunschweig* in Zusammenarbeit mit dem Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik, um das Gewicht weiter zu reduzieren und den zur Verfügung stehenden Bauraum im Chassis besser auszunutzen.

Das Gyroskop und die zum Einparken eingesetzten Infrarotsensoren zur rechten Seite haben sich stets als zuverlässiger Teil unserer Sensorik behauptet und werden daher erhalten bleiben. Die Fahrzeugbewe-

gung wird aktuell durch an der Radaufhängung verbaute Inkrementalgeber bestimmt. Jedoch werden wir für diesen Zweck auch alternativ mit Hallsensoren experimentieren, um die Robustheit der Lokalisierung zu erhöhen.

Als sichtbarstes Feature werden wir für Debug-Zwecke ein abnehmbares Touchdisplay in das Auto integrieren, auf dem relevante Parameter des Systemzustands visualisiert werden können. Hierdurch können wir mögliche Fehlerquellen frühzeitig erkennen und beheben. Zudem haben wir uns in diesem Zuge als große Herausforderung die Neukonzeption unserer Mikrocontrollerplatinen vorgenommen. Die nun seit vielen Jahren gewachsene Architektur der zwei Mikrocontroller-Platinen auf Basis von je einem 8 Bit *Atmel* Mikrocontroller soll durch eine neue Platine mit einem leistungsstärkeren 32 Bit Mikrocontroller der Firma *STMicroelectronics* ersetzt werden. Dabei steht allerdings nicht nur eine höhere Leistungsfähigkeit im Vordergrund, sondern vor allem die bessere und flexiblere Erweiterbarkeit um zukünftige Features.

**Entwicklung Software** Bei unserem Konzept für die Software steht insbesondere die Erhöhung der Qualität, Performanz und Wartbarkeit durch die Implementierung von *Unit Tests* im Vordergrund. Nach der Einarbeitung der neuen Teammitglieder und der Überarbeitung des bestehenden Codes geht es nun an die Umsetzung neuer Features nach dem *Scrum*-Vorgehensmodell, um unsere Software inkrementell zu verbessern und auszureifen. Als wohl größte Neuerung arbeiten wir zur Zeit an einer kamerabasierten Objekterkennung, welche den Laserscanner ersetzen soll und damit unsere Kostenbilanz signifikant verbessern würde. Ob wir damit jedoch die erforderliche Genauigkeit erreichen können, wird sich erst in den nächsten Wochen zeigen.

**Entwicklungsstand** Derzeit befindet sich Carolinchen 7 mitten im Hardwareaufbau, während wir die neue Software mit der vorherigen Fahrzeug-Generation testen. Ab Mitte Oktober können wir dann wieder eifrig auf einer eigenen Teststrecke unser System erproben und dabei Fehler aufdecken und Verbesserungsmöglichkeiten ermitteln. Durch diesen langen Testzeitraum werden wir am Carolo-Cup 2015 mit einem ausgereiften und ausgiebig erprobten System antreten und freuen uns auf einen spannenden Wettbewerb um den ersten Platz.

## 2.2.4 SummerCamp 2014

*von Torben Stolte*

In der Zeit vom 14. bis 19. September 2014 wurde in diesem Jahr zum achten Mal das SummerCamp in Schulenberg (Harz) durchgeführt. Neben 23 Studierenden der TU Braunschweig aus den Bereichen Elektrotechnik, Informatik und Maschinenbau nahmen zum dritten Mal vier Studierende des Dynamic Design Labs der Stanford University (USA) am SummerCamp teil.

Das SummerCamp ist ein Planspiel, das das Institut für Regelungstechnik gemeinsam mit den Instituten für Programmierung und Reaktive Systeme, Verkehrssicherheit und Automatisierungstechnik und Softwaretechnik und Fahrzeuginformatik sowie Volkswagen durchführt. Die müden Augen einiger Teilnehmer in Abbildung 2.2 täuschen nicht. Alle Beteiligten hatten eine anstrengende aber auch spannende Woche hinter sich, in der sie das „Haus Schulenberg“, so der Name des Veranstaltungsorts, trotz meist sonnigen Wetters nur bei wenigen Gelegenheiten verlassen haben.

Inhaltlich werden die Studierenden durch einen V-Modell-Entwicklungsprozess, ähnlich wie man ihn auch bei großen Automobilherstel-



Abbildung 2.2: Teilnehmer und Betreuer nach Abschluss des SummerCamps 2014

lern oder Zulieferern antrifft, gefordert. Dabei entwickeln die Teilnehmenden in drei konkurrierenden Teams ein vernetztes, auf mehrere Steuergeräte verteiltes Komfortsystem. Eingangs erhalten die Gruppen eine Systembeschreibung, aus der die Studierenden die Systemanforderungen extrahieren müssen. Aufbauend auf den Anforderungen gilt es dann eine Systemarchitektur zu gestalten, welche anschließend in Hard- und Software umgesetzt werden muss. Abgeschlossen wird das SummerCamp mit der Testphase, die gemäß ihrer Rolle im V-Modell seit dem vergangenen Jahr eine zusätzliche Betonung durch die Beteiligung des Instituts für Softwaretechnik und Fahrzeuginformatik erhielt.

Allein durch die reine Entwicklungstätigkeit lässt sich das “Einbunkern” im Haus Schulenberg natürlich nicht erklären. Zusätzlich werden

weitere praxisrelevante Aspekte im SummerCamp betont. Ein Schwerpunkt ist die Arbeit in selbstorganisierten Teams. Genauso soll die durchaus auch einmal geschürte Konkurrenz zwischen den Teams die Studierenden zusätzlich herausfordern. Unterschiedliche Fortschritte der einzelnen Teams wurden auch in diesem Jahr gerne wieder in der einen oder anderen Nachtschicht ausgeglichen. Ergänzt wird dies zudem durch Einlagen, in denen die Studierenden z.B. innerhalb kürzester Zeit ihren aktuellen Projektstatus vorstandsgerecht präsentieren müssen. Erstmals wurde dabei in diesem Jahr auf die Verwendung jeglicher Präsentationssoftware verzichtet, um eine stärkere inhaltliche Fokussierung der Vorträge zu erreichen.

Darüber hinaus sieht die im SummerCamp eingesetzte Werkzeugkette in den einzelnen Phasen des Entwicklungsprozesses die Verwendung von Tools vor, die auch in der Automobilindustrie standardmäßig anzutreffen sind, sodass die Studierenden diesbezüglich einen Einblick erhalten. Abgerundet wird das SummerCamp durch Vorträge zum einen von Vertretern der beteiligten Institute, zum anderen aus der Automobil-Industrie, wie zum Beispiel Volkswagen, Elektrobot und dSPACE. Gerade Vertreter der Firmen haben den Studierenden immer wieder interessante Einblicke in das Leben in einem Unternehmen gewährt. Erstmals war auch die Firma PROSTEP vertreten, die merkbar zur Stärkung der Phase des Requirement Engineerings beitrug.

Ein Highlight war sicher auch in diesem Jahr die Teilnahme von vier Studierenden der Stanford University. Basierend auf den sehr positiven Erfahrungen der Vorjahre wurde auch das diesjährige SummerCamp wieder komplett in Englisch durchgeführt. Die Studierenden des Dynamic Design Labs wurden dabei so aufgeteilt, dass mindestens ein englischsprachiger Student pro Gruppe vertreten war. Spannend zu beobachten war die Überwindung der anfänglichen Scheu bei den deut-

schen Studierenden, Englisch zu sprechen. Insgesamt gab es eine sehr positive Rückmeldung bezüglich der Beteiligung der Studierenden aus den USA, sowohl von Seiten der hiesigen Studierenden, als auch von Seiten der Amerikaner. Wir hoffen auch im nächsten Jahr wieder Studierende aus Stanford beim SummerCamp begrüßen zu dürfen.

Abschließend kann für das diesjährige SummerCamp ein sehr positives Fazit gezogen werden, gerade auch auf Grund des Feedbacks der Studierenden. 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. Hervorgehoben sei an dieser Stelle auch unser ehemaliger Kollege Sebastian Ohl, der im Rahmen seiner Tätigkeit bei Elektrobit dem SummerCamp treu geblieben ist und eine große Unterstützung bei der Migration auf AUTOSAR 4 für das SummerCamp 2015 war! Persönlich möchte ich mich besonders bei den Kollegen aller beteiligten Institute für die von mir als sehr positiv empfundene Zusammenarbeit bedanken!

### **2.2.5 Stanford students at the SummerCamp 2014**

*von Stephen Erlie (Stanford University)*

For the third year running, researchers from the Dynamic Design Lab (DDL) at Stanford University traveled across the pond to Germany to take part in the SummerCamp organized by TU Braunschweig and sponsored by Volkswagen. Most of the group took the train to Braunschweig after landing in Frankfurt. Upon arriving, we were greeted by Jan Timo Wendler who graciously showed us around the city and took us out for dinner and drinks at a local brewpub.



Abbildung 2.3: Jan Timo, John Subosits, Sarah Thornton, and Stephen Erlien visiting Goslar.

The next day, Jan Timo met us for a delicious brunch at Alex's, located across the street from the Schloss Arkaden in downtown Braunschweig. Then the four of us traveled to Goslar for a taste of German festivities, as illustrated in Figure 1.

After an eventful day of music, beer, and German culture, we made our way to TU Braunschweig, where we met up with Torben Stolte. Torben and Jan Timo gave us a tour of the university's facilities for teaching and research in controls engineering. The highlight of the tour was a ride in „MOBILE“, a research vehicle akin to Stanford's own X1 test vehicle. Once the tour was complete, we drove to Haus Schulenberg, situated above a picturesque lake in the mountains, to begin SummerCamp.

We were assigned to teams made up of students from both Stanford and Braunschweig. Students came from a variety of technical backgrounds, so it was not unusual to see a mechanical engineer paired with a computer engineer. Over the course of one (intense) week, each team transformed a description of the system's desired functionality into a testable, working final product. Presentations of team progress by the students provided an opportunity to practice our technical communication skills, while a number of industry presentations introduced us to topics ranging from R&D efforts at Volkswagen to the technical details of AUTOSAR and MATLAB Stateflow. SummerCamp provided a great immersion into automotive software development, giving us firsthand experience with the V-Model development process which emphasizes requirement definition, testing, and system validation.

After an amazing experience at SummerCamp, a number of the German students met up with the Stanford students in downtown Braunschweig to celebrate. Many great connections, friendships, and memories were formed over the course of the week. The Stanford students look forward to coming back to Germany soon!

### **2.2.6 Vorlesung Fahrerassistenzsysteme**

*von Fabian Schuldt*

Auch in diesem Jahr hat die Vorlesung „Fahrerassistenzsysteme mit maschineller Wahrnehmung“ des Instituts für Regelungstechnik (IfR) am Standort des Niedersächsischen Forschungszentrums für Fahrzeugtechnik (NFF) in Wolfsburg am Mobile Life Campus stattgefunden. Die Vorlesung wurde in enger Kooperation mit der Volkswagen AG durchgeführt. Dabei wurde die Vorlesung zum einen von der Forschungsabteilung für Fahrerassistenzsysteme und integrierte Sicherheit und zum anderen von der technischen Entwicklungsabteilung des Fahrwerks

unterstützt.



Abbildung 2.4: Die Fahrerassistenzvorlesung am Standort Wolfsburg

Wie im letzten Jahr konnte durch die Unterstützung der Volkswagen AG ein Shuttle-Service für die Studentinnen und Studenten zwischen Braunschweig und Wolfsburg angeboten werden. Die Forschungsabteilung stellte dem Institut für den Transfer der Studierenden ihre Versuchsträger mit integrierten Fahrerassistenzsystemen zur Verfügung. In diesem Semester konnten die Studierenden unter anderem Seriensysteme aus den Fahrzeugen Golf, Passat, A6 und A8 erfahren. Mitarbeiter der Fachabteilung holten die Studierenden in Braunschweig vor der Vorlesung mit den Fahrzeugen ab und erklärten die Systeme und deren Bedienung, während die Studierenden mit den Fahrzeugen fuhren. Auf diese Weise konnten die Studierenden aktuelle Fahrerassistenzsysteme, wie beispielsweise ein Adaptive Cruise Control, einen Spurhalteassistenten oder einen Toter-Winkel-Assistenten, im Einsatz

unter realen Bedingungen testen und erleben. Die Vorlesung konnte dadurch um einen wichtigen Praxisbezug ergänzt und so die Lücke zwischen der theoretischen Ausbildung während der Vorlesung und einem praktischen Erlebnis der Systeme geschlossen werden.



Abbildung 2.5: Studierende bei der Fahrerassistenzvorlesung

Während einer halbstündigen Vorlesungspause hatten die Studierenden die Möglichkeit mit Vertretern aus den jeweiligen Unterabteilungen der Fahrerassistenzforschung zu sprechen und sich so über mögliche Abschlussarbeiten oder Praktika zu informieren.

Die Vorlesung wurde in diesem Jahr um einen Fachvortrag von Dr. Ralph Mende bereichert, dem Geschäftsführer der Braunschweiger smart microwave sensors GmbH, die Radarsensoren entwickelt und herstellt. Passend zu seinem Fachbereich hat Dr. Mende die Vorlesung über die Radartechnologien im Fahrzeug gehalten. Sein Vortrag wurde ergänzt durch Erfahrungen aus der Praxis. Nach der Vorlesung hatten die Studierenden die Möglichkeit, sich direkt mit Dr. Mende auszutau-

schen.

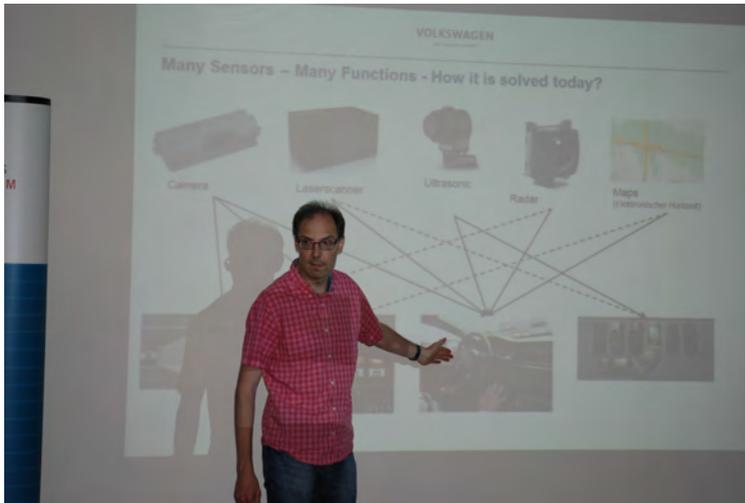


Abbildung 2.6: Dr. Marc-Michael Meinecke bei der Vorstellung einer Unterabteilung der Fahrerassistenzforschung

In diesem Semester hatten die Studierenden zusätzlich die Möglichkeit an einer Exkursion zur Robert Bosch GmbH in Hildesheim teilzunehmen. Die Studierenden konnten während der Exkursion so einen Blick in die aktuellen Forschungsthemen der Firma werfen. Aktuelle Arbeiten in Bereichen, wie beispielsweise der Fahrerassistenz, Indoor-Ortung, Car2Car-Kommunikation, Personen-Tracking, Telematik oder Übertragungstechniken, wurden den Studierenden anhand von Demonstratoren gezeigt. Zusätzlich konnten die Studierenden bei einem gemeinsamen Mittagessen Gespräche mit den Mitarbeitern führen und sich so über Einstiegsmöglichkeiten bei einem potentiellen Arbeitgeber informieren.



Abbildung 2.7: Gruppenbild der Fahrerassistenzvorlesung am Standort Wolfsburg.

### 2.2.7 Seminarvorträge

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

#### Wintersemester 2013/2014

- Predictive Cruise Control (PCC) für Nutzfahrzeuge, Danny Dohrmann
- Kooperation für automatische Straßenfahrzeuge, Jan Rohde
- Radarbasierte Fahrerassistenz, Sven Twenhoevel

## Sommersemester 2014

- Übersicht (der im Automobil eingesetzten) Radarmodulationen, Maike Lackmann
- Verfahren zum Headtracking, Hannes Schulz
- Stand der Forschung: Situationserfassung für automatisierte Straßenfahrzeuge, Tobias Köster
- Ansätze zur Reibwertschätzung für Fahrerassistenzsysteme, Philipp Adler
- Fahrdynamikregler, André Schomburg
- Steuerung von Fremdverkehr in Simulationen, Matthias Nee
- Überblick über echtzeitfähige Trajektorienplanungsalgorithmen aus FAS und Robotik, Jan Käberich
- Gewicht-Schätzung für schwere Nutzfahrzeuge, Ronny Lepke

## 2.3 Studentische Arbeiten

Während des vergangenen Jahres haben wir folgende studentische Arbeiten an unserem Institut betreut:

Arens, D.: *Funktionserweiterung eines Visualisierungsmoduls für Objekt-hypothesen in der Umfeldrepräsentation automatischer Straßenfahrzeuge*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Bachelorarbeit, 2014

Behrens, T.: *Kamerabasierte Detektion von Richtungspfeilen auf innerstädtischen Fahrbahnen*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Bachelorarbeit, 2014

Brickwedde, F.: *Kreuzungsassistentz: laserbasierte Wahrnehmung zur Detektion ungeschützter Verkehrsteilnehmer im Projekt Stadtpilot*, Technische

Universität Braunschweig, Institut für Regelungstechnik, Bachelorarbeit, 2014

Budach, N.: *Modellbasierte Längs- und Querregelungen eines autonomen Personenkraftwagens in städtischen Umgebungen*, Technische Universität Braunschweig, Institut für Regelungstechnik, Masterarbeit, 2014

Dabak, A.: *Literaturstudie zu Abbiegeassistenzsystemen in Nutzfahrzeugen*, Technische Universität Braunschweig, Institut für Regelungstechnik, Bachelorarbeit, 2014

Gregor, M.: *Entwicklung und Implementierung eines Frameworks zur systematischen Gestaltung und Variation von virtuellen Umgebungen in einer Fahrsimulation zur Testung von Fahrerassistenzsystemen*, Technische Universität Braunschweig, Institut für Regelungstechnik, Masterarbeit, 2014

Hackel, B.: *Untersuchung fahrdynamischer Systemgrenzen von Neigetechnik-Fahrzeugen*, Technische Universität Braunschweig, Institut für Regelungstechnik, Masterarbeit, 2014

Löbke, H.: *Implementierung eines Konzepts zur online Trajektoriengenerierung & -stabilisierung in zeitkritischen Verkehrsszenarien*, Technische Universität Braunschweig, Institut für Regelungstechnik, Masterarbeit, 2014

Menzel, T.: *Evaluierung des Partikelfilters zur Lokalisierung in fahrstreifengenauen Karten*, Technische Universität Braunschweig, Institut für Regelungstechnik, Masterarbeit, 2014

Nolte, M.: *Kamerabasierte Nickwinkelschätzung für automotive Anwendungen*, Technische Universität Braunschweig, Institut für Regelungstechnik, Masterarbeit, 2014

Rain, A.: *Tracking von Fußgängern durch Nutzung eines Partikelfilters auf Basis eines scannenden Radarsensors*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Masterarbeit, 2014

Zhu, Y.: *Untersuchungen zur modellbasierten Lenk- und Bremsfehlererkennung auf Fahrzeugebene*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Bachelorarbeit, 2014

## 2.4 Prüfungen am Institut

Im Berichtszeitraum wurden folgende Prüfungen abgelegt:

Name des Fachs	Anzahl der Prüfungen	Durchschnitts-note
Datenbussysteme	46	2,7
Elektromagnetische Verträglichkeit	39	1,8
Elektronische Fahrzeugsysteme	67	2,2
Fahrzeugsystemtechnik	27	2,1
Fahrerassistenzsysteme mit maschineller Wahrnehmung	38	2,1
Grundlagen der Elektrotechnik	171	3,7
System Dynamics	1	1,7
Oberseminar	3	1,1

Tabelle 2.6: Anzahl der Prüfungen im Rahmen unserer Lehrveranstaltungen.



# 3 Berichte aus der Forschung

## 3.1 Autonomes Fahren und Fahrerassistenz

### 3.1.1 aFAS

*von Torben Stolte*

Bereits im Jahr 2012 hat Sebastian Ohl die Ergebnisse einer gemeinsamen Arbeitsgruppe mit der Hochschule Biberach im Auftrag der BASt zu einem autonomen Fahrzeug im Straßenbetriebsdienst vorgestellt. Fraglich war derzeit, ob es gelingt ein Konsortium mit dem Ziel der Umsetzung eines unbemannten automatischen Absperrfahrzeuges zu realisieren. Im Frühjahr 2014 war es soweit. Gemeinsam mit den vier Industriepartnern MAN, Wabco, TRW und ZF Lenksysteme sowie Hessen Mobil, der BASt und der Hochschule Karlsruhe reichte das Institut für Regelungstechnik erfolgreich einen Förderantrag beim Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie ein. Seit dem 1. August 2014 arbeitet das Konsortium nun im Rahmen des vierjährigen Projekts an der Umsetzung des Ziels erstmals ein unbemanntes Fahrzeug im öffentlichen Straßenverkehr fahren zu lassen. Das Kürzel *aFAS* steht dabei für „Automatisch fahrerlos fahrendes Absicherungsfahrzeug für Arbeitsstellen auf Autobahnen“.

In dem Projekt geht es um ein Absperrfahrzeug, das Wanderbaustellen auf Autobahnen nach hinten gegen den fließenden Verkehr absichert. Derzeit wird ein solches Fahrzeug von einem Mitarbeiter des jeweiligen

Straßenbetriebsdienstes gefahren, der sich damit einem erhöhten Unfallrisiko aussetzt. Durch den unbemannten Einsatz kann diese Gefahr vermieden werden.

Erstmals wird dabei bewusst auf den Sicherheitsfahrer verzichtet und damit im Unterschied zum Stadtpilot und vergleichbaren Projekten tatsächlich vollautomatisierter Betrieb nach Definition der BAST im öffentlichen Straßenverkehr gezeigt. Der wohldefinierte Rahmen eines Seitenstreifens einer Autobahn stellt dabei im Vergleich zu Szenarien, wie einer vollautomatisierten Autobahnfahrt oder gar Stadtfahrten, einen vergleichsweise kleinen aber immer noch sehr komplexen Ereignisraum dar, in dem sich das automatische Sperrfahrzeug bewegt.

Zentrale Herausforderung des Projektes ist dabei eine Fehlfunktion des Gesamtsystems mit potentiell großer Gefährdung von Leib und Leben auszuschließen. Das Institut für Regelungstechnik ist deshalb im Rahmen des Projektes mit der Funktionalen Sicherheit betraut. Insbesondere wird gemeinsam mit den Industriepartnern ein geeignetes Sicherheitskonzept erarbeitet und ein Testkonzept zur Validierung des Gesamtsystems entworfen. Darüber hinaus erfolgt die Koordination der Aktivitäten zur Funktionalen Sicherheit der Industriepartner. Dies umfasst zum einen die Abstimmung definierter Entwicklungsschnittstellen zwischen den Konsortialpartnern. Zum anderen soll ein gemeinsames Verständnis der Norm ISO 26262 hergestellt werden. Die Norm ISO 26262 wird zusätzlich hinsichtlich der Anwendbarkeit für Systeme mit Umfeldwahrnehmung untersucht. Die einzelnen Arbeitsergebnisse sollen abschließend in generalisierten Ansätzen zur Absicherung vollautomatisierter Fahrzeuge zusammengefasst werden.

### 3.1.2 Stadtpilot

*von Richard Matthaei und Andreas Reschka*

Ziel des ausschließlich durch Institutsmittel der Technischen Universität Braunschweig geförderten Projekts Stadtpilot ist das autonome Fahren auf dem Braunschweiger Stadtring im regulären, öffentlichen Straßenverkehr unter Einhaltung der Straßenverkehrsordnung. Das Projekt wurde im Sommer 2008 als Nachfolgeprojekt zur DARPA Urban Challenge gestartet. Neben dem Institut für Regelungstechnik (IfR) mit Professor Markus Maurer und dem Institut für Flugführung (IFF) mit Professor Peter Hecker der Technischen Universität Braunschweig ist als weiterer Partner das Institut für Verkehrssystemtechnik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) mit Professor Karsten Lemmer am Projekt beteiligt.



Abbildung 3.1: Leonie mit einem aktualisierten Sensor-Setup.

Der Schwerpunkt der Arbeiten in diesem Jahr lag auf dem Abschluss von Umstrukturierungsmaßnahmen, sodass „Leonie“ (siehe Abbildung 3.1) nun für viele zukünftige Aufgaben gut aufgestellt ist.

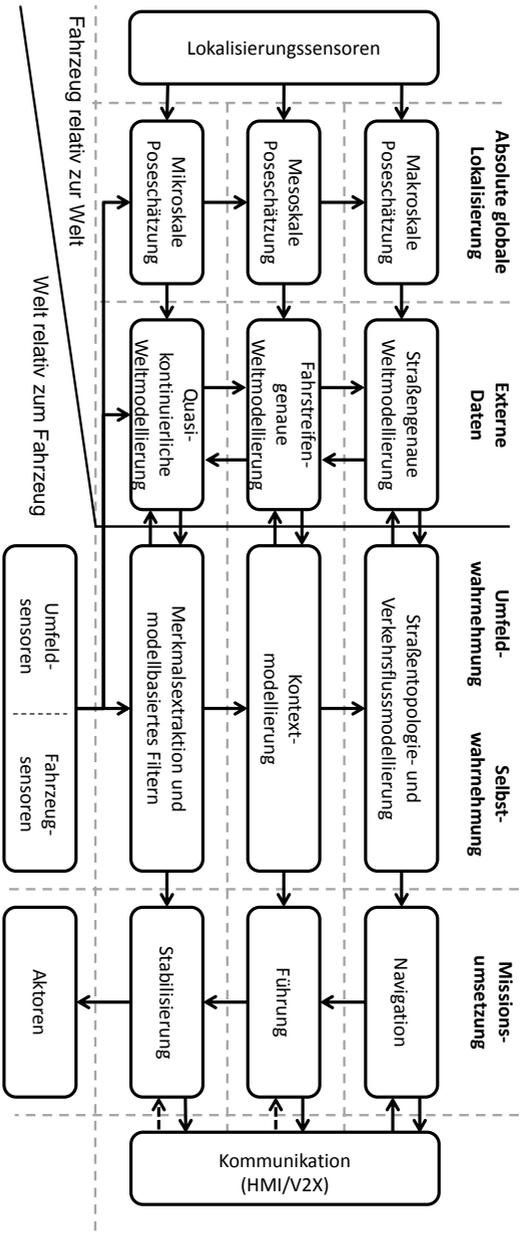


Abbildung 3.2: Funktionale Systemarchitektur für ein autonom fahrendes Straßenfahrzeug, die derzeit als Basis für weitere Entwicklungen im Projekt Stadtpilot genutzt wird.<sup>1</sup> HMI: Human Machine Interface, V2X: Vehicle-to-X-Kommunikation, z.B. Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmern oder Infrastruktur.

„Leonie“ verfügt nach dem Umbau über insgesamt 4 Lasersensoren (SICK LMS151) an jeder Ecke mit jeweils knapp 270° Öffnungswinkel, zwei SICK LD-MRS (für Front und Heck) sowie einen Velodyne-Laser-scanner auf dem Dach. Nicht mehr benötigte bzw. veraltete Sensoren wurden entfernt. Im Fahrzeuginneren erfreut sich ein neues Display großer Beliebtheit und die Rechner-Hardware wurde mit effizienteren und schnelleren Prozessoren auf den neuesten Stand gebracht. Die Umbauten wurden gewohnt fachmännisch von unserem Kollegen Sven Böhme durchgeführt (siehe Abbildung 3.1).

Die softwareseitigen Umstrukturierungsmaßnahmen sind noch nicht gänzlich abgeschlossen. Grundlage dieser Aktivitäten bildet unsere neue funktionale Systemarchitektur<sup>1</sup>, die konzeptionell ein sehr breites Spektrum an Aspekten autonomen Fahrens abbildet, darunter Bedienung, Missionsumsetzung, Einsatz von Karten, Lokalisierung, Umfeld- und Selbstwahrnehmung sowie Kooperation. Dieser Architekturentwurf sieht eine explizite Zusammenführung von lokalisierungsbasierten (Karte, V2X und GPS) und wahrnehmungsbasierten Ansätzen vor (siehe Abbildung 3.2). Aufgrund bekannter Limitierungen bei der satellitenbasierten Fahrzeuglokalisierung verfolgen wir das Ziel, die Führung und Regelung von Leonie zunehmend auf eine bordautonome Wahrnehmung zu stützen (siehe dazu auch Abschnitt 3.1.2 und Matthaei u. a., 2014a,b,c).

Im Laufe des Jahres haben wir zudem einen Softwarestand unter Linux und alter Systemarchitektur aber neuer Softwarestruktur freigefahren und damit unsere Umstrukturierungsmaßnahmen im Build-Prozess abgeschlossen. Parallel haben wir Teile unserer neuen Umfeldwahrnehmung (siehe Abschnitt 3.1.2) unter Windows in Betrieb genommen. Die

---

<sup>1</sup>Matthaei, R., Maurer, M. : Autonomous Driving - A Top-Down-Approach. at - Automatisierungstechnik (2015), DOI10.1515/auto-2014-1136, angenommen

ersten Testfahrten lieferten vielversprechende Ergebnisse und wir sind zuversichtlich, zeitnah auch einen entsprechenden Entwicklungsstand unter Windows freifahren zu können.

Die weiteren Aktivitäten werden sich der schrittweisen Vervollständigung der Systemumsetzung im Sinne der neuen Systemarchitektur<sup>1</sup> widmen.

## **Umfeldwahrnehmung**

*von Jens Rieken*

Im vergangenen akademischen Jahr wurde intensiv an der Konzeptionierung und Implementierung einer neuen Umfeldwahrnehmung für das Projekt Stadtpilot gearbeitet. Ausgehend von den bisher gewonnenen Erfahrungen war und ist es das Ziel dieser Aktivitäten, die Fahrfunktion von Leonie auf den Daten der On-Board-Sensorik aufzubauen. Hierdurch wird die Fahrfunktion nicht mehr von der Verfügbarkeit hochgenauer digitaler Karten und Satellitenortung abhängig sein. Das Fahrzeug kann damit auch in Bereichen eingesetzt werden, in denen eine oder beide dieser Datenquellen nicht zur Verfügung stehen. Dies sind beispielsweise enge und mit Bäumen verdeckte Straßenschluchten, wie sie im westlichen Ringgebiet von Braunschweig vorhanden sind, einem wichtigen Teil der geplanten Ringstrecke.

Aktuelle Arbeiten befassen sich mit der Umsetzung auf Basis des Velodyne HDL-64-S2 Laserscanners, der die Rolle eines prototypischen Sensorsystems einnimmt. Die entwickelten Ansätze und Algorithmen sind prinzipiell ebenfalls für andere Sensorsysteme verwendbar. Der Velodyne-Laserscanner liefert pro Umdrehung ca. 130.000 Messpunkte bei einer Umdrehungsfrequenz von 10 Hz, weshalb insbesondere bei der Verwendung der Daten dieses Sensors eine schritthaltende Ausfüh-

rung der Algorithmen eine wichtige Rolle spielt. Der Velodyne liefert eine 3D-Punktwolke, die sowohl die Straßenebene um Leonie, als auch Messungen auf erhabenen Objekten (z. B. andere Verkehrsteilnehmer, Häuser am Wegesrand) enthält und somit eine umfassende Abbildung des Fahrzeugumfelds generiert. Im folgenden Abschnitt werden die aktuellen Ansätze und Arbeitsergebnisse vorgestellt.

Das Umfeld des Fahrzeugs enthält drei Bestandteile: Die Fahrbahnoberfläche beschreibt die Ebene, auf der sich das Fahrzeug bewegen kann, während statische und dynamische Hindernisse nicht passierbar sind und eine Kollision vermieden werden muss. Zur Abbildung dieser drei Bestandteile werden im Projekt Stadtpilot unterschiedliche Ansätze untersucht.

Die Fahrbahnoberfläche kann aus denjenigen Messungen des Velodyne ermittelt werden, die den Boden in der Umgebung des Fahrzeugs repräsentieren. Der Sensor selber liefert keine Information über eine Zugehörigkeit zu einer Straßenebene. Der erste Schritt der Datenverarbeitung ist es daher, eine solche Klassifikation vorzunehmen. Als Grundlage wurden die bisherigen Arbeiten von Jaebum Choi (vgl. Choi u. a., 2013) verwendet, um anhand des Steigungsprofils eine Klassifikation von Bodenpunkten zu erhalten.

Jeder Messpunkt liefert Angaben über die Reflektivität des Materials, von dem die Messung stammt. Insbesondere Fahrstreifenmarkierungen lassen sich anhand dieser Werte von der übrigen Straßenoberfläche deutlich unterscheiden. Die als Bodenpunkte klassifizierten Messungen werden in eine gitterbasierte Darstellung (ein so genanntes *Grid*) mit ihrer Reflektivität eingetragen und über die Zeit akkumuliert. Die so entstehende statische Abbildung der Fahrbahnoberfläche um das Fahrzeug ermöglicht es, den Fahrbahnverlauf zu bestimmen. Ein großer Vorteil dieses Ansatzes ist, dass er auch in temporären Verdeckungssituatio-

nen, beispielsweise durch andere Verkehrsteilnehmer, eine Schätzung der Fahrbahn ermöglicht. In diesem Jahr haben wir dazu zwei Veröffentlichungen auf namhaften Konferenzen platzieren können, die diese Themen adressieren und uns stabile Daten über den Aufbau der Straße um das Fahrzeug herum liefern (vgl. Matthaei u. a., 2014a und Matthaei u. a., 2014c).

Die dreidimensionalen Koordinaten der übrigen, nicht als Bodenpunkte klassifizierten, Messungen werden in ein Höhenprofil konvertiert, um eine Reduktion der Messpunktanzahl zu erreichen. Diese Messungen enthalten die statischen und dynamischen Hindernisse des Fahrzeugumfelds, beispielsweise am Straßenrand befindliche Häuser oder andere Verkehrsteilnehmer. Statische und dynamische Hindernisse sind durch unterschiedliche Merkmale charakterisiert. Während sich Verkehrsteilnehmer in der Regel durch einfache Konturannahmen beschreiben lassen, gilt diese Einschränkung für die statischen Bereiche unserer Umgebung nicht in jedem Fall.

Zur Repräsentation statischer Elemente wird ein gitterbasierter Ansatz verwendet. Der Bereich um das Fahrzeug wird dabei in eine Menge an Zellen eingeteilt. In jeder dieser Zellen wird vermerkt, ob ein Sensor eine Messung innerhalb dieser Zelle liefert. Diese Informationen werden über die Zeit akkumuliert. Je häufiger Messungen in einer Zelle liegen, desto größer wird die Wahrscheinlichkeit für die Belegung der Zelle. In der Gitterdarstellung ergibt sich damit für diejenigen Zellen eine hohe Belegungswahrscheinlichkeit, in denen statische Ziele vorhanden sind. Da der gitterbasierte Ansatz, bis auf die gewählten Abmessungen der Zellen, keinerlei Annahmen über die Struktur und Kontur der Umgebung enthält, eignet er sich besonders zur Repräsentation der heterogenen statischen Umgebung des Fahrzeugs. Im Projekt Stadtpilot wurde in diesem Jahr ein neuer Ansatz für die Verarbeitung gitterba-

sierter Modelle implementiert, der auch bei einer hohen Anzahl von parallelen Zugriffen auf das Modul eine latenzminimale Bearbeitung ermöglicht.

Obwohl dieser Ansatz für statische Elemente gute Ergebnisse liefert, eignet er sich in seiner Grundform nicht zur Abbildung dynamischer Elemente. Da beim Eintragen der Messungen in das Gitter keine Information über eine mögliche Bewegung des Ziels vorliegt, müssen alle Messpunkte eingebracht werden. Stammen einige dieser Messungen beispielsweise von einem sich bewegenden Fahrzeug, treten die Messungen über die Zeit betrachtet in verschiedenen Zellen auf. Diese im Widerspruch zur Annahme eines statischen Ziels stehenden Messungen erzeugen inkonsistente Abbildungen im Gittermodell, welche sich in einem Belegungsgrid als 'Schlieren' bemerkbar machen. Diese können bei der späteren Extraktion von Merkmalen aus dem Belegungsgrid zu falschen Ergebnissen führen (vgl. Abbildung 3.3).

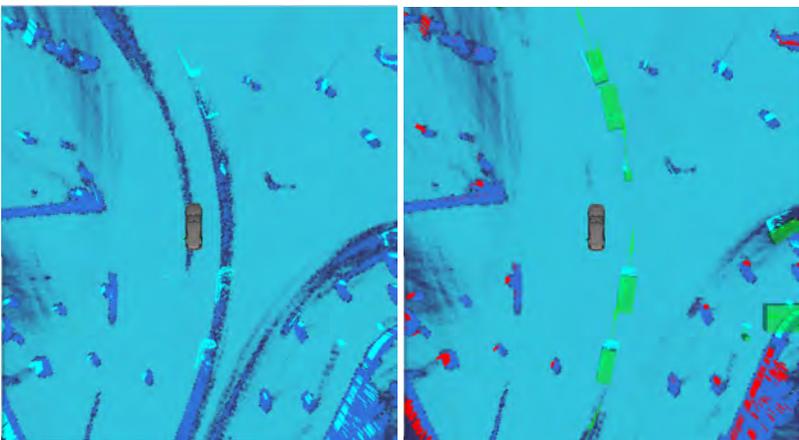


Abbildung 3.3: Links: Schlierenbildung durch dynamische Objekte im Grid  
Rechts: Ergebnis nach Klassifikation der Messdaten

Die dynamischen Elemente der Fahrzeugumgebung haben andere Charakteristika: Sie lassen sich in der Regel durch einfache Geometrieannahmen abbilden (bei Fahrzeugen beispielsweise durch einen umschließenden Quader), die sich in Form von Objekthypothesen darstellen lassen.

Der Laserscanner liefert für die Elemente der Fahrzeugumgebung eine Vielzahl an Messpunkten. In einem ersten Schritt werden diese Daten segmentiert, d. h. die Messungen werden nach bestimmten geometrischen Bedingungen zu Gruppen zusammengefasst, die mit hoher Wahrscheinlichkeit zu dem gleichen Objekt gehören. Für diese Segmente wird die Einpassung eines geometrischen Modells durchgeführt. In der aktuellen Version wird für bewegte Ziele ein Quadermodell verwendet, das die äußere Kontur des jeweiligen Objekts beschreibt.

Der nächste Schritt ist die zeitliche Verfolgung und Validierung der so erzeugten Objekthypothesen. Hierfür wird ein rekursives Filterverfahren eingesetzt, das im Wesentlichen auf der Grundlage eines *Extended Kalman Filters* arbeitet. Dieses Modul schätzt über mehrere Messzyklen neben einer verbesserten relativen Position und der Abmessung des Objekts auch abgeleitete Größen wie Geschwindigkeiten und Beschleunigungen, die für die Fahrfunktion relevant sind.

Die Eignung dieses Ansatzes hängt stark von der Gültigkeit der getroffenen Konturannahme ab; er kann damit ggf. nicht alle Bestandteile der statischen Umgebung abbilden. Daher wird eine objektbasierte Darstellung in Kombination mit der gitterbasierten Darstellung eingesetzt, um eine vollständige Umfelddarstellung zu erreichen.

Die Kombination beider Darstellungsformen ist insbesondere dann effektiv, wenn neu eingehende Messdaten frühzeitig der passenden Darstellung zugeordnet werden können. Einen Ansatz zur Lösung dieser

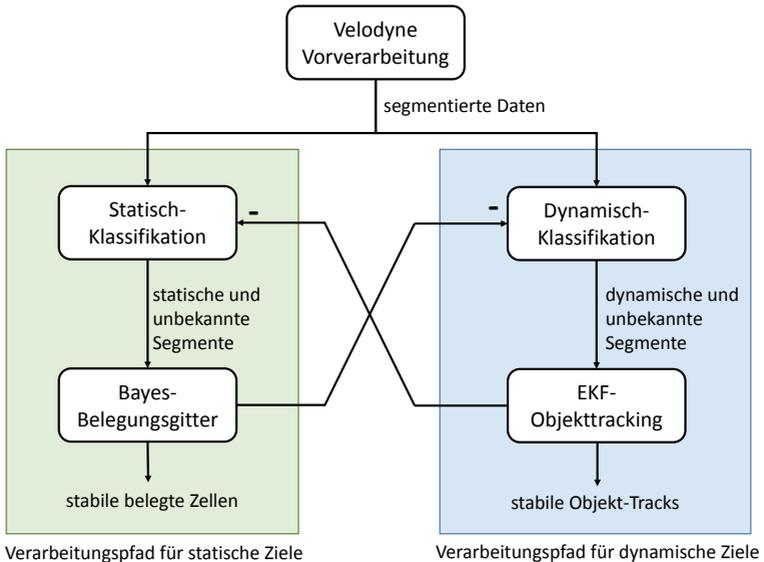


Abbildung 3.4: Konzept der Messdatenklassifikation

Zuordnungsproblematik stellt eine vorgelagerte Klassifikation der eingehenden Rohdaten dar, wie sie derzeit im Projekt Stadtpilot untersucht wird. Hierdurch kann jeder Messpunkt einem statischen oder einem dynamischen Teil der Fahrzeugumgebung zugeordnet und entsprechend verarbeitet werden.

Die Klassifikation der Messdaten erfolgt nach dem Prinzip des Widerspruchs, es werden also nur Messungen aus den Eingangsdaten entfernt, die in der „Gegenseite“ bereits stabil vorhanden sind. Durch die Objektverfolgung werden also alle Messwerte aus den Eingangsdaten des Gittermodells entfernt, die zu einem gewissen Anteil mit einer stabilen Objekthypothese zusammenfallen. Auf der Gegenseite werden aus den Eingangsdaten für die Objektverfolgung alle Messwerte entfernt, wel-

che zu einem Großteil in stabilen Zellen des Gittermodells liegen. Das Verfahren ist schematisch in Abbildung 3.4 dargestellt.

Messungen mit unklarer Zuordnung werden zunächst beiden Darstellungen zugeführt. Da dynamische Elemente in der gitterbasierten Darstellung keine eindeutige Beleginformation aufbauen und umgekehrt statische Ziele in der objektbasierten Darstellung keine stabilen Objekt-hypothesen entwickeln, stabilisieren sich die Messungen über die Zeit nur in dem für sie passenden Teil der Umgebungsrepräsentation.

Der aktuelle Stand der Umfeldwahrnehmung ist für eine innerstädtische Szene in Abbildung 3.5 dargestellt. Erste Tests auf Basis realer Sensordaten werden derzeit durchgeführt und zeigen vielversprechende Ergebnisse. Wir sind daher zuversichtlich, dieses Konzept für die nächsten Fahrten von Leonie einsetzen zu können und unserem Ziel einer vollständigen Umfelderkennung einen Schritt näher gekommen zu sein.

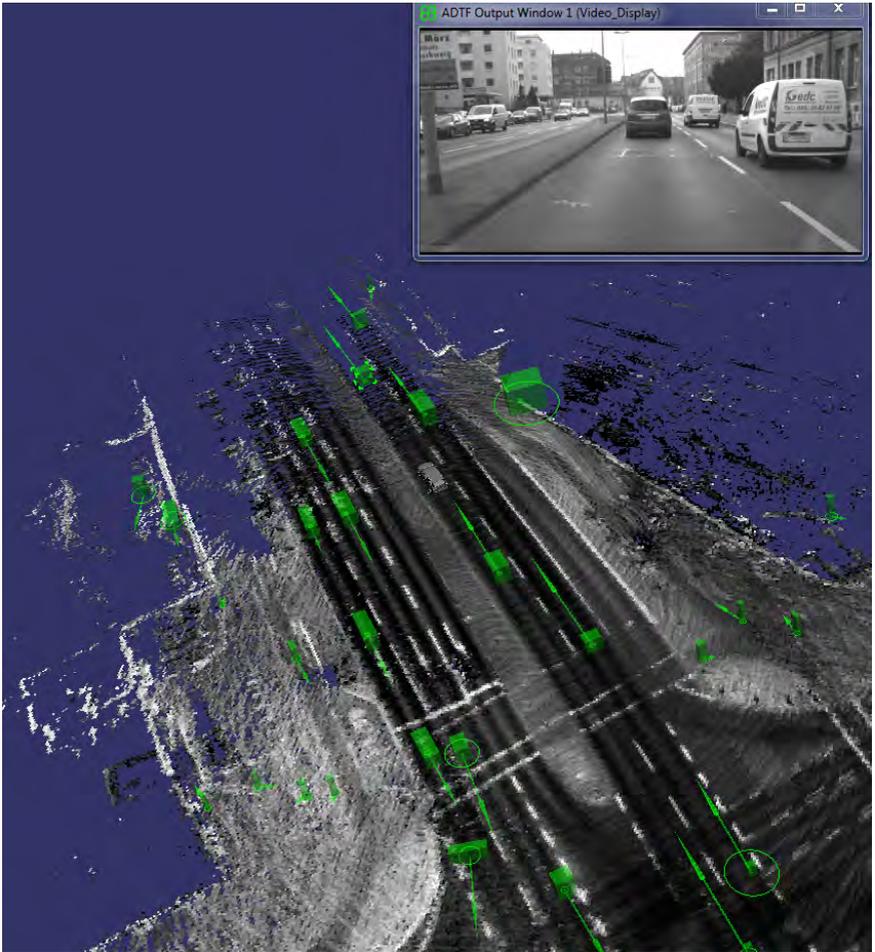


Abbildung 3.5: Aktueller Stand der Objektverfolgung im Stadtpiloten. Die Darstellung der Fahrbahnoberfläche wurde aus den Bodendaten des Velodyne generiert. Die grünen Quader zeigen die erfassten dynamischen Objekte inkl. ihrer Bewegungsrichtung.

### 3.1.3 Radarbasierte Objektverfolgung im urbanen Kontext

*von Jan Timo Wendler*

Seit Anfang des Jahres steht in der radarbasierten Objektverfolgung die Betrachtung von Objekten im seitlichen Bereich des Fahrzeugs im Fokus. Es werden Szenarien untersucht, in denen sich verletzbare Verkehrsteilnehmer rechts neben dem Fahrzeug befinden. Insbesondere ist es das Ziel, die Zustandsgrößen, wie zum Beispiel Position, Orientierung und Geschwindigkeit, von Radfahrern zu schätzen. Auf Basis dieser Schätzung kann beispielsweise eine Warnung ausgelöst werden, falls sich die Trajektorien beider Verkehrsteilnehmer kreuzen und eine Kollision droht. Für automatisierte Fahrzeuge ist ferner der Eingriff in die Längsdynamik (Verzögerung des Fahrzeugs) oder auch Querdynamik (Ausweichen) denkbar.

In einer ersten Version wurde der Objektzustand mit einem Kalman-Filter geschätzt. Für gleichmäßige Bewegungen der Objekte funktioniert diese Zustandsschätzung. Die Assoziation, das Rauschen der Messung und die Dynamiken der Radfahrer (Verzögern, Abbiegen) stellen jedoch Herausforderungen dar, die sich mit dem bisherigen Ansatz nicht ohne Weiteres bewältigen lassen. Um diese Herausforderung zu bewältigen, das Konzept allgemein zu halten und die Objektverfolgung nicht auf einen Spezialfall zu beschränken, sollen im weiteren Vorgehen Ansätze betrachtet werden, die mehrere mögliche Zustandshypothesen parallel betrachten.

Der Umbau des Versuchsträgers „Henry“ ist parallel zur Entwicklung der Datenverarbeitung vorangeschritten. Ende des Jahres 2013 war „Henry“ mit Radarsensoren, Kameras sowie einer gesonderten Spannungsversorgung für die Versuchsaufbauten ausgestattet. Im Frühjahr 2014 folgte der Einbau von mehreren vernetzten Rechnern. Das Setup wurde

zudem um einen 32-Ebenen Velodyne-Laserscanner mit 360° Öffnungswinkel, der auf dem Dach montiert ist, erweitert. Der Sensor ist zu Referenzierungszwecken erforderlich und ist das einzige Bauteil, das den Versuchsträger als solchen erkennen lässt, da die Radarsensoren verdeckt verbaut sind.

In den nächsten Monaten ist die Ergänzung eines gekoppelten Trägheits- und Satellitennavigationssystems geplant. Aktuell wird die Eigenbewegung noch durch die Odometrie bestimmt. Durch den Einbau des neuen Systems wird die Fahrzeugbewegung genauer ermittelt. Die Einflüsse auf die Messungen, zum Beispiel auf die Radialgeschwindigkeit der Radarsensoren, können dadurch besser kompensiert werden. Darüber hinaus kann die globale Position genutzt werden, um Kontextinformationen mit einzubeziehen.

### **3.1.4 Hybrid Map-based SLAM using a Velodyne Laser Scanner**

*von Jaebum Choi*

The first step of environment perception for autonomous vehicles is to estimate the trajectories of the host vehicle. Based on this, we can build the map of the environment and decide the behaviors of the vehicle in the future. Since a Global Navigation Satellite System (GNSS) is inaccurate and not available in all situations, the Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) technique has been introduced to solve this problem. In this research, we have proposed a hybrid map-based SLAM using Rao-Blackwellized particle filters (RBPFs). Especially, it was designed with the Velodyne laser scanner which provides rich and accurate data of spatial information around the vehicle. Therefore, our work comprises not only the RBPFs framework but also some signal preprocessing procedures of the sensor. We describe the environment

by using a grid map and a feature map together rather than using only one of them. Based on both maps, we have formulated a new proposal distribution which is an important performance factor of the algorithm. This decreases the uncertainty of a predicted vehicle position and it also improves the robustness and efficiency of the algorithm.

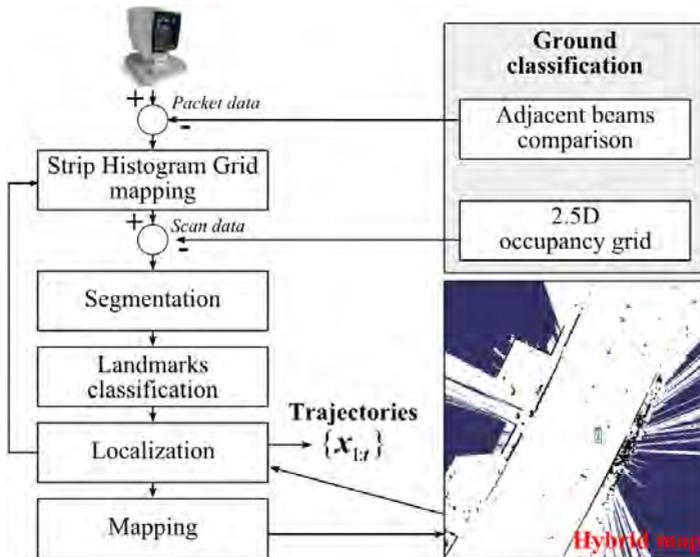
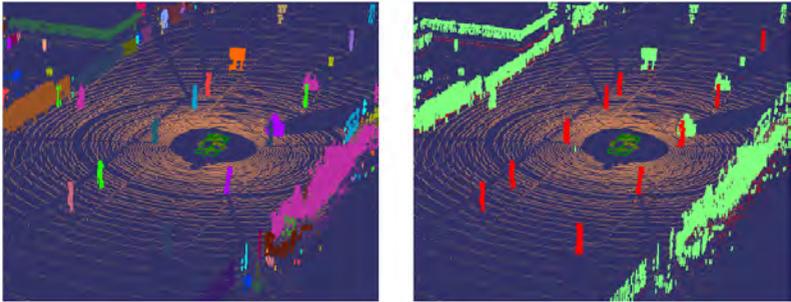


Abbildung 3.6: The architecture of the hybrid map-based SLAM approach. (Grid map: blue=unknown, white=free, black=occupied. Feature map: landmark=cyan 'X')

The architecture of our approach is shown in Figure 3.6. With raw data continuously acquired from the sensor, the algorithm builds a hybrid map along with the estimated trajectories of the host vehicle. In between, there are some signal preprocessing algorithms such as ground classification, segmentation and landmark classification. They make the sensor raw data suitable for the SLAM algorithm after conditioning. Figure 3.7 shows the typical signal preprocessing results.



(a) Segmentation

(b) Landmark classification

Abbildung 3.7: Segmentation and classification results (orange points: ground).  
 (a): segments with different colors. (b): classified landmarks with red color.

In probabilistic form, our approach is to calculate the following joint posterior distribution:

$$\begin{aligned}
 & p(x_{1:t}, o, l_{1:N} | z_{1:t}, u_{1:t-1}) \\
 = & p(o | x_{1:t}, z_{1:t}) \prod_{i=1}^N p(l_i | x_{1:t}, z_{1:t}) p(x_{1:t} | z_{1:t}, u_{1:t-1})
 \end{aligned}$$

Initially, the trajectory of the vehicle is estimated by the particle filter, and then maps are updated using the extended Kalman filter (EKF) for the landmarks and the binary Bayes filter for the grid map. In this way, the whole posterior estimation can be performed recursively.

In our approach, the grid map and the feature map are maintained simultaneously. They are generated incrementally when new measurements arrive along with good estimates of the vehicle position. In order to reduce the computational cost and prevent a loop closing problem, the fixed size of the local map centered on the vehicle position is maintained at each time scan. The mapping result is shown in Figure 3.6.

The algorithm was verified at the Braunschweig city ring. Figure 3.8 shows the experimental results obtained with different approaches. This shows that our approach outperforms traditional approaches.

In the future, we will integrate the presented technique with Detection and Tracking of Moving Objects (DATMO). Then, we are able to achieve both SLAM and DATMO by only using laser scanner and odometry information.

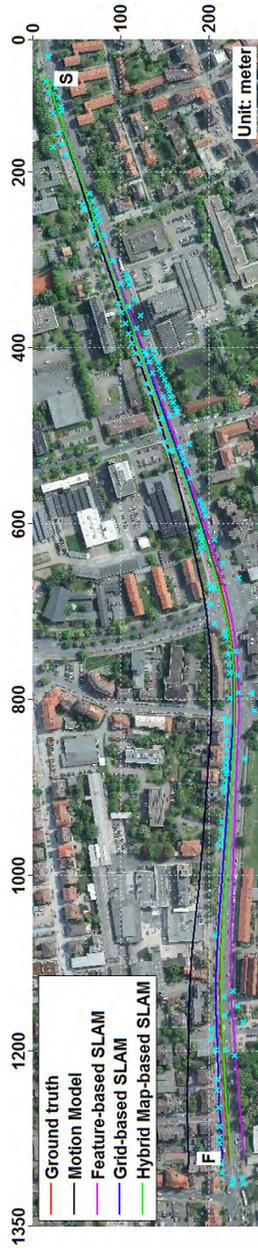


Abbildung 3.8: Experimental environment. A vehicle starts at position 'S' and moves along the red line until position 'F'. The cyan 'X' are the classified landmark positions.

### 3.1.5 Kooperation mit der AUDI AG im Rahmen des Förderprojekts UR:BAN

*von Frank Dierkes*

Im Rahmen des Projekts UR:BAN, gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, ist das IfR in den Teilprojekten „Umgebungserfassung und Umfeldmodellierung“ und „Kollisionsvermeidung durch Ausweichen und Bremsen“ als Unterauftragnehmer der AUDI AG tätig. Ziel des Förderprojekts ist unter anderem die Erhöhung der Sicherheit im städtischen Verkehr durch den Einsatz von Fahrerassistenzsystemen mit maschineller Wahrnehmung. Dabei liegt die besondere Herausforderung im urbanen Raum in den, im Vergleich zu Autobahn und Landstraße, sehr komplexen Verkehrssituationen.

Das Teilprojekt „Umgebungserfassung und Umfeldmodellierung“ befasst sich mit der Wahrnehmung und der Repräsentation urbaner Verkehrssituationen. Diese zeichnen sich unter anderem durch dichten Verkehr, vielfältige Straßenbilder und komplexe Kreuzungen aus. Verkehrsteilnehmer (insbesondere auch schwächere Verkehrsteilnehmer wie Fußgänger und Radfahrer) sind häufig verdeckt und ihr Verhalten ist schwerer vorherzusagen. Im Projekthaus Fahrerassistenzsysteme der AUDI AG beteiligen wir uns an der Analyse der Anforderungen an die maschinelle Wahrnehmung sowie an der Untersuchung von Algorithmen zur Erfassung und an Formen zur Repräsentation von Verkehrssituationen im Hinblick auf den Einsatz automatisierter Fahrzeuge im urbanen Raum.

Im Teilprojekt „Kollisionsvermeidung durch Ausweichen und Bremsen“ untersuchen wir gemeinsam mögliche Manöver zur Kollisionsvermeidung. Typische Unfallszenarien im städtischen Verkehr sind beispielsweise unerwartet ausparkende Fahrzeuge oder in ihrem Abbiegevorgang

unerwartet stoppende Fahrzeuge. Vorausgesetzt diese Situationen werden vom System erkannt, muss das automatisierte Fahrzeug zwischen geeigneten Manövern zur Kollisionsvermeidung abwägen: Bremsen, Ausweichen oder kombiniertes Ausweichen und Bremsen. Im Falle einer Notfunktion muss zudem die grundlegende Entscheidung getroffen werden, ob überhaupt in die Fahrzeugführung eingegriffen wird.

Im vergangenen Jahr lag der Fokus vor allem auf der Repräsentation der Straßeninfrastruktur als Grundlage der Situationsrepräsentation. Es wurde ein Konzept entworfen und implementiert, das die im Wahrnehmungsprozess unvermeidlich auftretenden Unsicherheiten und die dadurch entstehenden verschiedenen Hypothesen über die Umwelt explizit repräsentieren kann. Ziel ist es, durch die damit mögliche Berücksichtigung dieser Unsicherheiten im Planungs- und Entscheidungsprozess, Aktionen auszuführen, die mit einer höheren Wahrscheinlichkeit das gewünschte Verhalten des Fahrzeugs realisieren, als wenn nur eine eindeutige – wenn auch die wahrscheinlichste – Umfeldhypothese zugrunde liegt.

Neben der Weiterentwicklung dieses Konzepts ist einer der nun folgenden Schritte die neue Repräsentation auf Seiten der Fahrfunktion verstärkt zu nutzen. Dazu müssen die Planungs- und Entscheidungsalgorithmen entsprechend angepasst werden. Für den Anwendungsfall „Kollisionsvermeidung durch Ausweichen und Bremsen“, wo grundsätzlich zwischen einem Ausweichen im eigenen Fahrstreifen und einem Ausweichen unter Verlassen des eigenen Fahrstreifens unterschieden werden muss, ist beispielsweise interessant zu untersuchen, inwieweit sich durch die Berücksichtigung von Unsicherheiten – und der damit möglichen Wahl einer geeigneteren Ausweichtrajektorie – das Risiko verringern lässt, beim Ausweichen ungewollt den Fahrstreifen zu verlassen.

## 3.2 Fahrzeugsystemtechnik

### 3.2.1 Controlling Concurrent Change (CCC)

von Marcus Nolte

Elektronische Fahrzeugsysteme sind heutzutage, über ihre Lebenszeit gesehen, wenig flexibel hinsichtlich sich ändernder Wünsche des Endkunden oder gar eventueller Veränderungen der Gesetzgebung. Im Gegensatz zu typischer Endanwendersoftware beschränken sich Softwareaktualisierungen im Wesentlichen bisher auf die Behebung von Fehlern. Erweiterungen der Funktionalität erfolgen aufgrund des damit verbundenen hohen Testaufwands äußerst selten und auch nicht in potentiell sicherheitskritischen Bereichen wie der Fahrdynamik.

„Controlling Concurrent Change“<sup>2</sup> ist eine DFG-geförderte interdisziplinäre Forschergruppe. Ziel des gemeinsamen Projekts ist die Entwicklung von Mechanismen und einer Infrastruktur Software, die es ermöglichen, bestehende Systeme unter Berücksichtigung von Aspekten wie Safety und Security zur Laufzeit erweiterbar und rekonfigurierbar zu gestalten. Durch formale Validierungsmechanismen soll dabei gleichzeitig der Testaufwand für entsprechende Systeme im Labor reduziert werden.

Das IfR entwickelt in diesem Zusammenhang dynamisch modifizierbare Fahrerassistenzapplikationen, die 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 Hard- und Softwarekomponenten.

---

<sup>2</sup><http://www.ccc-project.org>

Neben einem erweiterbaren Fahrdynamikregelsystem sollen unter anderem ein modulares Geschwindigkeitsregelsystem, sowie ein entsprechendes Einparksystem realisiert werden. In diesem Zusammenhang wurden die funktionalen Anforderungen an das, den Applikationen unterlagerte, Softwaresystem aus Sicht der geplanten Anwendungsfälle identifiziert. Außerdem wurde eine erste Applikation in Form des modularen Geschwindigkeitsregelsystems implementiert, die aktuell in den Versuchsträger integriert wird. Zusätzlich untersuchen wir derzeit, inwieweit passende Schnittstellen zwischen der bereits existierenden Toolkette für den Versuchsträger MOBILE und der CCC-spezifischen Softwareinfrastruktur geschaffen werden können.

### 3.2.2 MOBILE

*von Torben Stolte*

Im Projekt MOBILE wurde am Institut für Regelungstechnik in Kooperation mit dem Institut für Konstruktionstechnik der TU Braunschweig das in Abb. 3.9 dargestellte vollelektrische und flexible Versuchsfahrzeug aufgebaut. Das Dynamic Design Lab an der Stanford University (Prof. J. Chris Gerdes) ist beratend im Projekt tätig. Ziele des Projekts sind die Schaffung einer leistungsfähigen Versuchsplattform zur Erprobung elektronischer Fahrzeugsysteme und vollelektrischer Antriebskonzepte sowie die Ausbildung von Studierenden im Bereich Elektromobilität. Dabei bauen die Arbeiten auf den Erfahrungen mit dem Versuchsfahrzeug X1 des Dynamic Design Labs auf. Gleichzeitig wurden zusätzliche Freiheitsgrade, insbesondere im Antriebssystem und im Innenraum des Fahrzeugs, ergänzt.

Besonderes Merkmal des Fahrzeugs ist sein Aktuatorikkonzept. So verfügt es an allen vier Rädern über einen elektrischen Einzelradantrieb, eine elektrische Einzelradlenkung sowie eine elektromechanische Brem-



Abbildung 3.9: MOBILE mit seinem „Vater“ Peter Bergmiller

se. Die dafür benötigte By-Wire-Ansteuerung wird über einen FlexRay-Backbone realisiert, der 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, sodass sämtliche im Fahrzeug laufende Software bekannt ist.

Im vergangenen Berichtszeitraum fand als besonderes Ereignis die Erstfahrt von MOBILE statt. Gleichzeitig gab es, wie im letzten Jahresbericht berichtet, mit dem Weggang von Peter Bergmiller einen Umbruch im MOBILE-Team, der eine entsprechende Konsolidierung nach sich zog. Besonders erfreulich ist in diesem Zusammenhang, dass mit den Zugängen von Marcus Nolte und Horea Cernat weitere wissenschaftliche Mitarbeiter zum MOBILE-Team gestoßen sind.

Weiterhin ist es das Ziel, die Dokumentation des Fahrzeuges in Qualität und Quantität zu verbessern. Exemplarisch seien dafür die Überarbeitung und Neuerstellung von Netzwerkbeschreibungsdateien für den FlexRay-Backbone und die lokalen CAN-Busse genannt. Diese und weitere Arbeiten zielen darauf ab, MOBILE robuster zu machen und das Systemvertrauen zu erhöhen. Hardwareseitig wurde vor allem an Verbesserungen an der Batterie und dem Bremssystem gearbeitet. Die Arbeiten an der Batterie umfassen die Integration eines Balancing-Systems in das Fahrzeug. Ein Systementwurf aus einer Masterarbeit wurde umgesetzt und erweitert und wird derzeit in kleinem Rahmen off-board getestet. Das System soll noch in diesem Jahr in das Fahrzeug integriert werden. Dabei umfasst die Erweiterung eine direkte Anbindung der Batteriesensorik in das Balancing-Steuergerät, womit vier kleinere Steuergeräte entfallen, die bisher die Kommunikation zu den Sensoren übernahmen. Weiterhin wurden die elektromechanischen Bremsen vollständig in das Fahrzeug integriert und in Betrieb genommen. Erfreulicherweise arbeiten die Bremsen grundsätzlich so gut, wie erwartet. Erste Untersuchungen zu den Folgen möglicher Bremsfehler (z.B. Bremse blockiert) konnten bereits umgesetzt werden. Bedingt durch den prototypischen Charakter der Bremsen zeigten sich im Verlauf des Jahres ein paar Probleme, die Nacharbeiten an der Elektronik des Bremssystems bedingen, die aber bis Ende des Jahres abgeschlossen sein sollten.

Für das kommende Jahr sind weitere Arbeiten zur Steigerung der Robustheit des Fahrzeuges geplant. Darüber hinaus soll MOBILE auch verstärkt in der Forschung genutzt werden.

### 3.2.3 Effizientes Testen im Teilprojekt Kognitive Assistenz im Rahmen von UR:BAN

*von Fabian Schuldt*

Im Rahmen der NFF-Kooperation zwischen der Technischen Universität Braunschweig und der Volkswagen AG unterstützen wir seit 2012 im Rahmen einer Unterbeauftragung im Projekt „UR:BAN“ (Urbaner Raum: Benutzergerechte Assistenzsysteme und Netzmanagement), das vom BMWi gefördert wird. Das Projekt UR:BAN setzt sich aus den drei Projektsäulen „Kognitive Assistenz“, „Vernetztes Verkehrssystem“ und „Mensch im Verkehr“ zusammen, wobei der Forschungsschwerpunkt der Zusammenarbeit mit der Volkswagen AG im Bereich der Projektsäule „Kognitive Assistenz“ liegt. Ziel dieses Teilprojekts ist die Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen, die speziell für Szenarien im urbanen Raum ausgelegt sind. Die Szenarien zeichnen sich durch dichten Verkehr, unstrukturierte Randbebauungen sowie komplexe Verkehrssituationen insbesondere in Kreuzungsbereichen aus.

Ein sicherer Einsatz von Fahrerassistenzsystemen im öffentlichen Straßenverkehr kann nur gewährleistet werden, wenn vor einer Serieneinführung ein technisch erforderlicher Reifegrad und eine ausreichende Testtiefe nachgewiesen wurde. Aufgrund der hohen Komplexität der Szenarien wird es jedoch zunehmend schwieriger, die Assistenzsysteme ausreichend zu testen.

Aus diesem Grund ist das Ziel unserer Forschungsarbeit die Entwicklung eines Konzepts, welches die Anzahl der nötigen Tests für die Absicherung von Systemen bei einer gleichbleibenden Testabdeckung reduziert. Dabei werden eine Vielzahl von Tests in der Simulation durchgeführt, um die Anzahl der nötigen Realtests zu reduzieren.



Abbildung 3.10: Beispielszenario für die Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen für den urbanen Raum, Quelle: UR:BAN Homepage

Das Konzept konnte in diesem Jahr erstmals bei einer Fallstudie mit dem „Engstellenassistenten“ angewendet werden, der im Rahmen von UR:BAN entwickelt wird. Das Assistenzsystem hat die Aufgabe, den Fahrer in Engstellen, die beispielsweise durch parkende Fahrzeuge oder durch Baustellen hervorgerufen werden, zu unterstützen. Bei der Fallstudie wurden verschiedene statische Baustellen durchfahren und es wurde analysiert, welche Einflussfaktoren einen besonderen Einfluss auf das System haben. Durch das entwickelte Konzept konnte die Anzahl der erforderlichen Tests reduziert werden, unter gleichzeitiger Erhaltung der Aussagefähigkeit über Einflüsse der verschiedenen Faktoren.

In einem nächsten Schritt soll analysiert werden, in welcher Form das Konzept auch auf Szenarien mit dynamischen Objekten angewendet werden kann.



Abbildung 3.11: UR:BAN Halbzeitpräsentation beim DLR in Braunschweig,  
Quelle: UR:BAN Homepage

Der „Engstellenassistent“ wurde auch auf der UR:BAN Halbzeitpräsentation vorgestellt. Die Präsentation hat am 14. Mai 2014 in Braunschweig am Standort des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. stattgefunden. Neben dem „Engstellenassistent“ wurden anhand von mehr als 30 Demonstrationsfahrzeugen und Exponaten die bisher erreichten Ergebnisse sowie Pilotanwendungen gezeigt.

### 3.2.4 Teilnahme am Workshop „Fahrzeugsystemtechnik“ in Radebeul bei Dresden

*von Andreas Reschka und Richard Matthaei*

Der Workshop „Fahrzeugsystemtechnik“ wurde 2010 ins Leben gerufen. Derzeit nehmen drei Gruppen an diesem Workshop teil: FZD der Uni Darmstadt (Prof. Winner), IAD der TU Dresden (Prof. Prokop) und unsere AG des IfR der TU Braunschweig.



Abbildung 3.12: Links: Der Workshop fand in uriger Atmosphäre statt, rechts: Die Workshop-Teilnehmer auf dem Weg zum Abendessen. Fotos: Christoph Jahn.

Thematisiert werden Fragestellungen bezüglich systemischer Betrachtungen des Automobils: von systemübergreifenden Entwurfsmethoden, über systemweites Testen und systemweite Fehleranalyse, Systemarchitekturen oder dem Fahrzeug als Teil eines übergeordneten Verkehrssystems. Um eine offene wissenschaftliche Diskussion zu erleichtern ist der Kreis der Teilnehmer auf Universitäten beschränkt. In Anlehnung an den Rhythmus des Workshops „Fahrerassistenzsysteme“ findet

auch dieser Workshop im 1,5-Jahresrhythmus statt. So wurde dieses Jahr der FST-Workshop bereits zum dritten Mal durchgeführt, diesmal organisiert durch die Dresdener Kollegen in Radebeul.

Unsere Arbeitsgruppe hat auf dem Workshop insgesamt vier Beiträge diskutiert:

- Richard Matthaai: Funktionale Systemarchitektur für ein autonom fahrendes Straßenfahrzeug,
- Andreas Reschka: Sicherheitskonzept für das Gesamtsystem 'Vollautomatisiertes fahrerloses Fahrzeug' zur Erhaltung eines sicheren Zustands,
- Fabian Schuldt: Dynamische Objekte im modularen virtuellen Testbaukasten,
- Torben Stolte: Funktionale Fehler beim Lenken, Bremsen und Antreiben eines By-wire-Fahrzeugs

Die Vorstellung unserer Forschungsthemen und besonders die nachfolgenden Diskussionen haben viele interessante Ideen hervorgebracht, die wir in unserer weiteren Arbeit berücksichtigen werden. Die weiterführenden Diskussionen in den Arbeitsgruppen „Testen in der Wissenschaft“ und „Systemarchitektur“ haben zu einem besseren fachlichen Verständnis des Themenfelds Fahrzeugsystemtechnik beigetragen. In der Arbeitsgruppe „Einbindung in die Lehre“ wurde die Integration des Themas in studentische Lehrveranstaltungen diskutiert und es wurden gemeinsame Schwierigkeiten und Chancen identifiziert. Diese sind wertvoll für die zukünftige Ausbildung von Studierenden in der Fahrzeugsystemtechnik. Geplant ist, einige der Themen im Rahmen eines gemeinsamen Buches als Zusammenfassung der beiden letzten Workshops unter Federführung von Prof. Winner aus Darmstadt zu dokumentieren.

## 3.3 Abgeschlossene Promotionen

### 3.3.1 Urbane Multiobjektverfolgung im Kontext hybrider Umfeldmodelle

*von Helgo Dyckmanns*

Das im Berichtszeitraum am 9. Januar 2014 abgeschlossene Promotionsvorhaben beschäftigt sich mit der Multiobjektverfolgung im urbanen Umfeld.

**Motivation und Zielsetzung:** Aus der zunehmenden Urbanisierung und einer verhältnismäßig hohen Anzahl von Unfällen mit Personenschäden in Kreuzungsbereichen ergibt sich ein Bedarf an maschinellen Wahrnehmungssystemen für das urbane Umfeld. Die Wahrnehmung von bewegten Objekten in urbanen Umgebungen stellt Sensorik und weiterverarbeitende Algorithmen vor erweiterte Herausforderungen. Tracking-Algorithmen müssen gleichzeitig eine Vielzahl von Objekthypothesen stabil verfolgen und dabei sowohl Längs- als auch Querverkehr beherrschen. Realisierungen in aktuellen Forschungsbeiträgen nutzen zum Teil aufwändige Sensorsetups und fusionieren diese beispielsweise in objekt-, gitter- und graphenbasierten Darstellungsformen. Im Rahmen dieser Arbeit wird auf aufwändige Sensorsetups verzichtet. Stattdessen wird eine konkrete Realisierung eines maschinellen Wahrnehmungssystems für das urbane Umfeld mittels eines seriennahen Laserscanners analysiert.

**Umsetzung:** Um der erhöhten Wahrscheinlichkeit querdynamischer Manöver in Kreuzungsbereichen gerecht zu werden, wird ein Interacting-Multi-Model Filter mit drei Dynamikmodellen ('Linksabbiegen', 'Rechtsabbiegen' und 'Geradeaus Fahren') vorgeschlagen. Das verwendete und aus der Literatur bekannte Interacting-Multi-Model-Filter ver-

langt eine A-Priori-Bestimmung der Übergangswahrscheinlichkeiten zwischen den verschiedenen Dynamikmodellen. Im Kreuzungsbereich ist jedoch eine situationsabhängige Anpassung dieser Wahrscheinlichkeiten individuell für jede Objekthypothese notwendig. Hierfür wird mit dem Active-Interacting-Multi-Model Filter (AIMM) eine neuartige Low-Level-Fusion von graphen- und objektbasierten Umfeldbeschreibungen zur situationsabhängigen Anpassung der zusätzlichen Design-Parameter vorgeschlagen. Das neuartige Verfahren stellt eine strukturelle Erweiterung des aus der Literatur bekannten Interacting-Multi-Model Filters dar.

**Beitrag:** Die situationsabhängige Parameteradaption des Active-Interacting-Multi-Model Filters führt zu einer Minimierung der Zustandsunsicherheit, einer Verbesserung der Filterkonsistenz und einer früheren Manövererkennung. Für das Verfahren werden eine fahrstreifengenaue Ortung des Ego-Fahrzeuges und ein fahrstreifengenaues, graphenbasiertes Umfeldmodell vorausgesetzt. Des Weiteren wird angenommen, dass sich die Objekthypothesen konform zu den Regeln der Straßenverkehrsordnung verhalten.

**Grenzen und weiterer Forschungsbedarf:** Das vorgestellte System setzt eine globale, fahrstreifengenaue Ortung voraus. Die Performance des in diesem Lösungsansatz verwendeten Koppelnavigationssystems ist im urbanen Umfeld jedoch unter Umständen stark eingeschränkt. Auf Grund z. B. von Abschattungen oder Mehrwegeausbreitung ist eine Störung oder ein Verlust des Empfanges möglich. Daher besteht bezüglich einer satellitenunabhängigeren Ortungslösung für das urbane Umfeld weiterer Forschungsbedarf.

Unvorhergesehene Manöver (Objekt verhält sich nicht konform bezüglich der Fahrstreifenmarkierungen, z. B. beim U-Turn) werden beim vorgestellten Active-Interacting-Multi-Model-Filter mit einer Verzögerung

rung erkannt, da ein konformes Verhalten zur Straßenverkehrsordnung angenommen wird. Je nach Applikation ist hier eventuell eine inverse Implementierung sinnvoll: So könnte man bei einer Objekthypothese, die sich auf einem expliziten Linksabbiege-Fahrstreifen befindet, mit einer hohen Wahrscheinlichkeit von einer Geradeaus-Fahrt oder einem Rechtsabbiegen (also den unerwarteten Manövern) ausgehen. Dies ermöglicht ein frühes Erkennen unerwarteter (und damit potentiell gefährlicher Manöver) und ein späteres Erkennen der erwarteten Manöver (die auch vom Fahrer erwartet werden und die er damit eher selbst beherrscht). Daher besteht bezüglich der applikationsabhängigen Adaption der Design-Parameter ebenfalls Forschungsbedarf.

### **3.3.2 Fusion von Umfeld wahrnehmenden Sensoren in städtischer Umgebung**

*von Sebastian Ohl*

In den letzten Jahren haben sich moderne Fahrerassistenzsysteme immer mehr zu Alleinstellungsmerkmalen von Automobilen entwickelt. Einem Großteil der Systeme ist gemein, dass sie zur Erfüllung ihrer Aufgabe die Fahrzeugumgebung wahrnehmen müssen. Durch den Einsatz von Sensordatenfusionssystemen lassen sich Sensoren unterschiedlicher Systeme kombinieren und so Schwächen in den Messdaten ausgleichen. Im Rahmen meiner Dissertation wurde eine Softwarearchitektur vorgestellt, welche aus einer Domänenarchitektur (siehe Abbildung 3.13) und projektunabhängigen Anforderungen abgeleitet wurde. Diese wird im Folgenden aus statischer und dynamischer Sicht beschrieben und diente als Grundlage für eine Realisierung im Projekt Stadtpilot.

Das Projekt Stadtpilot an der TU Braunschweig hat sich zum Ziel gesetzt, teilautomatisches Fahren im innerstädtischen Bereich auf dem Braunschweiger Stadtring im realen Verkehr umzusetzen. Die eingesetzte

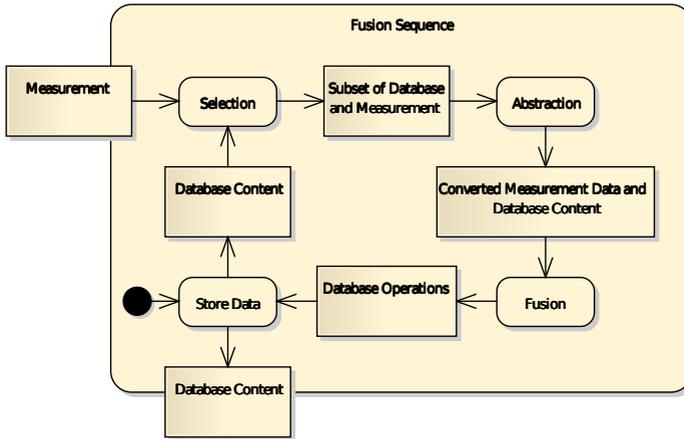


Abbildung 3.13: Die aus einer Domänenarchitektur abgeleitete Softwarearchitektur für Sensordatenfusion.

Sensordatenfusion teilt sich in die Bereiche objekthypothesenbasierte und gitterbasierte Fusion. Die objekthypothesenbasierte Fusion setzt ein neuartiges konturschätzendes Kalman Filter um. Dabei passt sich das Objekthypothesenmodell den aktuellen Messungen der Sensoren an und beschreibt eine Objekthypothese immer mit der minimal notwendigen Anzahl an Stützpunkten (siehe Abbildung 3.14). Der gitterbasierte Fusionsteil bildet eine Fusion mithilfe des binären Bayesfilters ab. Dabei werden die Daten auf drei Arten ausgewertet. Zunächst werden die aktuellen Messbereiche der Sensoren bestimmt. Das zweite Verfahren bestimmt Fahrbahnverengungen, wie sie durch parkende Fahrzeuge vorkommen. Das letzte Verfahren konstruiert Objekthypothesen aus der Gitterdatenstruktur. Hierzu kommt ein innovatives 2D-Split&Merge-Verfahren zum Einsatz. Abgeschlossen wird die Dissertation durch Auswertungen von Messdaten.

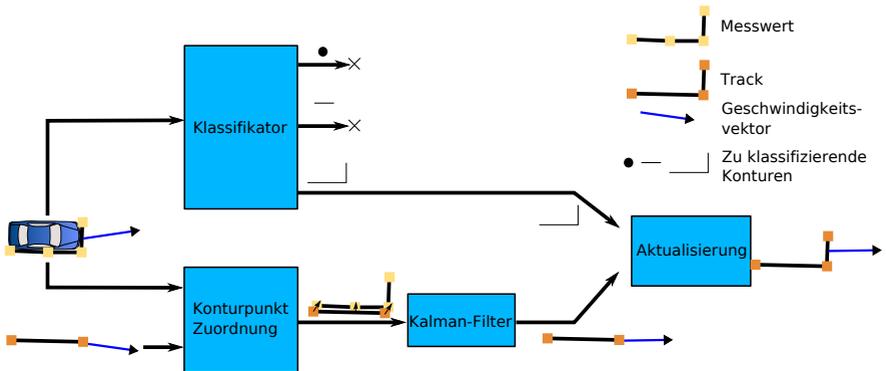


Abbildung 3.14: Filterbeispiel mit adaptivem Objekthypothesenmodell.

### 3.3.3 Situationsanalyse für fortschrittliche Fahrerassistenzsysteme

von Michael Reichel

Die Arbeit behandelt drei Fragestellungen: Zunächst liegt der Schwerpunkt auf der Erarbeitung einer funktionalen Architekturdetaillierung für die Situationsanalyse. Hierfür wird die Stellung der Situationsanalyse innerhalb einer übergeordneten funktionalen Systemarchitektur eines fortschrittlichen Fahrerassistenzsystems aufgezeigt, um im Anschluss die funktionale Architektur innerhalb der Situationsanalyse aufzuschlüsseln.

Der zweite Teil der Arbeit beinhaltet die Vorstellung eines neuen Algorithmus zur Berechnung der Grenzen des kollisionsfrei erreichbaren Raumes (siehe Abbildung 3.15). Er bildet den zentralen Kern der Situationsanalyse einer aktiven Gefahrenbremsung. Der Algorithmus zeichnet sich dadurch aus, dass er sowohl beliebig strukturierte statische Hindernisse als auch dynamische Verkehrsteilnehmer berücksichtigt. Zudem beachtet er deren Interaktionsbeziehungen und die Aufmerksamkeit

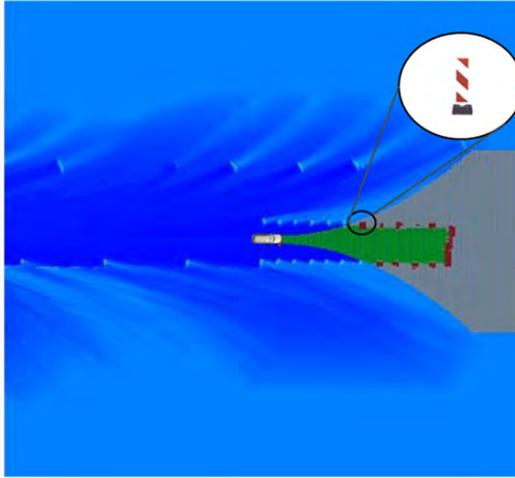


Abbildung 3.15: Beschreibung von Freibereichen zur Berechnung von Ausweichtrajektorien.

des Fahrers. Im Zuge der Modellierung fließen auch neue Erkenntnisse über den Einfluss der Breite einer zu durchfahrenden Lücke ein, die aus einer Studie stammen. Kommt der Algorithmus zum Ergebnis, dass der kollisionsfrei erreichbare Raum vollständig durch Hindernisse begrenzt ist – es also keine Ausweichmöglichkeit gibt – so ist ein wesentliches Kriterium für eine automatische Notbremse erfüllt. Auf mehreren Präsentationen war diese echtzeitfähig implementierte Situationsanalyse elementarer Bestandteil der vorgestellten Technik, mit der unfallvermeidende Bremsungen bis in den Stillstand auch oberhalb von 60 km/h möglich werden.

Der dritte Teil der Dissertation adressiert eine bislang noch ungelöste Herausforderung: Die Erkennung einer Einfädelsituation aus der Perspektive eines involvierten Fahrzeuges (siehe Abbildung 3.16). Auf die Modellierung der Merkmale als auch des Klassifikators wird ausführ-

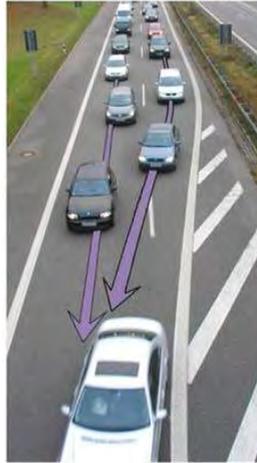


Abbildung 3.16: Veranschaulichung der Erkennung einer Einfädelsituation.

lich eingegangen. Im Zuge dessen wird das im Forschungsbereich der Fahrerassistenz noch unbekanntes Klassifikationsverfahren “Scenario Based Random Forest“ vorgestellt und beurteilt. Abschließend kann gezeigt werden, dass der Erkennungsalgorithmus in 92% der Fälle zum richtigen Ergebnis führt.

### 3.3.4 Probabilistische Fahrzeugumfeldschätzung für Fahrerassistenzsysteme

*von Simon Steinmeyer*

Viele aktuelle Fahrerassistenzsysteme wie beispielsweise die adaptive Geschwindigkeitsregelung, Spurwechselassistenten und Systeme zur Anhaltewegverkürzung sind auf eine verlässliche Detektion anderer Verkehrsteilnehmer und Hindernisse angewiesen. Zukünftige Assistenzsysteme wie beispielsweise Systeme für das Automatische Fahren erhöhen diese Zuverlässigkeitsanforderung weiter.



Abbildung 3.17: Darstellung klassifizierter Objekthypothesen (weiße Boxen) aus dem Objekttracking. Fahrzeuge werden in die Objekthypothesen eingeblendet, wenn deren Relevanzwahrscheinlichkeit mehr als 50 % beträgt.

Die Dissertation befasst sich mit der statistisch genauen Bewertung von Objekthypothesen innerhalb einer Sensordatenfusion, welche aus Messdaten gewonnen wurden. Für jede Hypothese wird eine Wahrscheinlichkeit bestimmt, welche angibt, ob diese vom Fahrerassistenzsystem berücksichtigt werden muss (siehe Abbildung 3.17). Hierbei werden widersprüchliche Messdaten systematisch in probabilistischen Modellen aufgelöst, wobei zur Approximation der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion geeignete Modelle aus dem Bereich des Maschinellen Lernens eingesetzt werden. Als Ergebnis erhält man einen Schätzer, der eine präzise Relevanzwahrscheinlichkeit für beliebige Objekthypothesen erzeugt, sodass das Fahrerassistenzsystem frühzeitig und angemessen auf ein aktuelles Umfeld reagieren kann.

Neben dem Objekthypothesenmodell ist als zweiter Typ von Umfeldmodellen das Belegsgitter verbreitet, welches den Raum um das Fahrzeug in Zellen diskretisiert. Die Messdaten werden mit den jewei-



Abbildung 3.18: Belegungsgitter der einzelnen Zellzustände in einer innerstädtischen Verkehrsszene. Die statistisch genaue Befahrbarkeitswahrscheinlichkeit des Fahrschlauchs wird durch die beiden magentafarbenen Dreiecke dargestellt.

ligen örtlich zugehörigen Zellen assoziiert und deren Zustand wird aktualisiert. Als Ergebnis erhält man eine Menge von Zellen mit unterschiedlichen Zuständen, die beispielsweise die Überfahrbarkeit repräsentieren (siehe Abbildung 3.18). Die Dissertation entwickelt formale Eigenschaften, die Fusions- und Abfragealgorithmen aufweisen müssen, um eine statistisch belastbare Aussage über die Befahrbarkeit eines aus vielen Zellen bestehenden Korridors liefern zu können. Zusätzlich werden exemplarische Algorithmen entwickelt, die diese Eigenschaften berücksichtigen und somit eine präzisere Schätzung als bekannte Ansätze erlauben.



# 4 Ereignisse

## 4.1 Carolo-Cup 2014

*von der Pressestelle der TU Braunschweig*

Der seit 2008 jährlich stattfindende Hochschulwettbewerb Carolo-Cup bietet studentischen Teams die Möglichkeit, sich mit der Entwicklung und Umsetzung von autonomen Modellfahrzeugen auseinander zu setzen. Die Herausforderung liegt in der Realisierung einer bestmöglichen Fahrzeugführung in unterschiedlichen Szenarien, die sich aus den Anforderungen eines realistischen Umfelds ergeben. Der Wettbewerb selbst bietet den Studierenden eine Plattform, das eigene Können vor einer Jury von Experten aus der Wirtschaft zu präsentieren und sich mit anderen Hochschulteams zu messen.

Die studentischen Teams werden von einem fiktiven Fahrzeughersteller beauftragt, anhand eines Modellfahrzeugs im Maßstab 1:10 ein möglichst kostengünstiges und energieeffizientes Gesamtkonzept eines autonomen Fahrzeuges zu entwickeln, herzustellen und zu demonstrieren. Beim Wettbewerb müssen bestimmte Fahraufgaben (Einparken, Langstrecke ohne und mit Hindernissen, Kreuzungssituationen und Markierungsausfälle) möglichst schnell und fehlerfrei bewältigt und das erarbeitete Konzept in Präsentationen erläutert werden.

Der *Spatz*, das autonome Modellfahrzeug des Teams Spatzenhirn der Universität Ulm, hat souverän den Carolo-Cup der Technischen Universität Braunschweig gewonnen. Mit einigem Abstand setzte sich das



Abbildung 4.1: Gruppenfoto aller Teilnehmer nach dem Wettbewerb im Februar 2014.

Ulmer Team gegen das Team aus Braunschweig und den Vorjahressieger Phoenix Robotics der Technischen Universität München durch. Insgesamt haben elf Teams aus Deutschland und zwei aus Schweden am Wettbewerb teilgenommen.

Bereits bei der ersten Disziplin auf dem Parcours, dem Fahren im Rundkurs ohne Hindernisse, überzeugte der Spatz mit einer schnellen und fast fehlerfreien Fahrt. Er legte in drei Minuten 384 Meter zurück und hielt hierbei den Fahrstreifen hervorragend. Beim Rückwärtseinparken war nur das Team S.A.D.I. der westsächsischen Hochschule Zwickau schneller, die im Endergebnis den siebten Platz belegten. Die abschließende Königsdisziplin, der Hindernisparcours, hat das Team Spatzenhirn mit großem Vorsprung gewonnen. Souverän erkannte der Spatz die Hindernisse und wich ihnen geschickt aus, überholte langsame Fahrzeuge und achtete aufmerksam vor Kreuzungen auf die Vorfahrt.

Das Team Spatzenhirn startet seit mehreren Jahren beim Carolo-Cup erfolgreich. Bereits 2011 siegten die Ulmer und 2013 belegte das Team den dritten Platz.

Das Braunschweiger Team „crazy dancing little caroline“ (CDLC) mit seinem Fahrzeug *Carolinchen* errang wie im Vorjahr die Vizemeisterschaft. Carolinchen überzeugte durch ihr kostengünstiges und energieeffizientes Gesamtkonzept und fuhr als schnellstes Fahrzeug im Rundkurs ohne Hindernisse und legte mit 402 Metern in drei Minuten die längste Strecke auf dem anspruchsvollen Parcours zurück. Beim Einparken patzte Carolinchen allerdings. Der ausgefallene Laserscanner verhinderte, dass sich Carolinchen in Bewegung setzte, und konnte so keine Punkte beim Parken verbuchen. Vor dem abschließenden Rundparcours war der Fehler rechtzeitig behoben und Carolinchen fuhr souverän auf den zweiten Platz.

Der Vorjahressieger Phoenix Robotics von der Technischen Universität München errang den dritten Platz. Die Münchener vergaben eine bessere Platzierung ebenfalls beim Einparken und blieben ohne gültigen Einparkversuch. Beim Rundkurs mit und ohne Hindernisse konnte das Team mit jeweils einem dritten Platz punkten.

Die Siegerteams können sich nun über ein Preisgeld von insgesamt 10.000 Euro freuen. Das Ulmer Team erhält davon 5.000 Euro. Die Zweit- und Drittplatzierten bekommen 3.000 bzw. 2.000 Euro. Wie bereits im Vorjahr wurde auch beim Carolo-Cup 2014 der Junior-Cup ausgetragen. Dieser Wettbewerbsteil richtet sich gezielt an Einsteiger-Teams, für die so die Hürde einer erfolgreichen Teilnahme an dem Wettbewerb gesenkt werden soll. Im Regelwerk des Junior-Cups wurden dazu die Anforderungen reduziert, um die Entwicklung eines eigenen Fahrzeugs in kürzerer Zeit möglich zu machen. Im regulären Wettkampf sind in den dynamischen Disziplinen neben dem Einparken auch Zeitfahrten



Abbildung 4.2: Das Siegerteam *Spatzenhirn* der Universität Ulm

auf einer Strecke mit Kreuzungen und Linienunterbrechungen zu absolvieren. Anschließend wird die Bahn zusätzlich mit stehenden und bewegten Hindernissen ausgestattet. Beim Junior-Cup müssen hingegen lediglich eine Einparkaufgabe und eine Zeitfahrt auf einem Kurs ohne Linienunterbrechungen und ohne Hindernisse bewältigt werden.

Auch in diesem Jahr haben zwei Teams am Junior-Cup teilgenommen. Zum einen war dies das Team *oTToCar* von der Universität Magdeburg und zum anderen das Team *piCar* von der Technischen Universität Braunschweig. Das Team *piCar* konnte in einem spannenden Junior-Cup den ersten Platz belegen.

Das Organisationsteam freut sich auf den kommenden Wettbewerb 2015, der am 09. und 10. Februar 2015 im Haus der Wissenschaft der Technischen Universität Braunschweig ausgetragen wird. Nähere Information



Abbildung 4.3: Das Siegerteam des Junior-Cups *piCar* der Technischen Universität Braunschweig

zu Regeln und Anmeldevoraussetzungen bzw. -verfahren sind unter [www.carolo-cup.de](http://www.carolo-cup.de) verfügbar.

## 4.2 Mobility Award 2013

*von Fabian Schuldt und Jens Rieken*

Das Organisationsteam des Carolo-Cups der Technischen Universität Braunschweig hat den Mobility Award 2013 erhalten. Mit dem Mobility Award zeichnet das Automotive Cluster jährlich innovative und zukunftsfähige Lösungen der Automobilwirtschaft aus. Der Preis wurde am 5. Dezember 2013 vom Niedersächsischen Wirtschaftsminister Olaf Lies an die Vertreter des Instituts für Regelungstechnik der Technischen Universität Braunschweig verliehen. Der Preis ist mit insgesamt 500 Euro dotiert. Das Team um Prof. Thomas Form, Honorarprofessor am Institut für Regelungstechnik, hat 2008 den Wettbewerb ins Leben gerufen und organisiert seitdem jedes Jahr den Carolo-Cup.



Abbildung 4.4: Preisverleihung des Mobility Award 2013 an den Carolo-Cup

Das Institut für Regelungstechnik bedankt sich bei Prof. Thomas Form, der leider bei der Preisverleihung nicht anwesend sein konnte, für das jahrelange Engagement beim Carolo-Cup. Des Weiteren bedankt sich das Institut beim Automotive Cluster für die Auszeichnung mit dem Mobility Award.

## 4.3 Mitarbeit in der AG Forschung der BAST 2014

von Andreas Reschka

Bei der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST) in Bergisch-Gladbach fanden in diesem Jahr vier Treffen der Arbeitsgruppe *Forschung* im Rahmen des *Runden Tisches Automatisiertes Fahren* des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur statt. In dieser Arbeitsgruppe wurden die vier Cluster *Mensch-Maschine-Interaktion*, *Gesellschaftliche*

Aspekte, *Funktion/Sicherheit/Absicherung* sowie *Straßeninfrastruktur und Verkehr* gebildet. Prof. Maurer übernahm dabei die Leitung des Clusters *Funktion/Sicherheit/Absicherung*. Die Teilnehmer der Arbeitsgruppe stammen aus dem universitären Umfeld, von den Automobilherstellern und Zulieferern, von Versicherungen, von technischen Überwachungsvereinen und von Ministerien.

Im Cluster *Funktion/Sicherheit/Absicherung* wurden Forschungsfragen gesammelt, die sich bei der fortschreitenden Entwicklung von automatisierten Fahrzeugen aus funktionaler und sicherheitstechnischer Sicht und dem Prozess und den Methoden zur Absicherung der Technologie stellen. Das Ergebnis soll den aktuellen Forschungsbedarf widerspiegeln. Hierzu wurden in den Treffen und während der Zeit dazwischen über 60 Forschungsfragen formuliert und aktuelle und vergangene Projekte und Forschungsaktivitäten gesammelt. Auch die möglichen Fördergeber zur Adressierung der Forschungsfragen wurden identifiziert.

Durch den aktuell noch in der Bearbeitung befindlichen abschließenden Bericht wird der aktuelle Forschungsbedarf anhand der Fragestellungen erfasst und dokumentiert, um Entscheidern bei den Fördergebern einen Überblick über den Bedarf an Forschungsprojekten zu verschaffen und diese bei ihren zukünftigen Forschungsprogrammen zu unterstützen.



**Teil II**

**Aktivitäten von  
Mitarbeitern, Ehemaligen,  
Freunden**



# 5 Berichte aus der Forschung

## 5.1 Projekt „Villa Ladenburg“

*von Markus Maurer*

Im Projekt „Villa Ladenburg“ analysieren Experten<sup>1</sup> aus unterschiedlichsten Disziplinen gefördert von der Daimler und Benz Stiftung Potenziale, Einführungshemmnisse und technische Herausforderungen vollautomatisierter Straßenfahrzeuge. Das Projekt wird gesteuert von einem Kernteam, das von Chris Gerdes (Stanford University), Barbara Lenz (Humboldt Universität Berlin/DLR), Hermann Winner (TU Darmstadt) und mir als Sprecher gebildet wird.<sup>2</sup> Die Mitglieder des Kernteams werden von drei wissenschaftlichen Mitarbeitern unterstützt. Da die zu untersuchenden Fragestellungen die Kompetenz des Kernteams bei weitem überschritt, wurden mehr als zwanzig weitere Experten aus Deutschland und den USA eingebunden, um eine möglichst ganzheitliche Diskussion des automatisierten Fahrens zu initiieren. Darunter waren mit Bernhard Friedrich und David Woisetschläger zwei weitere Kollegen aus dem NFF vertreten.

Der Schwerpunkt der Aktivitäten im Berichtsjahr, das das zweite, abschließende Projektjahr überdeckte, lag auf der Beantwortung der ca. 200 wissenschaftlichen Fragestellungen, die im ersten Projektjahr vom

---

<sup>1</sup>Hier und im weiteren Artikel meint die maskuline Form aus Gründen der Lesefreundlichkeit beide Geschlechter.

<sup>2</sup>Der Vollständigkeit halber sei hier angemerkt, dass mein Engagement in diesem Projekt im Rahmen einer genehmigten Nebentätigkeit erfolgte.

Kernteam identifiziert wurden. Ein Einführungsworkshop, der im November 2013 in Stuttgart-Möhringen stattfand, sollte ein gemeinsames Verständnis vom „autonomen“ Fahren und den Zielen des Projektes erzeugen. Auf zwei Fachworkshops im Februar 2014 in Monterey (Kalifornien) und im März 2014 in Walting (im Altmühltal) stellten die Fachleute ihre Antworten zunächst in Präsentationen vor. Seit April 2014 erarbeiten sie die schriftlichen Versionen, die nach aktueller Planung in einem Referenzbuch im Mai 2015 bei Springer in der Muttersprache erscheinen sollen. In Vorbereitung ist ebenfalls eine englische Ausgabe. Beide Ausgaben werden elektronisch kostenlos verfügbar sein.

Mit dem Springer-Verlag wurde vereinbart, dass Ergebnisse des Projektes nicht vorab publiziert werden dürfen. Dennoch wage ich schon jetzt die Prognose, dass das Referenzbuch viele neue Aspekte zur Diskussion autonomer Straßenfahrzeuge beitragen wird. Auch nach zwanzig Jahren Forschung und Entwicklung auf diesem Gebiet hat dieses Projekt mein Denken über autonome Straßenfahrzeuge signifikant beeinflusst und um wichtige Perspektiven bereichert.

Ganz im Sinne des Fördergebers fließen die Ergebnisse des Projektes bereits jetzt ein in die Diskussionen, die am Runden Tisch des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur geführt werden. Mit Tom Gasser (BASt), Barbara Lenz, Hermann Winner und mir sind vier Projektteilnehmer auch am Runden Tisch oder in seinen angegliederten Arbeitsgruppen vertreten.

Persönliche Höhepunkte waren für mich neben den genannten Workshops ein Vortrag zum Thema „Autonome Automobile - Wer steuert das Fahrzeug der Zukunft“,<sup>3</sup> den ich im Dezember 2013 in der Reihe „Dialog im Museum“ im Mercedes-Benz Museum gehalten habe und

---

<sup>3</sup>Eine Filmaufnahme des Vortrags ist zur Zeit der Drucklegung dieses Jahrbuchs unter <http://www.youtube.com/watch?v=UTrbf3T5amo> verfügbar.

Präsentationen des Kernteams im Mai 2014 beim VDA, an denen auch der Präsident des VDA Matthias Wissmann und der Geschäftsführer Dr. Ulrich Eichhorn teilnahmen.

Da die 10 persönlichen Prognosen, die ich beim „Dialog im Museum“ präsentiert habe, besonders lebhaft diskutiert wurden, seien sie hier noch einmal abgedruckt:

1. Autonome Fahrzeuge eröffnen Chancen für die erweiterte Teilhabe am individuellen motorisierten Massenverkehr für
  - Kinder,
  - Hochbetagte und
  - Behinderte, aber auch für
  - allgemein Fahrtüchtige unter aktuellen Eignungsbeschränkungen.
2. In Zukunft wird es möglich sein, autonome Fahrzeuge zu entwickeln, die vollautomatisiert Missionen absolvieren.
3. Mit ihnen wird sich ein Individualverkehr gestalten lassen, der sicherer und ressourceneffizienter sein wird als der heutige Individualverkehr.
4. Komplexe technische Systeme sind nicht fehlerfrei. Daher kann es auch im vollautomatisierten individuellen Massenverkehr zu Unfällen kommen, auch mit tödlichen Folgen.
5. Die Gesellschaft muss vor Einführung autonomer Systeme intensiv diskutieren, ob sie bereit ist, die Risiken des autonomen Fahrens zu tragen.
6. Wir kennen heute keine Methoden, mit denen wir zu ökonomisch vertretbaren Kosten nachweisen können, dass eine von

der Gesellschaft festzulegende Restfehlerwahrscheinlichkeit von autonomen Fahrzeugen eingehalten wird.

7. Für Wirtschaftsunternehmen ist es risikoreich, vollautomatisierte Fahrzeugführungssysteme oder auch Fahrerassistenzsysteme mit signifikantem Eingriff in die Fahrdynamik einzuführen, die der Fahrer nicht überwachen muss oder kann.
8. Für die Einführung autonomer Fahrzeuge werden wir neue Formen des Risikomanagements benötigen.
9. Es ist eine offene Frage, ob Gesellschaften in Zukunft bereit sein werden, vollautomatisiertes Fahren im Individualverkehr zuzulassen.
10. Sollten diese Systeme sehr erfolgreich abgesichert und eingeführt worden sein, kann sich diese Frage langfristig umkehren: Wenn nachweislich der vollautomatisierte Verkehr deutlich sicherer ist als der Individualverkehr mit menschlichen Fahrern, kann es zu der Diskussion kommen, ob es weiter verantwortlich ist, menschliche Fahrer selber fahren zu lassen.

## 5.2 Teilnahme am Uni-DAS Doktorandentag 2014

*von Simon Ulbrich*

Nach dem Erfolg des ersten Uni-DAS Doktorandenworkshops in Braunschweig bestand großes Interesse das Veranstaltungsformat zu wiederholen. Der zweite Uni-DAS Doktorandenworkshop fand somit am 27. und 28. Mai 2014 in Ulm statt.

Im Rahmen der Veranstaltung wurden vier Workshops zu den Themen „Situationsanalyse, Entscheidungsfindung, Trajektorienplanung und Regelung“, „Umfeldwahrnehmung (Sensorik, Objekterkennung,

Tracking, Fusion)“, „Umfeldmodellierung und Lokalisierung (Kontextmodellierung, Karte,...)“ und „Kontrollierbarkeit, Toolkette, Test, Simulation und Benchmark von Systemen“ abgehalten. Dabei wurden gemeinsame Forschungsinteressen identifiziert und ein Austausch zwischen den Kompetenzen der einzelnen Institute erzielt. Am zweiten Tag wurden wir vom DriveU-Team der Universität Ulm zu einer Probefahrt mit ihrem Versuchsträger eingeladen.

Die Teilnahme an diesem Workshop war für unsere Doktoranden eine hervorragende Gelegenheit zum Austausch mit anderen Forschern im Gebiet der Fahrzeugautomatisierung. Wir möchten den Veranstaltern der Universität Ulm herzlich für ihr Engagement danken.



# 6 Auszeichnungen

## 6.1 Uni-DAS Wissenschaftspreis für Dr.-Ing. Jörn Marten Wille 2014

*von Andreas Reschka*



Abbildung 6.1: Preisträger Dr.-Ing. Jörn Marten Wille und Uni-DAS Mitglied Prof. Dr. Hermann Winner bei der Überreichung des Uni-DAS Wissenschaftspreises 2014

Im Rahmen des 9. Workshops Fahrerassistenzsysteme des Uni-DAS e.V. im März in Walting, Altmühltal wurde unser ehemaliger wissenschaftlicher Mitarbeiter und Doktorand Dr.-Ing. Jörn Marten Wille mit dem

Uni-DAS Wissenschaftspreis für seine mit Auszeichnung bewertete Dissertation mit dem Titel *Manöverübergreifende autonome Fahrzeugführung in innerstädtischen Szenarien am Beispiel des Stadtpilotprojekts* ausgezeichnet.

Wir möchten Jörn Marten ganz herzlich zu seiner Auszeichnung gratulieren. Er hat bei uns in zahlreichen Projekten mitgewirkt und besonders im Projekt Stadtpilot dafür gesorgt, dass die ersten autonomen Fahrten auf dem Braunschweiger Stadtring und die damit verbundene Pressekonferenz im Oktober 2010 so erfolgreich wurden. Bei seiner Auszeichnung hat er seinen Ansatz, der bereits in der DARPA Urban Challenge 2007 im Versuchsträger Caroline entwickelt und eingesetzt wurde, vorgestellt und es zeigte sich, dass dieser auch heute noch zum Stand der Technik gehört.

Wir wünschen ihm bei seiner aktuellen Tätigkeit bei der Volkswagen AG und seinem zukünftigen Werdegang alles Gute.

Herzlichen Glückwunsch, Jörn Marten!

## **6.2 „VDE-Stiftung Erwin-Marx“-Preis für Marcus Nolte**

*von Richard Matthaei*

Auf der jährlich stattfindenden Absolventenfeier der Fakultät für Elektrotechnik, Informationstechnik und Physik am 24.10.2014 wurde Marcus Nolte als Jahrgangsbester mit dem „VDE-Stiftung Erwin-Marx“-Preis ausgezeichnet.

Herzlichen Glückwunsch, Marcus!

**Teil III**

**Publikationen und  
Medienberichte**



# 7 Publikationen

## 7.1 Konferenzbeiträge mit Review

Choi, J.; Ulbrich, S.; Lichte, B.; Maurer, M.: Multi-Target Tracking Using a 3D-Lidar Sensor for Autonomous Vehicles. In: *16th International IEEE Annual Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC2013)*. 2013

Matthaei, R.; Bagschik, G.; Maurer, M.: Map-relative Localization in Lane-Level Maps for ADAS and Autonomous Driving. In: *2014 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV2014)*. 2014

Matthaei, R.; Lichte, B.; Maurer, M.: Wahrnehmungsgestützte Lokalisierung in fahrstreifengenauen Karten. In: *9. Workshop Fahrerassistenzsysteme (FAS2014)*. 2014

Matthaei, R.; Bagschik, G.; Rieken, J.; Maurer, M.: Stationary Urban Environment Modeling using Multi-Layer-Grids. In: *17th International Conference on Information Fusion (FUSION2014)*. 2014

Mäurer, L.; Hebecker, T.; Stolte, T.; Lipaczewski, M.; Möhrstädt, U.; Ortmeier, F.: On Bringing Object-Oriented Software Metrics into the Model-Based World - Verifying ISO 26262 Compliance in Simulink. Version: 2014. In: Amyot, D. (Hrsg.); Casas, P. F. i. (Hrsg.); Mussbacher, G. (Hrsg.): *System Analysis and Modeling: Models and Reusability*. Springer International Publishing, 2014 (Lecture Notes in Computer Science 8769), S. 207–222

Scholz, S.; Chlosta, S.; Freter, S.; Schuldt, F.: Prototypische Umsetzung eines Bau- und Engstellenassistenten. In: *Automatisierungssysteme, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel (AAET2014)*. 2014

Schuldt, F.; Lichte, B.; Maurer, M.; Scholz, S.: Systematische Auswertung von Testfällen für Fahrerassistenzsysteme im modularen virtuellen Testbaukasten. In: *9. Workshop Fahrerassistenzsysteme (FAS2014)*. 2014

Stolte, T.; Bergmiller, P.; Maurer, M.: Ensuring functional safety by networking systems from different domains, illustrated by the example of an electromechanical brake. Version: 2014. In: Pfeffer, P. E. (Hrsg.): *5th International Munich Chassis Symposium 2014*. Springer Fachmedien Wiesbaden, 2014 (Proceedings), S. 591–610

Ulbrich, S.; Maurer, M.: Probabilistic Online POMDP Decision Making for Lane Changes in Fully Automated Driving. In: *16th International IEEE Annual Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC2013)*. 2013

Ulbrich, S.; Maurer, M.: Evaluation einer taktischen Verhaltensentscheidungsfindung für Fahrstreifenwechsel beim vollautomatisierten Fahren in Städten. In: *9. Workshop Fahrerassistenzsysteme (FAS2014)*. 2014

Zug, S.; Steup, C.; Scholle, J.; Berger, C.; Landsiedel, O.; Schuldt, F.; Rieken, J.; Matthaei, R.; Form, T.: Technical Evaluation of the Carolo-Cup 2014 - A Competition for Self-Driving Miniature Cars. In: *2014 IEEE International Symposium on Robotic and Sensors Environments (ROSE 2014)*. 2014

## 7.2 Dissertationen

Im Berichtszeitraum wurden die folgenden Dissertationen in unserer Arbeitsgruppe veröffentlicht:

Dyckmanns, H.: *Urbane Multiobjektverfolgung im Kontext hybrider Umfeldmodelle*. Braunschweig, Technische Universität Braunschweig, Diss., 2014

Reichel, M.: *Situationsanalyse für fortschrittliche Fahrerassistenzsysteme*. Braunschweig, Technische Universität Braunschweig, Diss., 2013

Steinmeyer, S.: *Probabilistische Fahrzeugumfeldschätzung für Fahrerassistenzsysteme*. Braunschweig, Technische Universität Braunschweig, Diss., 2014



# 8 Die Arbeitsgruppe in den Medien

Unser Institut konnte auch im akademischen Jahr 2013/2014 wiederum ein großes Medienecho erzielen. Im Folgenden findet sich eine Auswahl von Beiträgen und Artikeln in diversen Print- und Onlinemedien inkl. eines Nachtrags aus dem vorhergehenden Berichtszeitraum.

## 8.1 Radio und Fernsehen

Medium	Datum	Artikel
BR	28.11.2013	BR-Zündfunk
NDR	12.12.2013	Hallo Niedersachsen
WDR5	14.01.2014	Leonardo
Radio BR, NDR, SWR, WDR, Die Durchblicker	07.08.2014	Rekordverdächtig: Elektroauto mit 600 PS

## 8.2 Printmedien

Medium	Datum	Artikel
Deutsche Presse-Agentur - dpa Basisdienst, tz	16.07.2013	Rekordverdächtig! 600 PS: Dieses Elektro-Auto hängt Sportwagen ab
Die Welt	17.07.2013	600 PS aus Elektrokraft
Landeszeitung für die Lüneburger Heide	17.07.2013	Der Porsche-Schreck

<b>Medium</b>	<b>Datum</b>	<b>Artikel</b>
Braunschweiger Zeitung, Gifhorner Rundschau, Helmstedter Nachrichten, Peiner Nachrichten, Salzgitter Zeitung, Wolfenbütteler Zeitung und Anzeiger, Wolfsburger Nachrichten	17.07.2013	Ein Auto, das nie fertig wird
Cellesche Zeitung	17.07.2013	Elektroauto beschleunigt in vier Sekunden von null auf 100
Südkurier	17.07.2013	Elektronisches Forschungsauto überholt Porsche
Peiner Allgemeine Zeitung	17.07.2013	Mehr als 600 PS: An der TU Braunschweig wird das Auto der Zukunft entwickelt
Express	17.07.2013	Super-Strom-Flitzer der Zukunft
Kreiszeitung	17.07.2013	Von 0 auf 100 km/h in vier Sekunden
Coburger Tageblatt	19.07.2013	Ein Spielzeugauto für die Uni
Hessische Niedersächsische Allgemeine (HNA)	19.07.2013	Von null auf 100 in vier Sekunden
Recklinghäuser Zeitung	20.07.2013	Auf 100 in 4 Sekunden
Braunschweiger Zeitung, Gifhorner Rundschau, Helmstedter Nachrichten, Peiner Nachrichten, Salzgitter Zeitung, Wolfenbütteler Zeitung und Anzeiger, Wolfsburger Nachrichten	20.07.2013	Teller waschen per Sprachbefehl
AUTO BILD	26.07.2013	E-Mobil lernt dazu +++ Führerloses Auto in Ulm
Mindener Tageblatt	27.07.2013	In vier Sekunden auf Tempo 100
Produktion - Technik und Wirtschaft für die deutsche Industrie	08.08.2013	Forscher entwickeln ein ,selbst-bewusstes' Auto

<b>Medium</b>	<b>Datum</b>	<b>Artikel</b>
Neue Presse	08.08.2013	In 4 Sekunden auf Tempo 100
Hannoversche Allgemeine Zeitung	23.08.2013	Ganz schön forsch
Wirtschaftswoche	02.09.2013	Studie: 2035 werden 100 Millionen selbstfahrende Autos verkauft
ITS Niedersachsen Journal	15.09.2013	Münchner Team gewinnt den 6. Hochschulkonstruktionswettbewerb Carolo-Cup: Auf dem Parcours war Phoenix Robotics nicht zu schlagen
Produktion - Technik und Wirtschaft für die deutsche Industrie	19.09.2013	Forscher entwickeln ein „selbst-bewusstes“ Auto
Mannheimer Morgen	20.09.2013	Auto sucht den Parkplatz selbst
Braunschweiger Zeitung, Gifhorner Rundschau, Helmstedter Nachrichten, Peiner Nachrichten, Salzgitter Zeitung, Wolfsburger Nachrichten	24.09.2013	Autoforscher knipsen den Leuchtturm an
Unispiegel - Das Studenten Magazin	14.10.2013	Tschüs, Auto!
Dill-Post, Dill-Zeitung, Haigerer Kurier, Haigerer Zeitung, Herborner Echo, Herborner Tageblatt, Hinterländer Anzeiger, Nassauer Tageblatt, Solms-Braunfelser, Weilburger Tageblatt, Wetzlarer Neue Zeitung	25.11.2013	Von 0 auf 100 in 4 Sekunden
Nürnberger Nachrichten	27.11.2013	Wenn eine komplette Fabrik von einem iPad aus gesteuert wird
RegJo	02.12.2013	Das mobile Miteinander
Produktion - Technik und Wirtschaft für die deutsche Industrie	05.12.2013	Innovationspreis

Medium	Datum	Artikel
Braunschweiger Zeitung, Helmstedter Nachrichten, Peiner Nachrichten, Wolfenbütteler Zeitung und Anzeiger	13.12.2013	„Carolo-Cup-Team erhielt den „Mobility Award 2013“
Alsfelder Allgemeine	25.01.2014	Wer steuert das Auto der Zukunft?
Weser-Kurier	12.02.2014	Mini-Flitzer ohne Fernsteuerung auf Kurs
Braunschweiger Zeitung, Helmstedter Nachrichten, Peiner Nachrichten, Wolfenbütteler Zeitung und Anzeiger	13.02.2014	Spatzenhirn bremst Carolinchen aus
RegJo	15.02.2014	Ausgezeichnet
Darmstädter Echo	07.03.2014	Die Herausforderung fahrerloser Autos
Campushunter	01.05.2014	Modellfahrzeuge führen autonom um den Carolo-Cup
GDI Impuls	12.06.2014	Coud am Steuer
Automobilwoche	08.09.2014	„Wir sind keine Temposünder“

## 8.3 Veröffentlichungen auf Internetseiten

Medium	Datum	Artikel
Aachener Zeitung Online, Braunschweiger Zeitung Online, Computer Bild Online	16.07.2013	Forschungsauto "Mobile": Von 0 auf 100 in 4 Sekunden"
(Münchener) Merkur-Online, Autohaus Online, Hessische Niedersächsische Allgemeine Online, hersfelder-zeitung.de	16.07.2013	Rekordverdächtig! 600 PS: Dieses Elektro-Auto hängt Sportwagen ab

<b>Medium</b>	<b>Datum</b>	<b>Artikel</b>
Dailygreen.de	17.07.2013	Keine Schönheit, aber schnell: Elektroauto „Mobile“ mit 600 PS
AUTO BILD Online	18.07.2013	Lenken per Touchpad und Maus
motorvision.de	18.07.2013	TU Braunschweig: Autonomes Fahren im Elektroauto
greenmotorsblog.de	18.07.2013	TU-Braunschweig: Forscher entwickeln „selbstbewusstes“ Elektroauto
ITespresso.de	23.07.2013	Autonomes Auto beginnt mit Testfahrten in Ulm
Mitteldeutsche Zeitung Online	16.08.2013	Forscher der TU Braunschweig entwickeln „selbstbewusstes“ Auto
mein-elektroauto.com	01.09.2013	Bis zum Jahr 2020 will Nissan ein selbstfahrendes Elektroauto anbieten
mittelstand- nachrichten.de	11.09.2013	Automobil-Vernetzung: Der erste Schritt zum automatischen Fahren
ITespresso.de	14.09.2013	Nokia und Mercedes-Benz arbeiten an Karten für selbstlenkende Autos
Motorsporttotal.com	23.09.2013	Autonomes Fahren
zdnnet.de	01.10.2013	Können Maschinen mit menschlicher Intelligenz konkurrieren?
Spiegel Online	14.10.2013	Tschüs, Auto!
Mein Elektroauto.com	27.11.2013	Autonom fahrendes Elektroauto von Nissan besteht seine Fahrprüfung
elektrotechnik Online	03.12.2013	3 Innovationspreise der Automatisierungsindustrie verliehen
Stuttgarter Zeitung online	04.12.2013	Vision vom selbst fahrenden Auto
Mittelbayerische Zeitung Online	11.02.2014	Studenten lassen Mini-Rennwagen flitzen
VDInachrichten.com	13.02.2014	Autonome Modellfahrzeuge kämpften um den Sieg
mittelstand- nachrichten.de	26.02.2014	Autonomes Fahren: Förderprojekt Villa Ladenburg
SRF - Schweizer Radio und Fernsehen online	05.03.2014	Autonom fahren: Der Mensch hinkt hinterher

<b>Medium</b>	<b>Datum</b>	<b>Artikel</b>
mittelstand- nachrichten.de	07.07.2014	Wie werden wir fahrerlose Autos nutzen?
mittelstand- nachrichten.de	05.08.2014	Augenblicke im Straßenverkehr
Zeit Online	07.08.2014	Wenn der Computer lenkt





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

ISBN: 978-3-9814969-3-2