



Elektronische Fahrzeugsysteme 2015

Jahresbericht: Akademisches Jahr 2014/2015

Markus Maurer, Andreas Reschka (Hrsg.)

Impressum

Copyright:

© 2015

Technische Universität Braunschweig

Institut für Regelungstechnik

Prof. Dr.-Ing. Markus Maurer

Andreas Reschka (Hrsg.)

Bildrechte Titelbild:

AUDI AG

ISBN:

978-3-9814969-4-9

Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort	5
I	Aktivitäten der AG Elektronische Fahrzeugsysteme	7
2	Die AG Elektronische Fahrzeugsysteme	9
2.1	Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter	9
2.2	Neue Kollegen	11
2.3	Abgänge	13
3	Lehre	15
3.1	Übersicht	15
3.2	Neues aus der Lehre	16
3.3	Studentische Arbeiten	39
3.4	Prüfungen am Institut	43
4	Berichte aus der Forschung	45
4.1	Autonomes Fahren und Fahrerassistenz	45
4.2	Fahrzeugsystemtechnik	81
4.3	Abgeschlossene Promotionen	91
5	Ereignisse	101
5.1	Carolo-Cup 2015	101
5.2	Demografiekongress des Landes Niedersachsen	105
5.3	Einweihung des NFF Forschungsneubaus	107

II	Aktivitäten von Mitarbeitern, Ehemaligen und Freunden	111
6	Pilotiertes Fahren bei AUDI	113
III	Publikationen und Medienberichte	117
7	Publikationen	119
8	Die Arbeitsgruppe in den Medien	125
8.1	Radio und Fernsehen	125
8.2	Printmedien	126
8.3	Veröffentlichungen auf Internetseiten	127

1 Vorwort

Unsere Arbeitsgruppe blickt zurück auf eine hervorragende Ernte im vergangenen Jahr. Die Forschungsergebnisse wurden in mehr als zwanzig Veröffentlichungen auf hochkarätigen Konferenzen, in wichtigen Zeitschriften und Handbüchern und bei führenden Verlagen publiziert. Schon allein durch den Umfang sticht unter vielen erstklassigen Publikationen das neu bei Springer Open erschienene Buch „Autonomes Fahren - Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte“ hervor, das im Mai interessierten Pressevertretern vorgestellt wurde.

Besondere Aufmerksamkeit weckte zu Beginn des Kalenderjahres das Projekt „Autopilot“ unter Führung der Audi AG, in dem mehrere öffentlichkeitswirksame Präsentationen stattfanden. Das Versuchsfahrzeug „Jack“ aus diesem Projekt zierte entsprechend das diesjährige Titelblatt unseres Jahresberichtes. Ein Gastartikel von Thomas Müller von Audi und ein Artikel der Projektmitarbeiter aus unserem Team geben einen Überblick über das Projekt und unsere Beiträge.

Die Diskussion um das Autonome Fahren hat die Bundes- und Landespolitik erreicht. Wir freuen uns, dass unsere Expertise in den relevanten Gremien geschätzt wird, so etwa beim Runden Tisch „Automatisiertes Fahren“ des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur, der diesem Runden Tisch zuarbeitenden Arbeitsgruppe Forschung, dem niedersächsischen Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr und der deutschen Akademie der Technikwissenschaften Acatech.

Unsere Lehre erhält guten Zuspruch von den Studierenden, im Pflichtfach „Grundlagen der Elektrotechnik“ in Form von sehr guten Evaluationsergebnissen, in den Wahlfächern auch gemessen an der Zahl der Hörerinnen und Hörer. Besonders freuen wir uns, dass der neue Studiengang „Elektronische Systeme in Fahrzeugtechnik, Luft- und Raumfahrt“, der für unsere Lehre von zentraler Bedeutung sein wird, gut gestartet ist.

Alle genannten Erfolge sind Ergebnisse langjähriger Zusammenarbeit. Daher danken wir herzlich allen Beteiligten - allen Projektpartnern, den Verantwortlichen für die öffentliche Förderung, dem Präsidium der TU Braunschweig, den vielen involvierten Kolleginnen und Kollegen an der TU Braunschweig und unseren engagierten Studierenden. In diesem Jahr danken wir besonders den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern in der zentralen Verwaltung. Die konstruktive Zusammenarbeit mit allen Bereichen der zentralen Verwaltung ist entscheidend für unseren Erfolg in Forschung und Lehre.

Da wir viel Zeit für die Saat neuer Forschungserfolge investiert haben, sind wir zuversichtlich ins neue akademische Jahr gestartet. Im Laufe des Jahres 2016 werden uns zwei neue Versuchsträger zur Verfügung stehen. Die Rückmeldungen der Reviewer der DFG Forschergruppe CCC stimmen uns zuversichtlich, dass dieses prestigeträchtige Projekt in eine neue Förderphase gehen wird. Aktuell befinden sich mehrere wichtige Publikationen kurz vor der Veröffentlichung, so dass wir auch im laufenden Jahr mit hervorragender Publikationsleistung rechnen dürfen.

Mein besonderer Dank geht an alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in unserer Arbeitsgruppe, die außergewöhnliches Engagement zeigen und die diese Erfolge im Team erarbeitet haben.

Teil I

**Aktivitäten der AG
Elektronische
Fahrzeugsysteme**

2 Die AG Elektronische Fahrzeugsysteme

2.1 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter

Während des akademischen Jahres 2014/2015 waren die folgenden Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in der Arbeitsgruppe Elektronische Fahrzeugsysteme an unserem Institut beschäftigt:

Name	Aufgabenbereich
Prof. Dr.-Ing. Markus Maurer	Leitung
Prof. Dr.-Ing. Thomas Form	Honorarprofessor
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. Till Menzel	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

Name	Aufgabenbereich
Dipl.-Wirtsch.-Ing., MSIE Simon Ulbrich	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
M.Sc. Jan Timo Wendler	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Dipl.-Ing. Mohamed Brahmi	Gastwissenschaftler
M.Sc. Jaebum Choi	Gastwissenschaftler
Dr.-Ing. Sven A. Beiker	Gastdozent
B.Eng. Sven Böhme	Technik

Beide Gruppen am Institut werden gleichermaßen unterstützt durch

Name	Aufgabenbereich
Dr.-Ing. Marcus Grobe	Akademischer Rat
Dipl.-Ing. Bernd Amlang	Sicherheitsbeauftragter
Meister Andreas Rusniok	Technik
Peter Schwetge	Technik
Robert Haider	Auszubildender Technik
Dominic Heinemann	Auszubildender Technik
Luc Möbius	Auszubildender Technik
Leonie Reese	Auszubildende Technik
Pierre Trenkner	Auszubildender Technik

Folgende externe Doktoranden wurden im Berichtszeitraum von der Arbeitsgruppe Elektronische Fahrzeugsysteme betreut:

Name	Firma
Dipl.-Ing. Philipp Heck	Volkswagen AG
M.Sc. Ahmed Ragab	WABCO Development GmbH
Dipl.-Ing. Max Schmidt	AUDI AG

2.2 Neue Kollegen

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

2.2.1 Till Menzel

von Till Menzel



Seit Dezember 2014 arbeite ich als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Arbeitsgruppe „Elektronische Fahrzeugsysteme“ am Institut für Regelungstechnik.

Ich komme aus einem gemütlichen Dorf namens „Hohn“ zwischen Kiel und Heide im Herzen Schleswig-Holsteins. Zur Schule gegangen bin ich im nahegelegenen Rendsburg. Während der Abiturzeit besuchte ich bei einem Tag der offenen Tür die Fachhochschule Westküste und geriet dort erstmals mit autonomen Modellfahrzeugen -dort wurden sie „Crazy Cars“ genannt- in Kontakt. Die von Studierenden aufgebauten Autos mussten in möglichst kurzer Zeit eigenständig einen Parcours abfahren. Diese technische Herausforderung hatte mich sofort begeistert und ich begann daraufhin 2008 an der TU Braunschweig mit dem Elektrotechnikstudium.

Während des Bachelorstudiums begann ich im Team CDLC für die Teilnahme am Carolo-Cup mitzuarbeiten und konnte erste praktische Erfahrungen im Bereich autonomes Fahren sammeln. In meiner Bachelorarbeit entwickelte ich unter der Betreuung von Richard Matthaei für das Modellfahrzeug „Carolinchen“ ein Ortungsmodul.

Im Masterstudium wuchsen dann die Maßstäbe der Fahrzeuge. Ich konnte weitere Erfahrungen im Bereich der Lokalisierung in einem sechsmonatigen Praktikum in der Volkswagen-Konzernforschung sammeln. Meine Masterarbeit schrieb ich im Kontext des „Stadtpilot“. Dort entwickelte und evaluierte ich ein Partikelfilter zur Lokalisierung in fahrstreifengenaue Karten.

Am Institut betreue ich die Vorlesung „Fahrerassistenzsysteme mit maschineller Wahrnehmung“. Im Projekt „Dependable Advanced Driver Assistance Systems“ erprobe ich im Kontext des Niedersächsischen Forschungszentrum Fahrzeugtechnik prototypisch eine neuartige Methode für den Test und die Überwachung automatisierter Fahrfunktionen. Die Methode stellt den Betrieb der Fahrfunktion im getesteten Bereich sicher und identifiziert nicht getestete Szenarien. Mein Forschungsschwerpunkt liegt auf dem Test von automatisierten Fahrfunktionen.

2.3 Abgänge

von Andreas Reschka und Fabian Schuldt

2.3.1 Richard Matthaei

Nach etwas mehr als sechs Jahren Zugehörigkeit zur Arbeitsgruppe Elektronische Fahrzeugsysteme hat Richard Matthaei nach erfolgreicher Abgabe und Verteidigung seiner Dissertation nun seinen Weg in die Industrie gefunden. Richard hat uns über diesen Zeitraum in vielen Bereichen unterstützt - in der Lehre, der Verwaltung, dem Schreiben von Anträgen und insbesondere der Forschung in Projekten wie dem Stadtpilot. Nach seinem Weggang haben wir schnell erlebt, dass Richard in vielen Bereichen des Alltags am Institut involviert war und seinen Beitrag geleistet hat. Er hatte besonders nach dem Weggang von Bernd Lichte eine tragende Rolle in der Architektur des Instituts.

Richard, wir wünschen Dir alles Gute für die Zukunft und viel Erfolg dabei, Deine Forschungsergebnisse auch in der Industrie zu etablieren.

2.3.2 Sven Böhme

Sven Böhme ist ein Unikat, das uns in den vergangenen Jahren unglaublich stark unterstützt hat. Sein Weggang hinterlässt eine große Lücke, die wir bisher auch noch nicht füllen konnten. Seine Kreativität, seine Lösungsorientierung und seine praktischen Fertigkeiten suchen seines gleichen. Nur dadurch war es möglich, dass unsere Fahrzeuge und Versuchsträger solch einen hohen technischen Stand und eine ebenso hohe Zuverlässigkeit haben. Wer Sven erlebt hat, weiß, dass er stets gut gelaunt war und immer für ein positives Klima gesorgt hat.

Sven, wir wünschen auch Dir alles Gute für die Zukunft und hoffen Dich noch oft in Wolfsburg und Braunschweig begrüßen zu dürfen!

3 Lehre

3.1 Übersicht

Folgende Veranstaltungen haben wir im vergangenen akademischen Jahr angeboten:

Vorlesungen im Wintersemester 2014/2015	Vortragende
Datenbussysteme	Dr. Grobe J. Rieken
Elektronische Fahrzeugsysteme	Prof. Form
Grundlagen der Elektrotechnik	Prof. Maurer
Oberseminar Elektronische Fahrzeugsysteme	Prof. Maurer

Vorlesungen im Sommersemester 2015	Vortragende
Elektromagnetische Verträglichkeit in der Fahrzeugtechnik	Prof. Form
Fahrerassistenzsysteme mit maschineller Wahrnehmung	Prof. Maurer
Fahrzeugsystemtechnik	Prof. Maurer
Oberseminar Elektronische Fahrzeugsysteme	Prof. Maurer

Labore	Zeitraum
Entwurf von vernetzten eingebetteten Fahrzeugsystemen	WiSe 14/15 SoSe 15
Feldbussysteme in der Automatisierungstechnik	SoSe 15
Vernetzung und Diagnose im Kraftfahrzeug	SoSe 15

3.2 Neues aus der Lehre

3.2.1 Oberseminar

von Torben Stolte

Das Oberseminar „Elektronische Fahrzeugsysteme“ dient dem vertieften wissenschaftlichen Austausch zu aktuellen Themen der Forschung aus den Forschungsfeldern der Arbeitsgruppe Elektronische Fahrzeugsysteme. Es richtet sich vor allem an Doktoranden des Forschungsfelds „Intelligentes Fahrzeug“ des Niedersächsischen Forschungszentrums für Fahrzeugtechnik. Neben diesen steht das Oberseminar auch besonders interessierten Master-Studierenden offen.

Die dreistündigen Termine werden von den Vortragenden frei gestaltet. Dabei werden weniger Frontalvorträge als viel mehr offene Formate gewählt, um so den wissenschaftlichen Diskurs zu fördern. Der Fokus der Vorträge im vergangenen akademischen Jahr lag dabei auf den besonderen Herausforderungen der Fahrzeugautomatisierung, dem wissenschaftlichen Arbeiten sowie den Projekten des Lehrstuhls für elektronische Fahrzeugsysteme.

Das Oberseminar wurde im Wintersemester 2014/2015 und im Sommersemester 2015 angeboten. Den Vortragenden sei herzlich für die

spannenden Beiträge gedankt. Gleichzeitig gilt den Zuhörern Dank für die regen Diskussionsbeiträge.

Vortragende	Thema
Richard Matthaei, Andreas Reschka, Markus Maurer	Zitate, Journalartikel und Konferenzbeiträge
Gerrit Bagschik, Andreas Reschka	Ganzheitliches Sicherheitskonzept für automatisierte Fahrzeuge
Fabian Schuldt, Remo Lachmann, Benjamin Schmidt	Testen
Simon Ulbrich	Kooperation und Verhaltensentscheidung
Michael Darms, Richard Matthaei, Jens Rieken, Simon Ulbrich	Architekturen, Abstraktion und Umfeldmodellierung
Philipp Heck	Notbremsen im Querverkehr
Fabian Schuldt	Chancen und Risiken bei X-in-the-Loop
Peter Bergmiller	Audi piloted driving @ the limit

Tabelle 3.4: Themen des Oberseminars im Wintersemester 2014/2015

Vortragende	Thema
Markus Maurer	Erfolgreiches wissenschaftliches Arbeiten
Richard Matthaei, Andreas Reschka	Zitate, Journals, Konferenzen
Andreas Reschka, Marcus Nolte, Torben Stolte	Quo vadis, Stadtpilot und MOBILE?
Torben Stolte, Gerrit Bagschik	Automatisch fahrerlos fahrendes Absicherungsfahrzeug für Arbeitsstellen auf Autobahnen (aFAS)
Jan Timo Wender	Tracking-Verfahren für Radar
Andreas Reschka	Sicherheit für automatisierte Fahrzeuge
Frank Dierkes	Verständnis der Straßeninfrastruktur als besondere Herausforderung für automatisierte Fahrzeuge im urbanen Raum
Max Schmidt	Dreidimensionale Schätzung von Fahrstreifenbegrenzungen
Mohamed Brahmi	Bewertung der FAS-Umfeldwahrnehmung mit Hilfe von Referenzsystemen
Marcus Nolte	Project CCC

Tabelle 3.5: Themen des Oberseminars im Sommersemester 2015

3.2.2 Das CDLC-Team 2015

vom Team CDLC

Es ist Januar und es sind nicht mehr viele Tage bis zum Carolo-Cup 2015. Wie befürchtet, stehen wir noch vor großen Herausforderungen: Die Bildverarbeitung und die Fahrt auf der freien Strecke scheinen gut zu laufen, doch nach längerem Testen erweist sich unser Carolinchen, diesmal in der 7. Generation, immer wieder als bockig. Völlig uner-

wartet verlässt sie nach einiger Zeit den Kurs und steuert mit voller Geschwindigkeit auf eine Wand zu. Nicht immer ist die Reaktion des Testmannes an der Notfernbedienung schnell genug, sodass schnell ein paar Kratzer und Beulen an der Karosserie sowie abgefahrene Infrarotsensoren zu verzeichnen sind. Schnell ist das Problem erkannt: die Kamera liefert ihre Bilder nicht mehr in Echtzeit, ein Problem, welches bisher in keiner der vorherigen Fahrzeugversionen aufgetreten war. Unsere Programmierer kommen ins Grübeln: Was könnte die Ursache sein, schließlich hat sich an der Schnittstelle zwischen Kamera und unserer Software in den letzten Jahren nichts geändert. Jedenfalls fast nichts, bis auf die Tatsache, dass wir nun einen USB 3.0 Anschluss am PC nutzen, da der neu eingesetzte Barebone-PC keine anderen Schnittstellen mehr besitzt. Die Problemlösung zieht sich über Tage in die Länge und lässt nun so fast jeden im Team verzweifeln. Jeder hatte sich inzwischen mit Lösungsvorschlägen eingebracht. Am Ende half letztendlich die Neuinstallation des Betriebssystems und der bewusste Verzicht auf die mitgelieferten USB 3.0-Treiber. Große Erleichterung macht sich breit, als Carolinchen endlich wieder Runde für Runde zuverlässig ihre Bahnen auf unserem Parcours dreht. Sogar zum Teil fehlende Fahrbahnmarkierungen machen ihr nichts aus.

Wie zu erwarten war, klappt beim ersten Durchlauf auf der Teststrecke des Carolo-Cups dann doch noch nicht alles so reibungslos wie in unserem Testraum. Vor allem die abweichenden Lichtbedingungen zu unserem Testraum erfordern Anpassungen an unseren Einstellungen. So vergehen die ersten 20 Minuten, die unser Team zum Testen auf dem Parcours hat, im Nu und wir ziehen uns wieder zurück, um in Ruhe die Optimierungen vorzunehmen. Bei den folgenden Testläufen klappt die freie Fahrt nun deutlich besser. Auch mit dem Hindernismodus können wir bereits zufrieden sein.

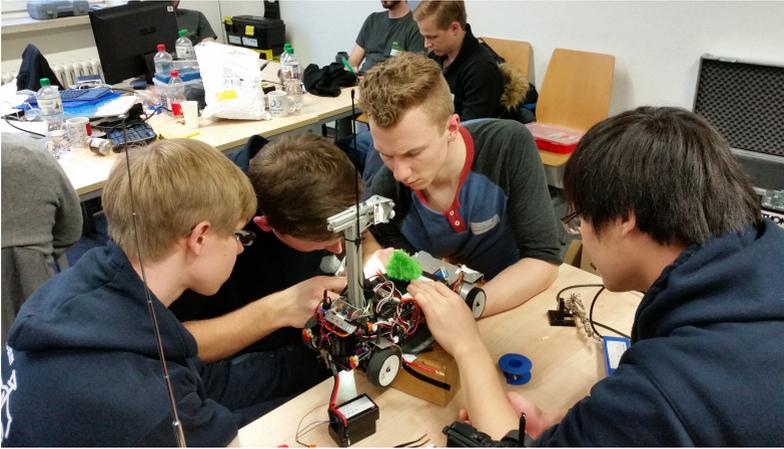


Abbildung 3.1: Das Team CDLC bei den letzten Vorbereitungen für den Carolo-Cup 2015

Der Startschuss zum finalen Lauf des Carolo-Cups erfolgt dann pünktlich am Dienstag um 18 Uhr. Zuerst ist das Einparken dran. Jedes Team hat zwei Versuche, um zu zeigen, dass ihr Auto ohne Kratzer seitlich einparken kann. Nach und nach probieren sich die Teams. Nicht bei allen klappt es reibungslos. So manches Fahrzeug schiebt sich selbst die Lücke etwas zurecht oder findet diese erst gar nicht. Das gibt natürlich Punktabzug. Auch bei uns läuft leider nicht alles nach Plan. Die erst am letzten Testtag neu aufgetretenen Probleme konnten scheinbar nicht ganz gelöst werden. So hakt im ersten Durchlauf bei Carolinchen der Rückwärtsgang und im zweiten Durchlauf demoliert sie die seitlich geparkten Autos. Bei den Tests hatte das wesentlich besser geklappt. Es muss bei Carolinchen wohl etwas Lampenfieber gewesen sein, schließlich verfolgen nicht nur viele Zuschauer vor Ort und per Liveübertragung über das Internet das Event, sondern auch viele Vertreter von Zeitungen, Radio und Fernsehen sind vor Ort. Seit dem Morgen

begleitet uns ein Fernsehteam des NDR auf Schritt und Tritt, woraus am Abend ein dreiminütiger Beitrag in „Hallo Niedersachsen“ wird.

Nach dem Patzer beim Einparken hoffen wir natürlich alle auf die zwei nun folgenden Disziplinen. Als erstes die Freie Fahrt: Carolinchen setzt sich in Bewegung und verlässt souverän die Startbox. Doch was ist das? Nicht in gewohnter Schnelligkeit eines Rennfahrzeugs, sondern eher gemächlich wie bei einem Sonntagsausflug fährt sie über den Parcours. Was ist da los? Haben unsere kurzfristigen Umbauten doch noch ihre Spuren hinterlassen? Später stellte sich heraus, dass im letzten Moment bei all der Hektik leider ein alter Softwarestand den Weg auf das Auto gefunden hatte. Sehr ärgerlich, nun aber nicht mehr zu ändern. Recht enttäuscht waren wir nach diesem Durchlauf, aber auch beeindruckt von den Leistungen der anderen Teams. Wir sind nun etwas im Rückstand und fast schon ohne Hoffnung, doch noch unter die ersten drei Plätze zu kommen, da der Hindernismodus bisher nicht zu unseren Stärken gehörte. Doch dann geht es in dieser Disziplin für uns an den Start, und was wir sehen verduzt uns alle. Mit wenigen Fehlern meistert Carolinchen den Hinderniskurs und kann sich gegen all die Konkurrenz durchsetzen. Ehe wir es uns selbst so richtig gewahr werden, haben wir uns auf den 2. Platz empor gekämpft.

Unser Fazit aus einem Jahr Arbeit ist, dass es im Team sehr gut harmoniert hat und uns Spaß und Freude am Projekt selbst in den letzten, brenzlichen Stunden vor dem Wettbewerb nicht verlassen haben. Allerdings durften wir auch erfahren, dass nicht unbedingt die Lösung eines technischen Problems die größte Herausforderung darstellt, sondern vor allem die Gewährleistung der Qualität und Zuverlässigkeit. Punktgenau für die wenigen Minuten des Wettbewerbs die erforderliche Leistung zu erbringen und sein Können unter Beweis zu stellen, damit hatten sichtbar alle Teams ihre Schwierigkeiten. So hoffen wir, dass



Abbildung 3.2: Die Mitglieder des Team CDLC beim Carolo-Cup 2015

wir für das nächste Jahr hieraus gelernt haben und einiges verbessern können.

Bei einem ersten Konzeptwochenende im April in Wolfsburg haben wir uns bereits mit neuen Ideen für Carolinchen VIII auseinandergesetzt und konnten so frühzeitig ein gutes Konzept auf die Straße stellen. Getrieben von unseren Ideen und einem starken Teamgeist freuen wir uns darauf, in den nächsten Monaten wieder viel Zeit mit Carolinchen zu verbringen.

Aktuelle Informationen zu unserem Team und zum Carolo-Cup sind auf unserer Homepage team-cdlc.de oder auf den Seiten des Carolo-Cups unter carolo-cup.de zu finden.

3.2.3 SummerCamp 2015

von Jan Timo Wendler

Im Zeitraum vom 6. bis 11. September hatte ich in diesem Jahr zum zweiten mal die Aufgabe, mit Kollegen von anderen Instituten das SummerCamp 2015 in Schulenberg (Harz) auszurichten. Neben 22 Studierenden der TU Braunschweig aus den Bereichen Elektrotechnik, Informatik und Maschinenbau nahmen zum vierten Mal auch Studierende des Dynamic Design Labs der Stanford University (USA) teil.

Das SummerCamp ist ein Planspiel, das wir gemeinsam mit den Instituten für Programmierung und Reaktive Systeme (IPS), Verkehrssicherheit und Automatisierungstechnik (IVA) und Softwaretechnik und Fahrzeuginformatik (ISF) sowie Volkswagen durchführen. Die freudigen Gesichter einiger Teilnehmer in Abbildung 3.3 spiegeln die Begeisterung zu Beginn des SummerCamps wieder. Gegen Ende einer anstrengenden, aber auch spannenden Woche im „Haus Schulenberg“, so der Name des Veranstaltungsorts, ist die Erschöpfung einigen Teilnehmer jedoch in Abbildung 3.4 anzusehen.

Inhaltlich durchlaufen die Studierenden den Entwicklungsprozess anhand des V-Modells, welches auch bei großen Automobilherstellern oder Zulieferern Anwendung findet. In drei konkurrierenden Teams wird entsprechend des Modells ein vernetztes, auf mehreren Steuergeräten verteiltes Komfortsystem entwickelt. Ausgangslage ist dabei eine Systembeschreibung, welche die Teilnehmer analysieren und Systemanforderungen extrahieren. Ausgehend von den definierten Anforderungen ist eine Systemarchitektur zu erstellen, welche anschließend in Hard- und Software umgesetzt werden muss. Während der genannten Phasen ist auf die Verbindung zum Testen zu achten. Im abschließenden



Abbildung 3.3: Fleißige Teilnehmer des SummerCamps 2015 mit Freude am arbeiten. Lennart Steinhoff, Marcel Rose und Marvin Schroeder

Abnahmetest wird von den Betreuern die Funktionalität entsprechend der eingangs ausgehändigten Systembeschreibung überprüft.

Ein Schwerpunkt der Veranstaltung ist das selbstorganisierte Arbeiten der einzelnen Teams. Zudem werden die Teilnehmer durch die Konkurrenz zwischen den Teams und durch die unterschiedlichen Fortschritte gefordert. Ergänzt wird das Ganze zusätzlich durch Einlagen, in denen die Studierenden zum Beispiel innerhalb von kurzer Zeit ihren aktuellen Projektstatus vorstandsgerecht präsentieren müssen.

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



Abbildung 3.4: Teilnehmer und Betreuer nach Abschluss des SummerCamps 2015

die verschiedenen Aspekte der einzelnen Phasen und die im SummerCamp verwendeten Tools vorgestellt, die auch in der Automobilindustrie standardmäßig eingesetzt werden. Erstmals war auch die Firma SymtaVision vertreten, die die im SummerCamp behandelten Themen um den Bereich der Architekturanalyse erweiterte.

In diesem Jahr durften wir zum vierten Mal Studierende der Stanford University begrüßen. Die Teilnahme der englischsprachigen Gäste hatte in den letzten Jahren das SummerCamp bereichert und die komplette Durchführung in Englisch mit sich gebracht. Die positive Rückmeldung der letzten Jahre wurde erneut durch alle Teilnehmer bestätigt. Die drei Studierenden des Dynamic Design Labs wurden dabei so aufgeteilt, dass jeweils ein englischsprachiger Student pro Gruppe vertreten war. Die anfängliche Scheu der deutschen Teilnehmer, Englisch zu sprechen, war schnell überwunden. Insgesamt resultierte die Teilnahme in positiver Rückmeldung 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 sowohl von unserer Seite aus als auch auf Grund des Feedbacks der Studierenden für das diesjährige SummerCamp ein positives Fazit gezogen werden. Ganz herzlich bedanken wir uns bei allen Referenten, bei den unterstützenden Unternehmen, die uns die Räumlichkeiten und die Werkzeuge zur Verfügung gestellt haben sowie bei den beteiligten Instituten.

Persönlich möchte ich mich besonders bei den Kollegen aller beteiligten Institute für die von mir als sehr positiv empfundene Zusammenarbeit bedanken und wünsche uns bereits jetzt ein erfolgreiches zehntes SummerCamp im Sommer 2016!

3.2.4 Stanford students at the SummerCamp 2015

von Tushar Goel, Vincent Laurence and Vivian Zhang

Every year since 2011, the Dynamic Design Lab at Stanford sends students to Germany to participate in SummerCamp, organized by Technische Universität Braunschweig and supported by Volkswagen. The previous year's participants had hinted that SummerCamp was both fun and a great learning experience, but otherwise remained silent on the details of the workshop. So, we took the train to Braunschweig not knowing what to expect in the coming week.

Upon arriving in Braunschweig, we were fortunate enough to experience Magnifest, an annual celebration located in the old town district. We met Jan Timo Wendler, a PhD candidate at TU Braunschweig, who took us to explore the festival. We sampled German street food and visited local bars, all the while enjoying the fun atmosphere and the live music.



Abbildung 3.5: Tushar Goel, Vincent Laurence and Vivian Zhang at the banks of the Oker River.

The next day, Jan Timo gave us a tour of some of the highlights and history of the city, and then we headed to TU Braunschweig to see the facilities for automotive control engineering. We met MOBILE, a student-built vehicle which can be used for studying advanced vehicle dynamics, and Leonie, an autonomous vehicle with state-of-the-art perception technology. Then, we headed towards the Harz Mountains for Haus Schulenberg, briefly stopping to enjoy the views of the Oker River, figure 3.5.

Three teams were formed at SummerCamp, each with one Stanford student and seven to eight students from Braunschweig. The groups were comprised of students from a variety of technical backgrounds,

simulating a small group in an industry setting. The goal was to start with a project description and, by the end of the week, have tested a working product. Lecturers from all areas of the industry came to speak and advise us on topics ranging from specific tools such as AUTOSAR, MATLAB Stateflow, and Symptavision to broader topics such as working in industry and effectively using the V-model. We had the opportunity to implement firsthand what we had learned from the lectures. We also refined technical presentation skills by reporting our progress regularly, getting quick and thorough feedback from the organizers throughout the project. The teams were taught the importance of effective communication with the clients and to work together to build a final, working product.

Before we left the city, many of our new friends took us for a final night out in Braunschweig, enjoying good food and company before the long trip home. We went home with new skills and new perspectives - we are all looking forward to the next opportunity to meet!

3.2.5 Vorlesung Fahrerassistenzsysteme

von Till Menzel

Auch in diesem Sommersemester fand wieder die Vorlesung „Fahrerassistenzsysteme mit maschineller Wahrnehmung“ statt. Dazu luden wir die Studierenden an den Standort des Niedersächsischen Forschungszentrums Fahrzeugtechnik am Mobile Life Campus in Wolfsburg ein.

Das wachsende Interesse der Studierenden an den Inhalten der Veranstaltung führte zu einem großen Andrang auf die Vorlesungsplätze, sodass unsere Raumkapazitäten schnell erschöpft waren. Um trotzdem allen interessierten Münchner und Braunschweiger Studierenden die Möglichkeit zu geben, die Vorlesung zu verfolgen, wurde die Veranstal-



Abbildung 3.6: Die Fahrerassistenzvorlesung am Standort Wolfsburg

tung dieses Jahr erstmals mittels eines Livestreams an die TU München und in einen Hörsaal nach Braunschweig übertragen.

Auch dieses Jahr wurde die Vorlesung tatkräftig von der Volkswagen AG unterstützt. Nach den positiven Erfahrungen der letzten Jahre hatten die Studierenden wieder die Möglichkeit, neuartige Fahrerassistenzsysteme auf Testfahrten eigenständig zu erleben. Dazu stellten die Forschungsabteilung für Fahrerassistenz und integrierte Sicherheit sowie die Abteilung für Fahrzeugprojekte aus der Forschung Elektronik und Fahrzeug mehrere Versuchsträger (Audi A6, VW T5, VW Passat) zur Verfügung. Mitarbeiter der Fachabteilungen sowie Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik erklärten den Studierenden vor Fahrtantritt die verbauten Assistenzsysteme wie Adaptive Cruise Control,

Toter-Winkel-Assistent und Spurhalteassistent. Im Anschluss konnten die Studierenden auf den Fahrten von Braunschweig nach Wolfsburg die verbauten Systeme erproben und das theoretische Wissen mit praktischen Erfahrungen untermauern.

Zusätzlich zu den Erprobungsfahrten hatten die Studierenden das dritte Jahr in Folge die Möglichkeit, an einer Exkursion zur Robert Bosch GmbH nach Hildesheim teilzunehmen. Dort erhielten die Studierenden einen Einblick in aktuelle Forschungsthemen der Firma. Neben Demonstrationen u.a. zum Fahrerarbeitsplatz, zu Videosensorik und zu autonomen Robotersystemen gab es Informationen zu möglichen Abschlussarbeiten und einem Berufseinstieg bei Bosch. Die Exkursion wurde von den Studierenden rundum positiv aufgenommen. Vor allem die Informationen zu Abschlussarbeiten und dem Berufseinstieg führten zu vielen interessierten Nachfragen und Gesprächen.

3.2.6 Vorlesung Fahrzeugsystemtechnik

von Gerrit Bagschik

Die Vorlesung „Fahrzeugsystemtechnik“ (ehemals Elektronische Fahrzeugsysteme II) war im Sommersemester 2015 deutlich zahlreicher besucht als in den Vorjahren. Die Anzahl der Teilnehmer ist von durchschnittlich 25 auf knapp 60 Studierende aus den Studiengängen (Wirtschaftsingenieurwesen-)Elektrotechnik, Elektromobilität, Elektronische Systeme in Fahrzeugtechnik, Luft- und Raumfahrt und Informatik gestiegen. Der Zuwachs ist durch die Einführung der neuen Studiengänge Elektromobilität und Elektronische Systeme, aber vermutlich auch durch das Interesse der Öffentlichkeit an automatisierten Fahrzeugsystemen zu erklären. Nicht nur der überfüllte Institutshörsaal musste gegen einen Raum im Hauptgebäude der TU Braunschweig getauscht werden, auch die praktische Übung wurde noch zu einem

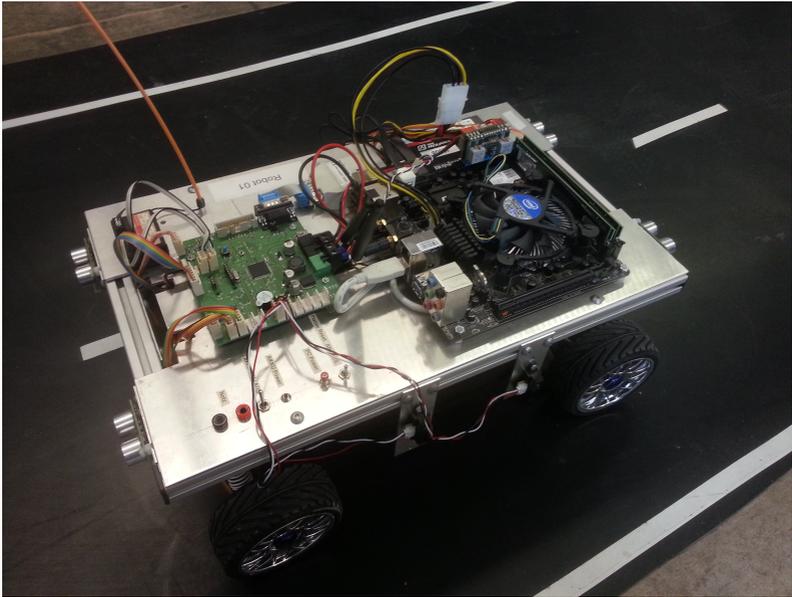


Abbildung 3.7: Versuchsträger der Übung Fahrzeugsystemtechnik

zusätzlichen Termin angeboten. Somit konnten alle Teilnehmerinnen und Teilnehmer mit elektronisch ansteuerbaren 1:8 Fahrzeugmodellen (Abbildung 3.7) einen automatischen Einparkvorgang konzipieren und implementieren.

Auch in diesem Semester ist es nahezu allen Gruppen gelungen die Fahrzeuge mit sehr unterschiedlichen Konzepten in Sensorik und Software erfolgreich zwischen Pappkartons einparken zu lassen. Eine Neuerung der Fahrzeugmodelle in diesem Semester war, dass die Studierenden die Sensorik bestehend aus zwei Kurzstrecken-Infrarotsensoren, vier Langstrecken-Infrarotsensoren und vier Ultraschallsensoren selbst am Fahrzeug montieren und somit das Sensorkonzept individuell wählen konnten. Das Feedback der Studierenden zur praktischen Übung

war durchweg positiv und wurde als gute Ergänzung zur Vorlesung empfunden.

3.2.7 Seminar Hochvoltsicherheit

von Bernd Amlang

Was ist Hochvolt?

Die Elektromobilität, einhergehend mit zunehmender Elektrifizierung und Hybridisierung der Antriebskonzepte von Fahrzeugen, führt dazu, dass verstärkt Hochvoltsysteme im Fahrzeug eingesetzt werden. In diesen Fahrzeugen sind Komponenten verbaut, die mit Spannungen oberhalb von 60 V DC oder 25 V AC betrieben werden. Die Komponenten arbeiten mit Gleichspannungen bis zu 650 V.



Abbildung 3.8: Achtung Hochvolt! Bildrechte: TAK, Bonn

Gefahren für den Menschen

Die größte Gefahr beim Umgang mit Hochvoltsystemen ist, wie der Begriff schon impliziert, die hohe Spannung. Im menschlichen Körper werden sämtliche Bewegungen durch elektrische Steuermechanismen ausgelöst. Alle Muskelreaktionen, wie Herzschlag oder Zwickern, werden über elektrische Reize gesteuert. Beim Berühren von spannungsfüh-

renden HV-Komponenten kann es zum Stromfluss über den menschlichen Körper kommen. Schon bei Gleichströmen ab etwa 30 mA können in Abhängigkeit von der Durchströmungsdauer vorübergehende Störungen der Herzimpulse auftreten. Bei noch höheren Körperströmen treten zusätzlich schwere innere Verbrennungen auf und es kann unter Umständen zu Herzkammerflimmern kommen. Bei Kurzschluss der beiden Pole eines elektrischen Systems besteht zudem die Gefahr der Lichtbogenbildung. Dies kann beim menschlichen Körper zu schweren äußeren Verbrennungen und zu einem Verblitzen der Augen führen.

Forschungsfahrzeug MOBILE

Im Projekt MOBILE ist am Institut für Regelungstechnik ein vollelektrisches und flexibles Versuchsfahrzeug aufgebaut worden. Das Ziel des Fahrzeugs ist die Schaffung einer leistungsfähigen Versuchsplattform zur Erprobung elektronischer Fahrzeugsysteme und fahrdynamischer Regelsysteme sowie die Ausbildung von Studierenden im Bereich Elektromobilität.

Arbeitssicherheit ist Hochvoltsicherheit!

Um die vom Gesetzgeber vorgeschriebene Arbeitssicherheit für die Mitarbeiter und Studierenden zu gewährleisten, wurde das elektrische Sicherheitskonzept beim Betrieb und beim Arbeiten am Versuchsfahrzeug an industrielle Standards angepasst. Neben technischen Änderungen am Fahrzeug sind die folgenden Eckpfeiler jedes Sicherheitskonzeptes erforderlich: die Gefährdungsbeurteilung und die sich daraus ergebene Betriebsanweisung, die Qualifikation der Mitarbeiter sowie die Ausbildung in Erster Hilfe. Vier Mitarbeiter unseres Instituts haben Anfang des Jahres an einer Qualifizierungsmaßnahme teilgenommen. Sie kennen sich nun mit der Organisation von Sicherheit und Gesundheit bei

elektrotechnischen Arbeiten aus und dürfen auch unter Spannung am Versuchsfahrzeug arbeiten.

Hochvoltsicherheit im Kraftfahrzeug (Seminar)

Schnell war die Idee geboren, das erworbene Wissen zu erhalten und anderen Personen zugänglich zu machen. Als potenzielle Zielgruppen sind hier Studierende in unserer Arbeitsgruppe, die Mitglieder vom Lions Racing Team und nicht zuletzt Mitarbeiter aus anderen Instituten zu nennen. Als Lehrveranstaltungsform wurde das Seminar ausgewählt, da es flexibler bezüglich der Gestaltung zwischen theoretischer und praktischer Wissensvermittlung ist.

Inhalte des Seminars

Neben theoretischen Themen wie elektrische Gefährdung, Fach- und Führungsverantwortung werden auch praktische Übungen wie Freischalten, Überprüfen der Spannungsfreiheit und Tauschen von Batteriezellen bearbeitet. Nach Abschluss der Lehrveranstaltung besitzen die Studierenden das Wissen, welches sich aus den Qualifizierungsmaßnahmen QM2b+3a der DGUV Information 200-005 für Arbeiten an Fahrzeugen mit Hochvoltsystemen ergibt. Sie haben insbesondere ein Verständnis für die elektrische Gefährdung beim Einsatz von HV-Systemen in Fahrzeugen entwickelt. Die sich daraus ergebende Organisation von Sicherheit und Gesundheit bei elektrotechnischen Arbeiten haben die Studierende kennen und anwenden gelernt.

Stand der Vorbereitungen

Die Veranstaltung ist ins Modulhandbuch aufgenommen und wird im WS 2015/16 zum ersten Mal stattfinden. Die Ausarbeitung des theoretischen Teils befindet sich zurzeit in der Endphase. Im Anschluss erfolgt

die Umsetzung der praktischen Übungen. Ich bin gespannt, was mich im Seminar Hochvoltsicherheit erwartet.

3.2.8 Seminarvorträge

von Marcus Nolte

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 2014/2015

- Das Partikel-Filter zur Zustandsschätzung mit Radarmessungen, Christopher Karberg
- Stand der Forschung: Execution Monitoring in der Robotik, Thomas Holleis
- Stand der Forschung: Hochdynamisches automatisiertes Fahren, Norman Bangemann
- Stand der Forschung: Umgesetzte Konzepte für automatisierte Fahrstreifenwechsel bei Straßenfahrzeugen, Viktor Erstein
- Stand der Technik in der Selbstwahrnehmung und -repräsentation von mobilen Robotern und Fahrzeugen, Marvin Schwarz
- Von Kartendaten zu Navigationssystemen, Fabian Lange
- Funktionsbeschreibung von hoch- und vollautomatisierten Assistenzsystemen, Kai Vollprecht
- Multi-User-Simulationen, Sebastian Stubba

- Stand der Technik/Forschung: Aktuelle Verfahren zur automatisierten Kamerakalibrierung, Henrik Walter

Sommersemester 2015

- Risiken bei „Keyless Go“-Systemen, Christian Körner
- Stand der Forschung: Stabilitätsregelung für überaktuierte Fahrzeuge, Lennart Steinhoff
- Methodiken zum Vergleich von unterschiedlichen Trackingansätzen, Daniel Heidorn
- Chancen & Risiken der Vernetzung im Automobil am Beispiel des BMW Connected Drive, Kristin Trube
- Stand der Technik: Verfahren zur Bestimmung von Latenzen in Multisensor-Systemen, Sven Pullwitt
- Stand der Technik: Verfahren zur Fusion zeitlich ungeordneter Sensordaten, Tim Lampe
- Stand der Technik: Echtzeitfähige Bildverarbeitungsalgorithmen am Beispiel von Merkmalsextraktions- und -matchingalgorithmen, Wibke Moeller
- Stand der Forschung: Visuelle Odometrie, Fabian Brickwedde

3.2.9 Neue Studiengänge

von Gerrit Bagschik:

Im Wintersemester 2014/2015 wurden zum ersten Mal die Masterstudiengänge *Elektromobilität* (EMOB) und *Elektronische Systeme in Fahrzeugtechnik, Luft- und Raumfahrt* (ES) angeboten. Beide Studiengänge sind interdisziplinär konzipiert. Sie richten sich an Absolventen eines Bachelorstudiengangs der Elektrotechnik, des Maschinenbaus, der Informations-Systemtechnik, der Informatik oder einem fachlich eng verwandten Studiengang. Die Elektronischen Systeme bieten den Studierenden eine kombinierte Betrachtung von elektronischen Fahrzeug-, Luft- und Raumfahrtsystemen. Die thematische Ausrichtung ist sehr forschungsnah, sodass das Studium insbesondere zu eigener Forschung im Rahmen einer Dissertation in der Elektrotechnik oder Informationstechnik befähigt. Der Studiengang Elektromobilität bildet die Studierenden zu Spezialisten der Elektromobilität mit interdisziplinären Kenntnissen im Bereich der elektrischen Systeme, Fahrzeugtechnik sowie Energiespeichern und Infrastruktur aus. Durch die Ausbildung sollen die Studierenden befähigt werden, in leitender Position in den Forschungs- und Entwicklungsabteilungen energietechnischer bzw. fahrzeugtechnischer Unternehmen tätig zu sein. Das Institut für Regelungstechnik ist in den Bereichen *Automotive Systems Engineering* (ES) und *Elektrische Systeme* (EMOB) mit Lehrangeboten vertreten. Nach dem Modulhandbuch beider Studiengänge werden die Veranstaltungen Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) in der Fahrzeugtechnik, Elektronische Fahrzeugsysteme, Fahrzeugsystemtechnik, Fahrerassistenzsysteme mit maschineller Wahrnehmung, Datenbussysteme, das Oberseminar Elektronische Fahrzeugsysteme und das Hochvoltseminar angeboten. Laut Studienstatistik der TU Braunschweig sind im Sommersemester 2015 21 Studierende in Elektromobilität und 14 Studierenden in

Elektronische Systeme in Fahrzeugtechnik, Luft- und Raumfahrt eingeschrieben. Mit 7, respektive 10 ausländischen Studierenden stoßen diese Studiengänge auch auf ein reges Interesse im Ausland. Das Institut begrüßt alle Studierenden in den neuen Studiengängen und wünscht ein erfolgreiches Studium.

3.2.10 Industriepraktika

von Markus Maurer

Bei der Reakkreditierung der Studiengänge Elektrotechnik und Wirtschaftsingenieurwesen Elektrotechnik haben die Gutachter empfohlen, dass zukünftig auch die Industriepraktika von den Professorinnen und Professoren der Fakultät wissenschaftlich betreut werden sollten. Entsprechend sieht eine neue Regelung in diesen Studiengängen vor, dass sich Studierende eine Praktikumsstelle und entsprechend dazu einen passenden wissenschaftlichen Betreuer suchen. Sollten die Studierenden bei der Suche nach einem Betreuer erfolglos bleiben, ist ihr Mentor in der Pflicht, eine passende Betreuung zu organisieren oder selbst zu übernehmen.

Seit einigen Monaten sammeln wir erste Erfahrungen mit dieser Regelung. Positiv fällt auf, wie vielfältig die Praktika sind, die die Studierenden absolvieren. Diese Vielfalt spiegelt auch die vielseitigen Einsatzmöglichkeiten unserer Absolventen wider. Daher überrascht es auch nicht, dass es für viele Praktika keine einschlägig forschenden Betreuer an der TU Braunschweig gibt, selbst wenn wir die Kollegen anderer Fakultäten, wie bereits geschehen, in die Betreuung einbeziehen. Konsequenterweise kam die Mentorenregelung bei uns schon mehrfach zum Einsatz.

Wir werden aufmerksam verfolgen, wie sich die neue Regelung bewährt. Sie bietet Potenzial zu weiterer Vernetzung mit Industrieunternehmen und Kollegen; sie erzeugt weitere persönliche Kontakte mit unseren Studierenden. Allerdings sollten die Institute auch hinreichend kompetent sein, die fachliche Betreuung zu übernehmen. Wir werden daher im kommenden Wintersemester eine Datenbank mit unseren Industriepartnern aufbauen, in der Studierende Ansprechpartner für einschlägige Praktika in unserem Forschungsgebiet finden können.

3.3 Studentische Arbeiten

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

Balkan, B.: *Entwurf und Implementierung eines Systems zur fertigungsbaasierten Selbstrepräsentation für flexible Fahrzeuge*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Masterarbeit, 2014

Beith, S.: *Untersuchung zur Aktuator-Fehler-Kompensation unter Verwendung von Lenkungs- und Antriebseingriffen*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Masterarbeit, 2014

Böttger, W.: *Entwurf und Implementierung von Verfahren zur Klassifikation von Objektsegmenten aus laserbasierten Umfeldsensoren*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Masterarbeit, 2015

Dörflinger, A.: *Die FPGA Architektur im Datenlogger extended Car Telematic (eCaTe)*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Masterarbeit, 2015

Ehinger, P.: *Entwurf und Implementierung einer optimalen Einparkstrategie für ein überaktuiertes Drive-by-Wire Fahrzeug unter Berücksichtigung von Umfeldrandbedingungen*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Masterarbeit, 2015

Erkenbrecher, S.: *Untersuchung des Einflusses der Reifenlaufflächentemperatur auf die wesentlichen Fahreigenschaften von Personenkraftwagen mit Hilfe einer zu entwickelnden einfachen optischen Messtechnik*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Masterarbeit, 2015

Freier, A.: *Strategien zur Auswahl optimaler Einparktrajektorien unter Berücksichtigung der Fertigkeiten des Eigenfahrzeugs*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Masterarbeit, 2014

Ge, J.: *Untersuchung der Eignung von Laser-Doppler-Vibrometermessungen für den Entwicklungs- und Applikationsprozess von Ultraschallsystemen im Automobilbereich*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Masterarbeit, 2014

Haage, T.: *Entwicklung und Implementierung einer Toolkette zur Sicherheitsanalyse sich dynamisch ändernder Systeme*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Bachelorarbeit, 2014

Jiang, H.: *Implementierung und Bewertung einer Schätzung der Eigenbewegung für den Versuchsträger Mobile*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Masterarbeit, 2015

Karberg, C.: *Multiobjektbasierte Fahrstreifenverfolgung in urbaner Umgebung*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Masterarbeit, 2015

- Konrad, J.: *Konfiguration eines statischen Fahrstimulators zur Durchführung von Driver-in-the-loop-Simulationen für den Test von Fahrerassistenzsystemen*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Bachelorarbeit, 2015
- Köster, T.: *Kamerabasierte Erkennung und Klassifikation von Fahrzeugen für den Einsatz in automatisierten Straßenfahrzeugen*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Bachelorarbeit, 2015
- Lackmann, P.: *Evolution von Steuergerätesoftware von AUTOSAR Version 3.1 auf Version 4.0 am Beispiel vernetzter Komfortsteuergeräte*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Masterarbeit, 2014
- Lepke, R.: *Modellierung des dynamischen Verhaltens parallel und singular versorgter Fahrzeugbordnetze*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Masterarbeit, 2015
- Nee, M.: *Weiterentwicklung und Integration eines Batterie-Balancing-Systems in einen By-Wire-Versuchsträger*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Bachelorarbeit, 2014
- Philipp, R.: *Implementierung einer Toolkette zur Verifikation modellbasierter Software*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Bachelorarbeit, 2015
- Reimers, D.: *Portierung einer modellbasierten Steuergeräte-Entwicklungsumgebung*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Bachelorarbeit, 2014
- Sattelmaier, D.: *Entwurf und Implementierung eines Algorithmus zur Parklückendetektion auf Basis von Laserentfernungsmessungen*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Bachelorarbeit, 2015

- Schomburg, A.: *Extraktion von Straßen- und Kreuzungsanordnungen aus Belegungsgittern*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Bachelorarbeit, 2015
- Semrau, M.: *Entwicklung eines Verfahrens zur Identifikation von ausgewählten Verkehrssituationen aus dem chinesischen Großstadtverkehr zur Bewertung von Fahrerassistenzsystemen*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Masterarbeit, 2015
- Shi, G.: *Entwurf und Implementierung eines modularen Batterie-Balancing-Systems für ein Elektroversuchsfahrzeug*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Masterarbeit, 2014
- Twenhövel, S.: *Konzeption und prototypische Implementierung eines Fahrerassistenzsystems zur Vermeidung von Fußgängerunfällen durch einen automatischen Lenkeingriff*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Masterarbeit, 2014
- Ulucak, E.: *Implementierung eines Verfahrens zur Fehlererkennung multipler Lidar-Sensoren für den Einsatz in automatisierten Straßenfahrzeugen*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Bachelorarbeit, 2015
- Walz, A.-M.: *Kamerabasierte Erkennung und Klassifikation von Verkehrszeichen für den Einsatz in automatisierten Straßenfahrzeugen*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Bachelorarbeit, 2014

3.4 Prüfungen am Institut

Im Berichtszeitraum wurden folgende Prüfungen abgelegt:

Name des Fachs	Anzahl der Prüfungen	Durchschnitts- note
Datenbussysteme	54	2,7
Elektromagnetische Verträglichkeit	56	2,5
Elektronische Fahrzeugsysteme	97	2,5
Fahrzeugsystemtechnik	35	2,5
Fahrerassistenzsysteme mit maschi- neller Wahrnehmung	28	2,4
Grundlagen der Elektrotechnik	189	3,4
Oberseminar	3	k. A.

Tabelle 3.6: Anzahl der Prüfungen im Rahmen unserer Lehrveranstaltungen.

4 Berichte aus der Forschung

4.1 Autonomes Fahren und Fahrerassistenz

4.1.1 Stadtpilot

von Simon Ulbrich

Im Rahmen des ausschließlich aus Mitteln von Instituten der Technischen Universität Braunschweig geförderten Projekts Stadtpilot wird das automatisierte Fahren in urbanen Umgebungen erforscht. Neben dem Institut für Regelungstechnik mit Professor Markus Maurer und dem Institut für Flugführung mit Professor Peter Hecker der Technischen Universität Braunschweig ist als weiterer Partner das Institut für Verkehrssystemtechnik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt mit Professor Karsten Lemmer am Projekt beteiligt.

Im letzten Jahr wurden zahlreiche Verbesserungen an den Algorithmen und am Versuchsträger selbst vorgenommen. Schlüssel zu neuen Fähigkeiten und Fertigkeiten beim automatisierten Fahren in Städten ist eine umfassende Umfeldwahrnehmung. Hier wurden im Berichtszeitraum umfassende Weiterentwicklungen und Verbesserungen erreicht. Darüber hinaus wurden Detailverbesserungen im Gesamt Ablauf des automatisierten Fahrens umgesetzt, so dass sich auch für nicht technisch fokussierte Mitfahrer ein besseres Gesamtfahrerlebnis ergibt.

Der Stadtpilot war in diesem Jahr wieder Aufhänger für eine Vielzahl an Beiträgen in den Medien. So gab es Fernsehbeiträge über Leonie



Abbildung 4.1: Leonie beim Dreh für den Beitrag des Hessischen Rundfunks

beim Hessischen Rundfunk in der Sendung *alles Wissen* (siehe Abbildung 4.1), mit Cornelius-Film für die Sendung *Echtzeit* auf RTL II sowie Fernsehbeiträge im Rahmen des Demografiekongress des Landes Niedersachsen. Darüber hinaus wurde über das Projekt Stadtpilot bei den Radiobeiträgen in der Sendung *Radiozeit* von BR2 und pünktlich zum 5-jährigen Jubiläum der Fahrten im öffentlichen Straßenverkehr in der Sendung *Zeitzeichen* auf WDR 5 berichtet.

Umfeldwahrnehmung

von Jens Rieken

Im vergangenen akademischen Jahr wurden für das Projekt Stadtpilot wichtige Fortschritte im Bereich der Umfeldwahrnehmung gemacht.

Ausgehend von gewonnenen Erfahrungen im bisherigen Verlauf des Projekts war und ist es das Ziel aktueller Arbeiten, die Fahrfunktion von Leonie auf Basis von On-Board-Sensorik aufzubauen. Hierdurch soll die Fahrfunktion nicht mehr von der Verfügbarkeit hochgenauer digitaler Karten und einer satelliten-basierten Ortung abhängig sein. Hochgenaue Kartendaten bergen das Problem der Aktualität und Integrität. Im vergangenen Jahr wurden auf dem Stadtring viele Streckenabschnitte erneuert oder bearbeitet, um die Verkehrsführung zu verbessern. Durch die Baustellen und veränderte Fahrstreifenverläufe müssten die Karten für einen alltäglichen Einsatz von Leonie mehrmals pro Woche aktualisiert werden. Weiterhin ist die satelliten-basierte Ortung stark abhängig von der Verfügbarkeit und Sichtbarkeit der Satelliten am Himmel. Beispielsweise sind enge und mit Bäumen verdeckte Straßenschluchten, wie sie im westlichen Ringgebiet von Braunschweig vorhanden sind, prinzipbedingt nur unter optimalen Empfangsbedingungen befahrbar.

Daher befassen sich aktuelle Arbeiten mit der Umsetzung von neuen Konzepten auf Basis des Velodyne HDL-64-S2 Laserscanners, der die Rolle eines prototypischen Sensorsystems einnimmt. Die entwickelten Ansätze und Algorithmen sind prinzipiell ebenfalls für seriennähere Sensorsysteme verwendbar. Der Velodyne-Laserscanner liefert pro Umdrehung ca. 130.000 Messpunkte bei einer Rotationsfrequenz von 10 Hz. Hierbei generiert er eine 3D-Punktwolke, die sowohl die Straßenoberfläche um den Versuchsträger als auch Messungen von erhabenen Elementen (z. B. andere Verkehrsteilnehmer oder Häuser am Wegesrand) enthält und somit eine umfassende Abbildung des Fahrzeugumfelds generiert und eine große Datenbasis zur Merkmalsextraktion bietet. Nachdem im Vorjahr der Fokus auf der Herstellung von Basisfunktionalitäten lag, wurden in der aktuellen Phase weitere Komponenten und Algorithmen integriert, um eine umfassendere Repräsentation der Fahr-

zeugumgebung zu erhalten. Einige hiervon werden in den folgenden Absätzen vorgestellt.

Das Umfeld des Fahrzeugs enthält drei wesentliche Bestandteile, die im Projekt mit unterschiedlichen Ansätzen erfasst, verarbeitet und repräsentiert werden: Die Fahrbahnoberfläche beschreibt den befahrbaren Bereich, welchen das Fahrzeug von seiner aktuellen Position kollisionsfrei erreichen kann. Die übrigen beiden Bestandteile sind die statischen und dynamischen Hindernisse, die im allgemeinen nicht passierbar sind und daher zur kollisionsfreien Trajektorienplanung ausgewertet werden.

Um Messungen von der Bodenoberfläche von denen anderer Ziele unterscheiden zu können, werden neue Klassifikationsalgorithmen untersucht. Üblicherweise wird hierbei das Ziel verfolgt, die Messungen von der Bodenoberfläche als Fehlziele zu erkennen und von der weiteren Verarbeitung der erhobenen Elemente auszuschließen (vgl. u.a. Arbeiten von Jaebum Choi (Choi u. a., 2013)). Die Messungen von der Bodenoberfläche enthalten jedoch wichtige Merkmale, die für eine vollständige Umfeldrepräsentation wertvoll sind. Aus diesem Grund wurde im Stadtpilot eine explizite Repräsentation der Fahrbahnoberfläche eingeführt. Erste Ideen sind bereits in der Umsetzung des Reflektanzgitters vorhanden, welches beispielsweise zur Extraktion von Fahrstreifenmarkierungen verwendet wird (Matthaei u. a., 2014). Ergänzend hierzu wurde im letzten Jahr die Schätzung des Fahrbahnhöhenprofils umgesetzt. Dies ermöglicht uns neben einer verbesserten Klassifikationsleistung auch eine bodenrelative Höhenschätzung von erhobenen Elementen, welche sowohl zur Bestimmung von Objekthöhen als auch zur Klassifikation von Bordsteinen verwendet werden kann. Über die Klassifikation als Bodenpunkte kann weiterhin die Sichtbarkeit der Fahrbahnoberfläche abgeleitet und zur Freiraumbeschreibung verwendet werden.

Die Ergebnisse dieser Arbeiten sind in Rieken u. a. (2015a) erfolgreich veröffentlicht worden.

Zum Aufbau eines solchen Höhenprofils werden die Punkte zunächst mit einem der bisher üblichen Algorithmen vorklassifiziert. Die als Bodenpunkte klassifizierten Daten werden in einem zweiten Schritt mit ihrer Höheninformation in ein Gittermodell eingetragen. Innerhalb einer Zelle wird der Mittelwert der eingetragenen Höhenwerte gebildet, wodurch das Gitter eine Näherung des Höhenprofils um das Fahrzeug enthält. In einem letzten Schritt wird ein modifizierter Median-Filter eingesetzt, um einzelne Fehlklassifikationen auszugleichen und gleichzeitig Zellen ohne Höhendaten auf Basis ihrer Nachbarzellen mit einer Schätzung der Höhe zu versehen (s. Abbildung 4.2). Auf Basis dieses Gitters werden im letzten Schritt alle Punkte der Messung bzgl. ihrer Distanz zum geschätzten Boden als *Boden* oder *erhaben* klassifiziert.

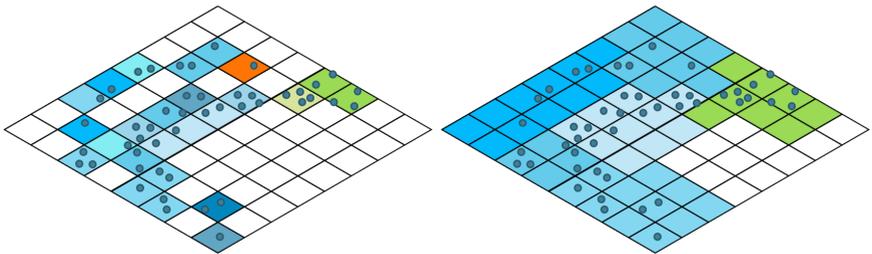


Abbildung 4.2: Prinzip der Höhenprofilanschätzung durch ein Gittermodul. Unterschiedliche Zellfarben entsprechen unterschiedlichen sensorrelativen Höhenwerten.

Links: Eintragung vorklassifizierter Messungen

Rechts: Ergebnis nach Einsatz des erweiterten Medianfilters

Ein weiteres Arbeitspaket war die Erweiterung der Dynamikklassifikation zur Trennung zwischen stationären und sich bewegenden Bestandteilen der Fahrzeugumgebung. Die Verwendung eines konsistenz-

basierten Ansatzes wurde bereits vorgestellt, um eine solche Trennung zu erreichen (Matthaei u. a., 2011). Auf Grundlage dieser Arbeiten wurde ein Konsistenzgitter umgesetzt und erfolgreich zur Bestimmung der Dynamikeigenschaften verwendet. Besonderes Augenmerk lag dabei auf der Unterstützung von kurzzeitig haltenden Fahrzeugen, beispielsweise Fahrzeugen an Kreuzungen mit Lichtsignalanlagen. Durch die Einbindung von Informationen über bereits stabil verfolgte Objekte konnte eine geeignete Klassifikation erreicht werden, um auch anhaltende Fahrzeuge weiterhin als dynamische Objekte zu erfassen. Diese und viele weitere Weiterentwicklungen unserer Umfeldwahrnehmung wurden in Rieken u. a. (2015b) veröffentlicht.

Der aktuelle Stand der Umfeldwahrnehmung ist für eine innerstädtische Szene in Abbildung 4.3 dargestellt. Im Dezember des letzten Jahres absolvierte eine erste Version dieser Algorithmen die Freigabetests auf unserem Testgelände am Campus Süd. Anfang September konnte eine weitere, in ihrer Wahrnehmungsleistung und Stabilität verbesserte, Version diese Freigabetests erfolgreich absolvieren. Ein Stand mit den Verbesserungen in der Wahrnehmung ist somit für den Betrieb im öffentlichen Verkehr freigegeben und wird bereits aktiv für Erprobungsfahrten eingesetzt. Aktuell werden weitere Optimierungen und Verbesserungen intensiv getestet und in das Gesamtsystem integriert. Wir sind zuversichtlich, auch diese bald für Fahrten von Leonie einsetzen zu können und unserem Ziel einer wahrnehmungsbasierten Umfeldrepräsentation einen weiteren großen Schritt näher zu kommen.

Literatur

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 (ITSC 2013)*. 2013

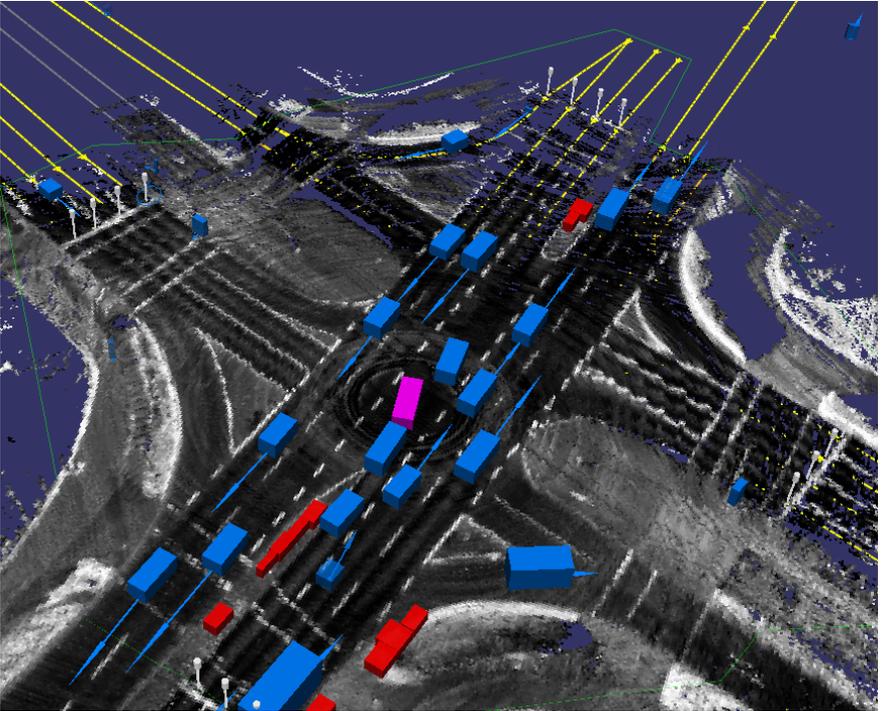


Abbildung 4.3: Aktueller Stand der Umfeldmodellierung. Die Darstellung der Fahrbahnoberfläche wurde aus den Bodendaten des Velodyne generiert. Die blauen Quader zeigen die erfassten dynamischen Objekte auf der Fahrbahn inklusive ihrer Bewegungsrichtung (Pfeile). Stationäre Hindernisse abseits der Fahrbahn sind als rote Blöcke ohne Pfeile abgebildet. Zum Vergleich ist im Hintergrund eine digitale Karte des Fahrstreifenetzes eingeblendet.

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

Matthaei, R.; Dyckmanns, H.; Maurer, M.; Lichte, B.: Consistency-based motion classification for laser sensors dealing with cross traffic in urban environments. In: *2011 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, 2011

Rieken, J.; Matthaei, R.; Maurer, M.: Benefits of Using Explicit Ground-Plane Information for Grid-based Urban Environment Modeling. In: *18th International Conference on Information Fusion (FUSION 2015)*. 2015

Rieken, J.; Matthaei, R.; Maurer, M.: Toward Perception-Driven Urban Environment Modeling for Automated Road Vehicles. In: *2015 IEEE International Annual Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*. 2015

4.1.2 Environmental Perception for Automated Vehicles

von Jaebum Choi

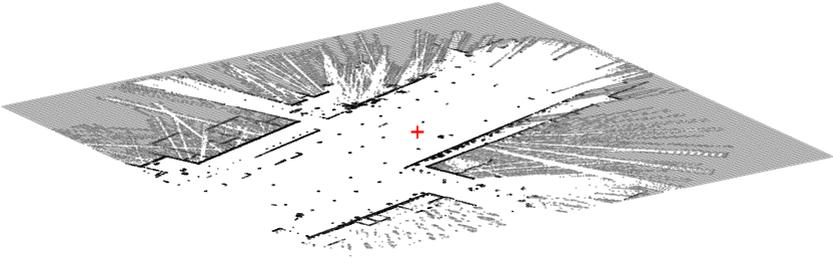
Recently, vehicle automation receives worldwide attention, and there have been considerable progresses and improvements in this area. The reliable environmental perception is probably first and one of the most important parts for automated vehicles. Here, the environment can be classified into three groups, the ego vehicle itself, static objects and dynamic objects. The perception is to detect and represent these environments. For the ego vehicle itself, we can perform localization to obtain its trajectories. The static objects are represented with a map, and the dynamic objects are tracked to represent their temporal behaviors.

These environmental perception tasks can be summarized with two technical problems: simultaneous localization and mapping (SLAM), and detection and tracking of moving objects (DATMO). To tackle these problems in a more accurate and efficient way, we have made a novel framework for each one of two problems: volumetric hybrid map-based SLAM, and model-based tracking with the interacting multiple model (IMM) algorithm.

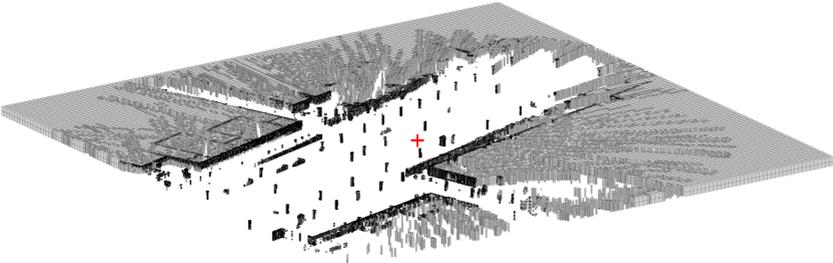
For the SLAM problem, we demonstrated that the hybrid map-based approach outperforms the traditional single and dual map-based SLAM approaches. In addition, we have made a progress by implementing the 3D grid map instead of the 2D one. Here, the tree-based data structure is used to construct and maintain the map because it provides a more flexible and compact representation of the environment. In the context of the proposal distribution, the improved performance of the 3D grid map is evaluated in terms of the measurement likelihood. Figure 4.4 shows the results. Since the 3D grid measurement likelihood has lower variance than the 2D one, we can expect more improved proposal distribution and accordingly more accurate estimation results of the SLAM algorithm.

For the moving object tracking problem, we verified that the geometric model-based tracking is essential for eliminating errors caused by geometric characteristics of the target. In addition, it is beneficial to use multiple dynamic models because it is difficult to describe the targets' maneuvers with one dynamic model only. Therefore, we have implemented the IMM algorithm to handle these multiple models for the tracking. The structure of the IMM algorithm in a three motion model configuration is depicted in Figure 4.5.

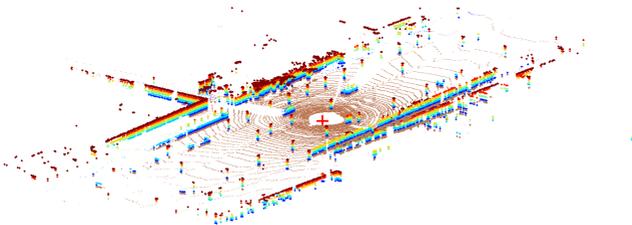
We have evaluated the performance of the IMM algorithm in an intersection scenario with three criteria: Model probability, root mean



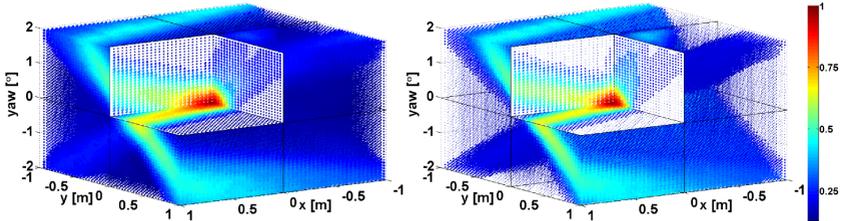
(a) A local quad tree map (2D) constructed so far (map size: $128\text{ m} \times 128\text{ m}$, minimum grid resolution: $0.25\text{ m} \times 0.25\text{ m}$).



(b) A local octree map (3D) constructed so far (map size: $128\text{ m} \times 128\text{ m} \times 2\text{ m}$, minimum voxel resolution: $0.25\text{ m} \times 0.25\text{ m} \times 0.25\text{ m}$).



(c) Current measurements. The points are colored by their height.



(d) Measurement likelihoods (left image for the 2D grid map, right image for the 3D grid map) at the current vehicle pose transformed to $[0, 0, 0]^T$. They are colored and sized by the normalized score.

Abbildung 4.4: The 3D grid map produces more accurate measurement likelihood than in the 2D grid map (cell probability in (a) and (b): grey=unknown, white=free, black=occupied, red '+' in (a), (b), and (c): current vehicle position).

square position error (RMSPE) of the innovation series and execution time. The model probability shows that the correct motion models can be determined according to the targets' maneuvers, and therefore we can expect more accurate state estimation results of our IMM algorithm. This becomes more clear when having a look at the RMSPE of the innovation series. The IMM algorithm always gives close to the best performance compared to the respective single filter-based approaches. Since the IMM algorithm enables the adaptive estimation scheme, its state estimates follow the true value more quickly and more accurately than the other single filter-based approaches. However, the execution time shows that the IMM algorithm is computationally more demanding than the single filter-based approaches. Therefore, the system designer should decide on the trade-off between the computational burden and the performance benefit of the IMM algorithm in practice.

Consequently, we have proposed a novel framework to tackle both SLAM and DATMO problems in a more accurate and efficient way so that the

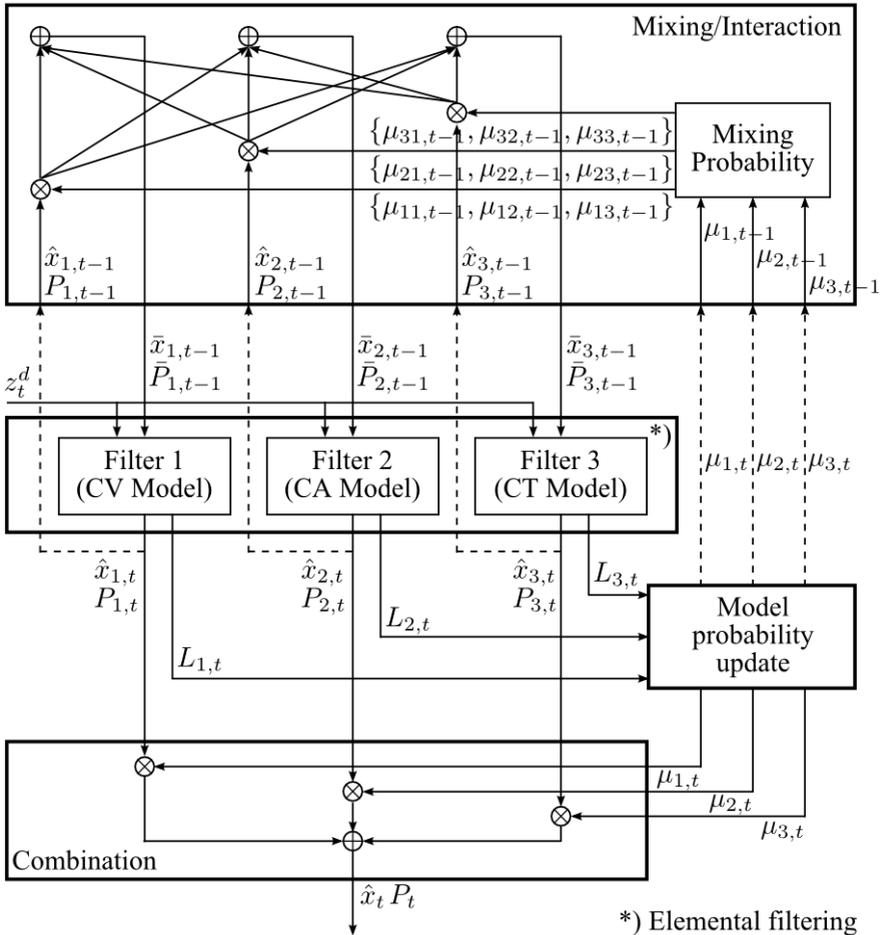


Abbildung 4.5: Structure of the IMM algorithm with three motion models (CV: constant velocity, CA: constant acceleration, CT: coordinated turn).

vehicle can operate correctly in any dynamic and populated environment. The successful results are supposed to serve as an important information to the subsequent applications.

4.1.3 Automatisch fahrerlos fahrendes Absicherungsfahrzeug für Arbeitsstellen auf Autobahnen (aFAS)

von Gerrit Bagschik

Das Projekt zielt auf den fahrerlosen Betrieb eines Absicherungsfahrzeugs ab, das Wanderbaustellen auf Autobahnen nach hinten gegen den fließenden Verkehr absichert. Aktuell 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.

Nachdem das Projekt “Automatisch fahrerlos fahrendes Absicherungsfahrzeug für Arbeitsstellen auf Autobahnen” (aFAS) im August 2014 gestartet ist, fand Anfang Dezember der erste Steuerkreis des Projektkonsortiums in Düsseldorf (ZF TRW) statt. Auf diesem Treffen ging es primär um Vorstellungen der operativen Personen und erste Diskussionsrunden zum gemeinsamen Projektverständnis.

Auf Grund des besonderen Gefahrenpotentials, das sich aus dem fahrerlosen Betrieb ergibt, ist die Sicherstellung der funktionalen Sicherheit der zentrale Aspekt bei der Entwicklung des fahrerlosen Absicherungsfahrzeugs. Die besondere Herausforderung hierbei liegt schon in der Konzeptphase der Systementwicklung. Die entsprechenden Arbeitspakete innerhalb des Projektkonsortiums liegen beim Institut für Regelungstechnik.

Im ersten Schritt wird in diesem Prozess eine sogenannte *Item Definition* erstellt. Das Item nach ISO 26262 bezeichnet dabei den zu entwickelnden Gegenstand, der auch aus mehreren Systemen im Verbund bestehen kann.

Die Item Definition erfolgt aus einer funktionalen Perspektive, ohne auf technische Lösungen einzugehen. Zum ersten Arbeitstreffen im Februar 2015 gab es eine erste Version dieser Beschreibung, welche in Frankfurt bei Hessen Mobil ausführlich mit den Partnern diskutiert wurde. Ergebnis des Treffens war eine Aufteilung des Automatisierungssystems in mehrere Teil-Items, da sich die Komplexität eines gesamten Fahrzeugs als Item nur schwer in einem Dokument erfassen und verwalten lässt. Für die Erstellung der Item Definitionen der Teil-Items wurde am Lehrstuhl nach Vorbild der ISO 26262 und auf Basis der Erfahrungen der Projektpartner eine Vorlage erstellt. Diese enthält neben einer vorgegebenen Struktur Richtlinien und Vorschläge zum Inhalt der einzelnen Kapitel.

Die Vorlage ist ein wichtiges Ergebnis des Projektes, da die Norm in einigen Aspekten gewisse Spielräume und Auslegungen zulässt. Mit der verabschiedeten Vorlage können Missverständnisse, Doppeldefinitionen etc. bei der Betrachtung mehrerer Teilsysteme größtenteils ausgeschlossen werden.

Nachdem der Funktionsumfang, die Einsatzumgebung und der rechtliche Rahmen festgelegt und verabschiedet sind, folgt im Prozess der ISO 26262 eine *Gefährdungsanalyse und Risikobewertung*. Dieser zweistufige Prozess beschäftigt sich im ersten Teil mit der Identifizierung von Gefährdungen für Leib und Leben, die durch Fehlfunktionen in Kombination mit einer Fahrsituation entstehen.

Im zweiten Teil werden die Gefährdungen hinsichtlich ihres Risikos bewertet. Dazu werden gemäß ISO 26262 die Beherrschbarkeit der Fahrsituation im Falle eines Fehlers, die Schwere der Folgen für Leib und Leben im Falle eines Unfalls sowie die Auftretenswahrscheinlichkeit der betrachteten Fahrsituation bewertet. Die Kombination der drei Parameter ergibt dann die Einstufung in das *Automotive Safety Integrity Level* auf einer fünfstufigen Skala.

Für den Betrieb des fahrerlosen Absicherungsfahrzeugs wurden dazu ca. 50 Gefährdungen identifiziert. Diese wurden durch ein strukturiertes Brainstorming des aFAS-Teams am Lehrstuhl – bestehend aus Torben Stolte, Andreas Reschka und Gerrit Bagschik – erstellt und zur intensiven Diskussion an die Konsortialpartner verteilt.

Parallel zur Version, die durch Expertenwissen generiert wurde, wird ein Ansatz untersucht, welcher potenziell gefährliche Szenarien soweit wie möglich automatisiert erstellen kann. Dabei fließt das Expertenwissen nicht in die eigentliche Erstellung der Szenarien, sondern in die vorangestellte Modellierung des Systems. Durch diese Methode wurden deutlich mehr potenziell gefährliche Szenarien generiert, die derzeit im Vergleich zu den manuell identifizierten Gefährdungen ausgewertet werden.

Das Ergebnis der Gefährdungsanalyse und Risikobewertung dient im weiteren Projektverlauf als gewichtige Eingangsgröße für den Entwurf des Sicherheitskonzepts für den fahrerlosen Betrieb des Absicherungsfahrzeugs.

Parallel zu den Arbeitspaketen, die sich mit der Beschreibung und Risikobewertung des Systems befassen, wurden ein Entwurf für ein Development Interface Agreement (DIA) nach ISO 26262 erstellt und dem Konsortium zur Abstimmung bereitgestellt. Mit dem DIA werden die

Entwicklungsschnittstellen und Aufgaben innerhalb des Projektkonsortiums definiert und dokumentiert. Zusammenfassend betrachtet, zeigt sich die große Bedeutung der Konzeptphase zumindest bei der auf mehrere Partner verteilten Entwicklung komplexer und sicherheitskritischer Systeme. Für den Berichtszeitraum des nächsten Jahresberichts erwarten wir, dass die wesentlichen Arbeitsergebnisse in Form von Item Definition, Gefährdungsanalyse und Risikobewertung sowie des Sicherheitskonzepts abgeschlossen werden, so dass die Projektpartner die Systementwicklung vorantreiben können.

4.1.4 Forschungsprojekt „Infrastrukturbedarf automatisierten Fahrens“ der BASt

von Frank Dierkes

Das von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) getragene Grundlagenprojekt hat zum Ziel, die Anforderungen hochautomatisierter Fahrfunktionen an die Infrastruktur zu ermitteln. Bislang ist weitgehend ungeklärt, welche Anforderungen an die Infrastruktur bestehen seitens einer automatisierten Fahrfunktion, bei der der Fahrer aus dem Fahrer-Fahrzeug-Regelkreis entlassen wird. Der Begriff Infrastruktur ist dabei innerhalb des Forschungsprojekts weit gefasst. Er umfasst die straßenbauliche Infrastruktur (Trassenform, Zustand des Fahrbahnbelags etc.), die verkehrstechnische Infrastruktur (Fahrbahnmarkierungen, Verkehrszeichen etc.) sowie auch die vorhandene oder eine möglicherweise erweiterte informationstechnische Infrastruktur (Verkehrsinformationen, Fahrzeug-zu-Infrastruktur-Kommunikation etc.). Herausfordernd ist insbesondere die Prognose, welche der heute noch bestehenden Herausforderungen im zu betrachtenden Zeitraum über die fahrzeugeigene Technologie gelöst werden können und ob, und wenn ja, an welchen

Stellen eine automatisierte Fahrfunktion auf infrastrukturseitige Maßnahmen angewiesen sein wird.

Um die Anforderungen an die Infrastruktur und daraus resultierende hilfreiche oder notwendige Infrastrukturmaßnahmen abzuleiten, wurde auf der Grundlage des Stands der Wissenschaft und Technik zunächst untersucht, welche Umsetzungen automatisierter Fahrfunktionen in einem prognostizierbaren Zeitraum von etwa einer Dekade für ein Serienfahrzeug erwartbar sind. Als wahrscheinlichstes Einführungszenario wurden bei einem ersten Projekttreffen hochautomatisierte Fahrfunktionen identifiziert, die auf Autobahnen oder Landstraßen der Entwurfsklasse 1 beschränkt sind. Zurzeit wird für einige mögliche Ausprägungen dieser Fahrfunktionen analysiert, welche Gefahrenpotenziale dabei in Bezug auf die Infrastruktur bestehen (z.B. fehlende oder schlecht erkennbare Fahrstreifenmarkierungen, verdeckte oder verschmutzte Verkehrszeichen, unzureichende Sensorsichtweite etc.). Diese Analyse dient als Vorbereitung für einen ersten Expertenworkshop, bei dem die potentiellen Gefahren insbesondere mit Fachleuten aus der Automobilindustrie und der Forschung zum automatisierten Fahren diskutiert werden sollen.

Die Ergebnisse des ersten Expertenworkshops dienen in der zweiten Phase des Projekts als Grundlage für die Konzeption und Bewertung möglicher Infrastrukturmaßnahmen, die für die Einführung automatisierter Fahrfunktionen in Bezug auf die Sicherheit notwendig oder hilfreich sind. Zur Diskussion der Ergebnisse ist anschließend ein zweiter Expertenworkshop vorgesehen, in diesem Fall insbesondere auch mit Vertretern der Infrastrukturträger sowie Fachleuten aus den Bereichen verkehrstechnischer und informationstechnischer Infrastruktur.

Das Institut für Regelungstechnik ist zusammen mit dem Institut für Verkehr und Stadtbauwesen als Unterauftragnehmer der TRANSVER

GmbH an diesem Forschungsprojekt beteiligt. Die Aufgaben des Instituts für Regelungstechnik bestehen vor allem in der Analyse und Aufbereitung des Stands der Wissenschaft und Technik im Bereich des automatisierten Fahrens sowie in der Analyse der Gefahrenpotentiale und der Vorbereitung des ersten Expertenworkshops.

4.1.5 Forschungsprojekt „DADAS“

von Till Menzel

Die steigende Komplexität von automatisierten Fahrfunktionen in Bezug auf die Anzahl der Hard- und Softwarekomponenten erfordert immer effizientere Methoden für den Test und die Absicherung der Systeme. Eine Absicherung der Systeme lediglich mittels Realtests ist aufgrund der hohen benötigten Kilometerzahlen nicht mehr wirtschaftlich durchführbar. Bei modernen Testmethoden wird daher ein Großteil der erforderlichen Testkilometer in die Simulation verlagert. Allerdings kann aufgrund der unbegrenzten Variationsvielfalt der Eingangsdaten automatisierter Fahrfunktionen auch in der Simulation nur stichprobenartig ein Teil der real auftretenden Szenarien getestet werden.

Im Rahmen der Kooperation des Niedersächsischen Forschungszentrums Fahrzeugtechnik ist das Institut für Regelungstechnik seit Oktober 2014 in Zusammenarbeit mit dem Institut für Softwaretechnik und Fahrzeuginformatik der TU Braunschweig sowie der Abteilung Software Systems Engineering des Instituts für Informatik der TU Clausthal im Projekt „Dependable Advanced Driver Assistance Systems“ (DADAS) tätig. Ziel des Projekts ist die prototypische Entwicklung einer Methode zum Test und zur Absicherung während des Betriebs von automatisierten Fahrfunktionen.

Das DADAS-Konzept gliedert sich in zwei Phasen. In der ersten Phase wird die Funktionalität der automatisierten Fahrfunktion während der Entwicklungszeit in einer Testumgebung in der Simulation getestet. Die überprüften Szenarien werden dokumentiert und auf einer Ausführungsplattform im realen Fahrzeug hinterlegt. In der zweiten Phase erfolgt zur Laufzeit eine Überwachung des aktuell durchfahrenen Szenarios. Detektiert die Ausführungsplattform ein ungetestetes Szenario, kann die Funktionalität der automatisierten Fahrfunktion nicht garantiert werden und es müssen geeignete Maßnahmen wie eine Degradierung des Systems eingeleitet werden. Das ungetestete Szenario wird in einer späteren Iteration in den Testkatalog übernommen. Dieses zweiphasige Vorgehen stellt den Betrieb der automatisierten Fahrfunktion innerhalb eines getesteten Bereichs sicher und erweitert den Testkatalog schrittweise um relevante Szenarien.

Das Institut für Regelungstechnik ist in Zusammenarbeit mit dem Institut für Softwaretechnik und Fahrzeuginformatik mit dem Aufbau der Testumgebung betraut. Darunter zählt neben der Inbetriebnahme der Simulationstoolkette die Entwicklung eines Formats zur Beschreibung von Verkehrsszenarien. Gerade in diesem Bereich ergaben sich Anfang 2015 Synergien mit anderen Forschungsgruppen und Konsortien. Zusammen mit der Forschungsabteilung für Fahrerassistenz und integrierte Sicherheit der Volkswagen AG und der Firma VIRES entwickelten wir in mehreren Workshops einen ersten Entwurf für das OpenScenario-Format. Dieses Format zur Beschreibung von Szenarien wird in einem Konsortium um VIRES laufend weiterentwickelt und soll als offener Standard etabliert werden.

4.1.6 Großgeräte Vehicle-in-the-Loop und Referenzsensorik

von Gerrit Bagschik

Die im Rahmen des NFF-Neubaus geförderten Großgeräte *Vehicle-in-the-loop* (VIL) und *Referenzsensorik* (Ref-Sens) wurden 2012 von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) bewilligt. Die Grundidee des VIL ist es, eine möglichst realistische Testumgebung für fortschrittliche Fahrerassistenzsysteme zur Verfügung zu stellen. Dabei soll mittels des VIL ein weites Spektrum von Fahrerassistenzsystemen einschließlich sicherheitskritischer Systeme (z. B. automatische Notbremse, automatisches Ausweichen) mit geringem Aufwand erprobt werden können. Der VIL-Prüfstand vereint hierzu einerseits die Vorteile von Simulatoren und andererseits die der realen Testfahrzeuge (vgl. Ulbrich und Schuldt, Jahresbericht 2011/2012).

Für die Entwicklung der Umfeldwahrnehmungssysteme werden Referenzsysteme mit dem Ziel eingesetzt, die Qualität der Umfeldsensorik und Algorithmen zu beurteilen und anschließend in einer formativen Evaluation zu optimieren. Darüber hinaus werden Referenzsysteme für die summative Evaluation benutzt, um die Qualität eines Umfeldwahrnehmungssystems am Ende der Entwicklungsphase zu beurteilen oder verschiedene Systeme miteinander zu vergleichen (vgl. Brahmi, Jahresbericht 2012/2013). Der Referenzsensorik-Versuchsträger soll eingesetzt werden, um verlässliche *Ground-Truth*-Daten für solche Umfeldwahrnehmungssysteme zu generieren.

Nach einer ersten Konzept- und Ausschreibungsphase 2012/13 ließen sich jedoch keine Unternehmen finden, welche diese durchaus komplexen Versuchsträger innerhalb einer Beauftragung liefern konnten. Aus diesem Umstand heraus wurde beim Niedersächsischen Ministerium für Wissenschaft und Kultur eine Aufteilung des Aufbaus in drei Teilprojekte beantragt. Die Teilprojekte gliedern sich in die Fahrzeug-

beschaffung, den Hardwareaufbau und die Entwicklung von Softwarekomponenten für die Großgeräte. Mit dieser Umstrukturierung wurde die Systemverantwortung und -integration an das Institut verlagert, um die Fertigstellung der Großgeräte sicherzustellen.

Anfang 2014 sind die beiden Audi A6 (C7)-Fahrzeuge in Ingolstadt in Empfang genommen und nach Braunschweig überführt worden. Im Laufe des Jahres 2014 wurden die Hardwarekomponenten für die Rechnerinfrastruktur, die zusätzliche Energieversorgung, Sensoren für die Referenzsensorik und die Komponenten für das VIL-System beschafft. Parallel dazu entstanden die Hardwarekonzepte für die beiden Versuchsträger, welche in der zweiten Projektphase umgesetzt werden sollten. Eine Besonderheit im Hardwarekonzept beim VIL war, dass die Echtzeitsimulation und die aufwändige Visualisierung für den Fahrer einen State-of-the-art Gaming-PC verlangen. Diese PCs haben Leistungsanforderungen von etwa 800 Watt Spitzenleistung. Auf die 12 Volt Versorgung im Fahrzeug umgerechnet beläuft sich der Maximalstrom auf ca. 67 Ampere alleine für den Simulations-PC. Um diese Leistung im Fahrzeug bereitzustellen, musste eine neue Stromversorgung konzipiert werden. Für den Referenzsensorik-Versuchsträger soll es möglich sein, verschiedene Sensoren mit möglichst wenig Aufwand am Fahrzeug zu befestigen und an die verarbeitenden Recheneinheiten anzuschließen. Dazu mussten mehrere generische Halterungsmöglichkeiten inklusive verschiedener Bussysteme (CAN, Ethernet und FlexRay) und eine umschaltbare Spannungsversorgung für 5 Volt, 12 Volt und 24 Volt für die insgesamt 14 sogenannten Device-Under-Test-Anschlüsse (DUT) (vgl. Abbildung 4.6) konzipiert werden.



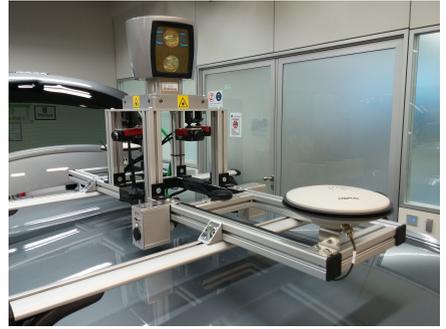
Abbildung 4.6: Device-Under-Test-Anschlüsse der Referenzsensorik

Die resultierenden Konzepte orientieren sich stark am bewährten Aufbau des Stadtpilot-Versuchsträgers *Leonie* und wurden mit Unterstützung der Audi I/EF-564 an die Audi-Plattform angepasst und für den jeweiligen Einsatzzweck erweitert. Die Beauftragungen für die Hardwareumbauten wurden Anfang 2015 an die Firma BFFT in Ingolstadt vergeben und im Juli (VIL) und August (Ref-Sens) fertiggestellt.

Für die Referenzierung von stationären Umfelddaten wurde ein Faro X330 Geodäsie-Laserscanner beschafft, welcher laut Datenblatt eine 10-fach höhere Entfernungsgenauigkeit gegenüber des bisher üblicherweise als Referenz verwendeten Velodyne-Laserscanners aufweist. In einer Schulung zur Benutzung des Sensors wurden u. a. Daten am Campus Nord aufgenommen, welche in Abbildung 4.8 zu sehen sind.



(a) Kofferraum VIL



(b) Dachaufbau Referenzsensoren



(c) Cockpit VIL



(d) Schaltbare DUT-Ausgänge

Abbildung 4.7: Fertiggestellte Großgeräte

Diese Daten sollen unter anderem in der Software für die Referenzsensoren verarbeitet werden, die seit Mai bei der Firma Elektrobit entwickelt wird. Die Softwarekomponenten bestehen aus einer Bibliothek für ein Datenformat mit zugehöriger Workbench, wodurch es möglich wird Referenzdaten aufzunehmen, zu bearbeiten und an interessierte Nutzer zu verteilen. Dabei besteht die Möglichkeit die Daten im weit verbreiteten Automotive Data-and-Time-triggered Framework (ADTF) oder per Bibliothek in einer eigenen Toolkette zu verwenden.



Abbildung 4.8: Messung des Geodäsie-Laserscanners der Referenzsensorik

Die Großgeräte sollen Mitte 2016 fertiggestellt werden und von da an für verschiedene Projekte und Forschungsvorhaben eingesetzt werden können.

4.1.7 Kooperation mit der AUDI AG - Projekt ur:ban

von Frank Dierkes

Im Rahmen des Projekts UR:BAN, gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, ist das Institut für Regelungstechnik 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.

Nachdem im vorvergangenen Jahr der Fokus auf der Entwicklung einer Multi-Hypothesen-Straßenrepräsentation lag, war der Schwerpunkt im vergangenen Jahr das Schätzen von Referenzbahnen für Fahrstreifen auf Basis dieser Multi-Hypothesen-Repräsentation. Motivation für die Entwicklung einer Multi-Hypothesen-Repräsentation ist, dass heutige Systeme zur Umfeldwahrnehmung Fahrstreifen nicht fehlerfrei erkennen und insbesondere Defizite beim Verstehen der Straße mit

ihren Fahrstreifen aufweisen. Dies gilt insbesondere für den innerstädtischen Raum, da die Struktur innerstädtischer Straßen wesentlich vielfältiger ist. Durch die Repräsentation und die dadurch mögliche Berücksichtigung der bestehenden Unsicherheit über die Straße soll es einer automatisierten Fahrfunktion ermöglicht werden, im Sinne der gegebenen Ziele bessere Entscheidungen zu treffen.

Eine Referenzbahn soll die Bahn repräsentieren, entlang der sich ein Fahrzeug zum Beispiel beim Folgen des Fahrstreifens bewegt. Vereinfachend wird bislang angenommen, dass dies der Mittenverlauf des Fahrstreifens ist. Im Falle kontinuierlich aktiver automatisierter Fahrfunktion ermöglichen Referenzbahnen eine einfachere und effizientere Trajektorienplanung, da üblicherweise diskrete Manöver wie ein Fahrstreifenwechsel oder das Fahrstreifenfolgen ausgeführt werden. Die Trajektorienplanung muss dann neben dem Geschwindigkeitsprofil nur noch das Abweichen von der gegebenen Referenzbahn (z.B. aufgrund von kleineren Hindernissen am Fahrstreifenrand) und das Zurückfahren auf die Referenzbahn planen. Für im Notfall eingreifende Funktionen zur Kollisionsvermeidung können Referenzbahnen als Grundlage dienen, um die Bahn des Fahrzeugs zu präzisieren. Des Weiteren kann durch Vergleich von Lenkwinkel und Krümmung der Referenzbahn versucht werden zu detektieren, ob der Fahrer bereits ein Ausweichmanöver eingeleitet hat.

Ist die Berechnung von Referenzbahnen für eine eindeutige Umfeldrepräsentation noch vergleichsweise einfach, stellen sich durch die Berücksichtigung der Unsicherheit, insbesondere in Form mehrerer, allgemein widersprüchlicher Hypothesen über die Straße und die Fahrstreifen, neue Herausforderungen. Je nach Fahrfunktion kann dabei eine andere Herangehensweise sinnvoll sein. Um die weitere Fahrzeugbewegung in manueller Fahrt zu präzisieren, mag es beispielsweise sinn-

voll sein, ausschließlich die wahrscheinlichste Fahrstreifenhypothese zu berücksichtigen. Im Falle einer kontinuierlich aktiven Fahrfunktion erscheint es hingegen sinnvoller, eine Referenzbahn zu finden, die bei widersprüchlichen Fahrstreifenhypothesen für mehrere Hypothesen eine akzeptable Lösung darstellt. Eine weitere Herausforderung ist die Betrachtung des Problems über die Zeit, da die Bewertung von Hypothesen variiert und Hypothesen hinzukommen und wieder verworfen werden. Diese Fragestellungen werden auch im nächsten Jahr unserer Zusammenarbeit einen großen Raum einnehmen. Allgemein ist die Bewertung von und der Umgang mit Hypothesen über Fahrstreifen und Straßen noch eine große offene Forschungsfrage.

Auf der diesjährigen IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC) haben wir die gemeinsam entwickelte Multi-Hypothesen-Straßenrepräsentation vorgestellt und uns dabei aus dem genannten Grund zunächst auf die rein qualitative Repräsentation von Unsicherheit beschränkt, das heißt zu repräsentieren, wo mehrere Hypothesen über die Straße existieren und wie sich diese unterscheiden sowie dies möglichst effizient ableitbar und einfach interpretierbar zu gestalten.

4.1.8 Kooperation mit der Volkswagen AG

von Simon Ulbrich, Jens Rieken und Fabian Schuldt

Automatisiertes Fahren ist längst in den Kernfokus der Forschung von Automobilherstellern gerückt. Im Rahmen des Projekts „Auto-Pilot“ arbeitet die Volkswagen Konzernforschung daran, automatisiertes Fahren Realität werden zu lassen (siehe dazu auch den Artikel von Thomas Müller von der AUDI AG in Kapitel 6). Das Institut für Regelungstechnik wirkt in den drei Kernbereichen Umfeldwahrnehmung und -modellierung, Verhaltensplanung und Testen an diesem Projekt mit.

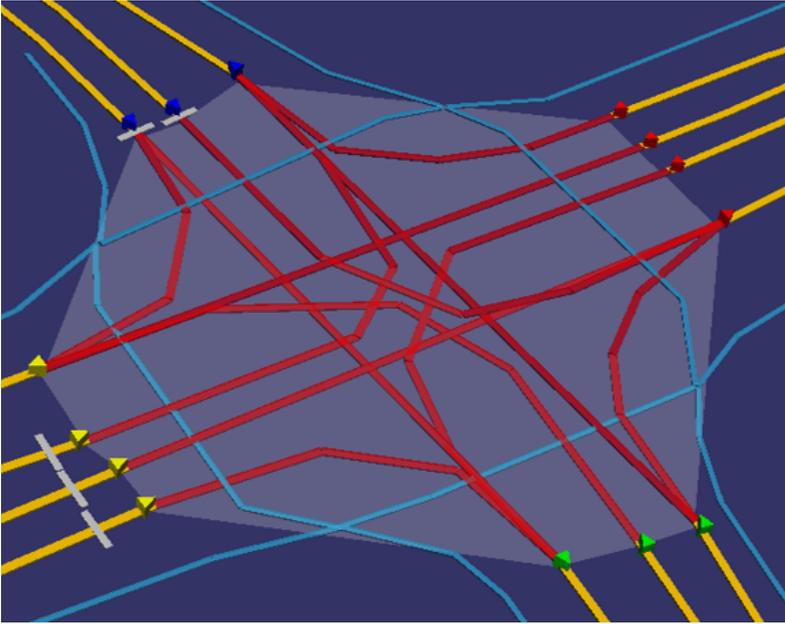


Abbildung 4.9: Graphenbasierte Repräsentation einer Kreuzung

Im Bereich der Umfeldwahrnehmung und Kontextmodellierung konnten viele Verbesserungen erzielt werden. So wurde beispielsweise Wissen aus dem auf urbane Räume fokussierten Stadtpilot Projekt in die graphenbasierte Umfeldmodellierung des Auto-Pilot-Projekts übertragen. So können nun Kreuzungen umfassender modelliert werden und Aufenthaltsgebiete für Fußgänger und Radfahrer hinterlegt und ausgewertet werden.

Darüber hinaus wurde die Umsetzung zur taktischen Verhaltensplanung von Fahrstreifenwechseln aus dem Stadtpilot in das Auto-Pilot Projekt transferiert und dort weiterentwickelt. Die Umsetzung des Instituts für Regelungstechnik bildet den Kern für die taktische Verhaltensplanung und wurde erfolgreich für große Projekte der Konzern-



Abbildung 4.10: Fahrstreifenwechsel ohne Fahrer: „Jack“, das *AUDI A7 piloted driving concept* Fahrzeug. Bildrechte: AUDI AG

forschung, wie dem *AUDI A7 piloted driving concept* Fahrzeug oder im Rahmen des Förderprojekts „ur:ban“ eingesetzt.

Der dritte Schwerpunkt der Aktivitäten des Instituts für Regelungstechnik in der Zusammenarbeit mit der Volkswagen AG ist der Bereich „Simulation und Testen“. Hier konnte erfolgreich eine automatisierte Szenario-Generierung für das zielgerichtete Testen eines Bau- und Engstellen-Assistenzsystems umgesetzt werden. Abbildung 4.11 zeigt eine in der Simulation erstellte Baustelle für den Test des Baustellenassistenten.

Die Ansätze der automatischen Szenario-Generierung werden auch im Fahrzeug eingesetzt: Abbildung 4.12 zeigt das Kamerabild, welches mit virtuellen Objekten zu einer erweiterten Realität ergänzt wurde.



Abbildung 4.11: Virtuelle Baustellen für den Test des Bau- und Engstellenassistenten

Die Ansätze werden aktuell auch im Projekt „DADAS“ und im Auto-Pilot-Projekt verwendet und weiterentwickelt. Weiterhin wurden die Ideen und Konzepte der Szenario-Generierung in gemeinsamen Workshops mit der Firma Vires in einem ersten Entwurf für den neuen Standard „OpenScenario“ zur Beschreibung von Szenarien übertragen.

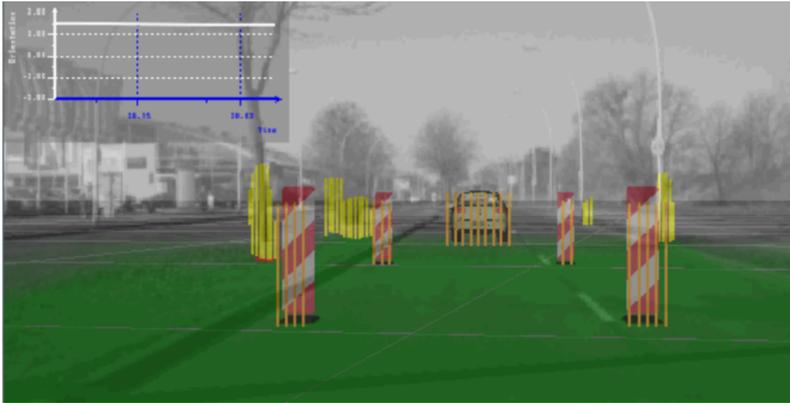


Abbildung 4.12: Erweiterte Realität für den Test des Engstellenassistenten

4.1.9 Radarbasierte Objektverfolgung im urbanen Kontext

von Jan Timo Wendler

In der radarbasierten Umfeldwahrnehmung wird die Detektion und Verfolgung von Objekten, insbesondere verletzbare Verkehrsteilnehmer, im seitlichen Bereich des Fahrzeugs untersucht. In dem vergangenen Jahr sind die drei Themen „Weiterentwicklung der Objektverfolgung“, „Alternative Verfahren zur Objektverfolgung“ und „Konzept zur Referenzierung“ betrachtet worden.

Die Objektverfolgung ist im Bereich abbiegender Radfahrer weiterentwickelt worden. In der Verarbeitungskette wird zunächst versucht, neu eintreffende Messungen den Hypothesen bestehender Objekte zuzuordnen. Kann in einem oder mehreren Messzyklen keine Zuordnung berechnet werden, so wird die Hypothese zunehmend unsicherer. Wird schließlich eine gewisse Güte der Hypothesen unterschritten, so werden diese aus der Menge der Objekthypothesen entfernt. Es kommt zum sogenannten Objektabriss. Für eine ausbleibende Zuordnung gibt

es zwei Gründe. Zum einen wird für die Bewegung des verfolgten Objekts ein Bewegungsmodell angenommen, das bei der Verfolgung von abbiegenden Fahrradfahrern an seine Grenzen stößt. Daher wurde eine alternative Variante eines Objektmodells eingesetzt, das die Kontur- und Bewegungseigenschaften von Radfahrern besser widerspiegelt. Dies konnte durch die Analyse mehrerer Testszenarien belegt werden. Der zweite Grund für die ausbleibende Zuordnung einer Messung zu einer Objekthypothese und dem resultierenden Objektabriss ist der Zuordnungsalgorithmus, die „Assoziation“. Die Zuordnung wird über den Abstand der Position der Messung zum Objekt und der Differenz der gemessenen Radialgeschwindigkeit zu der erwarteten messbaren Geschwindigkeit durchgeführt. Für die gemessene Geschwindigkeit wird angenommen, dass der vom Sensor gemessene Winkel korrekt ist. Darauf basierend wird die aktuelle, messbare Geschwindigkeit der Objekthypothese für diesen Winkel bestimmt. Im seitlichen Bereich des eigenen Fahrzeugs kann die Geschwindigkeit je nach Ursprung der Reflektion auf dem zu verfolgenden Objekt stark schwanken. Daher wird die gemessene Geschwindigkeit in diesem Bereich nur bedingt verwendet. Diese Maßnahme hat ebenfalls zur Reduzierung von Objektabrissen geführt.

Im weiteren Projektverlauf kann die Objektverfolgung in den Punkten Initialisierung, Bewegungsmodell und Objektmodell verbessert werden. Die Initialisierung von Objekthypothesen aus mehreren Reflektionen, die in einem Scan gemessen wurden, wird zurzeit nicht berücksichtigt. Dies ist aufgrund der Annahme einer freien Sicht auf das Objekt, welches sich aus weiter Entfernung annähert, auch nicht notwendig, da in diesem Bereich normalerweise nur eine Reflektion pro Messzyklus detektiert wird. Bei der Verletzung dieser Annahme ist das Modell zur Initialisierung weiter zu entwickeln. Im Kontext des Bewegungsmodells ist die Modellierung der Winkeländerung der Hypothese über

die zurückgelegte Strecke ein möglicher Aspekt, der zukünftig betrachtet werden kann. Auf diese Weise können die Objekthypothesen nach der Initialisierung schneller stabilisiert werden. Als weiteren Punkt ist ein Objektmodell zu erstellen, das die Ausdehnung und die möglichen Reflektionspunkte explizit modelliert. Mit dieser Erweiterung ist zum Beispiel eine gezielte Innovation der Objekthypothese mit Folgezielen möglich, bei denen die Geschwindigkeit nicht der des Objekts entspricht.

Des Weiteren ist alternativ zu dem bisherigen Objektverfolgungsansatz ein Partikel-Filter umgesetzt worden. Dieses Verfahren modelliert die Unsicherheit eines Objekts nicht als Kovarianzmatrix, sondern durch eine Verteilung von „Partikeln“. Dabei steht jedes Partikel für einen Zustandsvektor, dem jeweils ein Gewicht zugeordnet ist. Das Gewicht gibt die Wahrscheinlichkeit des Zustands an. Die Summe der Gewichte der Partikel wird zu eins normiert. Eine Integration über alle Partikel unter Berücksichtigung der Gewichte ergibt die Verteilungsdichte des geschätzten Zustands. Die ersten Ergebnisse sehen für sich von hinten annähernde Fahrradfahrer ähnlich zu dem Kalman-Filter aus. Eine weitere Analyse steht noch aus.

Um eine Bewertung der beiden Filteransätze durchzuführen, ist der Vergleich mit einer Referenz notwendig. Hierfür wurde ein Konzept aufgestellt und mit der Umsetzung begonnen. Das Konzept sieht einen weiteren Sensor vor, der in dem Anwendungsbereich eine sehr genaue Objekthypothese erzeugt. Diese hochgenaue Objekthypothese wird als Referenz genutzt. Über Metriken können die Verfahren zur Objektverfolgung bezüglich der Referenz bewertet werden. Aktuell werden diese Metriken hergeleitet und entwickelt, die anwendungsspezifisch die Objektverfolgung betrachten und einen objektiven Vergleich der Ansätze ermöglichen.

4.1.10 Stabilitätsregelung für Nutzfahrzeuge

von Horea Cernat und Fabian Brickwedde

In den letzten drei Jahren wurden Untersuchungen zur Stabilitätsregelung von Nutzfahrzeugen zusammen mit WABCO durchgeführt. Die Analysen haben unterschiedliche Aspekte umfasst:

- Schwimmwinkelschätzung mittels Satellitennavigationssystem,
- Zukünftige Architektur von Stabilitätsregelsystemen,
- Unterstützung der Stabilitätsregelung durch Trajektorieninformationen.

Die Untersuchungen wurden teilweise am Institut für Regelungstechnik (Simulation und Fahrversuche) und teilweise bei WABCO (Fahrversuche) durchgeführt. Zum Abschluss des Projektes wurden die Schwimmwinkelschätzung und der neue Ansatz zur Stabilitätsregelung in einem Versuchsfahrzeug von WABCO implementiert und demonstriert. Eine per Trajektorie vorgegebene Strecke auf nasser Fahrbahn mit niedrigem Reibwert wurde mit zunehmender Geschwindigkeit befahren, so dass es zu Instabilitäten wie Unter- und Übersteuern kam. Ausgehend von der Solltrajektorie war es dem neuen System möglich, das Versuchsfahrzeug selbsttätig zu stabilisieren oder den Fahrer korrigierend zu unterstützen. Dabei wurde eine Trajektorie bei stabiler Fahrt auf der Teststrecke von WABCO in Jevern mittels GPS aufgenommen und als Solltrajektorie gespeichert. Die GPS-Trajektorie wurde lediglich als abstrahierte Vorgabe gewählt, um die Realisierbarkeit der Regelung zu demonstrieren.

Mit Hilfe der vom Satellitennavigationssystem gelieferten Kursrichtung (Heading) wurde während Kurvenfahrten der Schwimmwinkel geschätzt. Dieser an der Stanford University entwickelte Ansatz hat eine größere

Genauigkeit gegenüber dem Ansatz, der auf der Querschleunigung des Fahrzeugs basiert (Bevly u. a., 2006).

Ein wichtiger Nachteil ist aber, dass er einen guten Empfang des Satellitensignals voraussetzt. Trotzdem kann er das aktuelle System zur Stabilitätsregelung verbessern.

Das Institut für Regelungstechnik arbeitet auch im Projekt OnCity mit WABCO zusammen. Das Ziel des Projektes ist die Entwicklung eines Kreuzungsassistenten zum Schutz von ungeschützten Verkehrsteilnehmern (Fußgänger und Radfahrer). Für die Erkennung wird ein seitlich am Fahrzeug verbauter LiDAR-Sensor verwendet. Die Aufgaben des Instituts für Regelungstechnik umfassen die Eigenbewegungsschätzung des Versuchsfahrzeugs und die Entwicklung eines Warnalgorithmus sowie von Ansätzen zur Detektion von möglichen Kollisionen.

Literatur

Bevly, D.; Ryu, J.; Gerdes, J.: Integrating INS Sensors With GPS Measurements for Continuous Estimation of Vehicle Sideslip, Roll, and Tire Cornering Stiffness. In: *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 7 (2006), Nr. 4, S. 483–493

4.1.11 Forschungsprojekt „Neue autoMobilität“ von acatech

von *Andreas Reschka*

Das Forschungsprojekt „Neue autoMobilität“ der Akademie der Technikwissenschaften (acatech) soll ein wissenschaftlich und unternehmerisch fundiertes Zielbild mit Handlungsempfehlungen für das Bundesministerium für Verkehr und Infrastruktur erstellen. Unter der Leitung von Prof. Karsten Lemmer (DLR) stimmen sich Arbeitsgruppen in den

fünf Aktionsfeldern Forschung & Entwicklung, Standardisierung und Normung, Infrastruktur, Rahmenbedingungen und Geschäftsmodelle zum Zielbild ab. Das Projekt hat sein erstes Zwischenziel mit der Anfertigung eines Zielbilds 2030 zur Präsentation auf der IAA in Frankfurt erreicht. Das Institut für Regelungstechnik leistet in den Arbeitsgruppen Forschung & Entwicklung und Infrastruktur einen Beitrag zu diesem Projekt. Das Projekt soll bis Ende 2016 eine umfassende Roadmap erstellen, die politischen Entscheidungsinstanzen helfen soll, das automatisierte Fahren in Deutschland sinnvoll zu fördern und somit die Weichen für eine zunehmende Automatisierung und Vernetzung des Fahrens im Straßenverkehr zu stellen. Weitere Informationen können der Projekthomepage¹ entnommen werden.

4.1.12 Runder Tisch Automatisiertes Fahren der BAST - AG Forschung

von Andreas Reschka

Auch in diesem akademischen Jahr haben wir an den Treffen der Arbeitsgruppe *Forschung* des *Runden Tisch Automatisiertes Fahren* der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST) teilgenommen. An diesen Treffen und in den Arbeitsphasen dazwischen wurden die Ergebnisse aus dem Vorjahr in einem Bericht zusammengefasst und als Empfehlung an das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) übergeben. Der 116 Seiten starke Bericht kann mittlerweile von der Webseite des BMVI² heruntergeladen werden³.

¹<http://www.acatech.de/de/projekte/projekte/neue-automobilitaet.html>

²http://www.bmvi.de/DE/VerkehrUndMobilitaet/DigitalUndMobil/AutomatisiertesFahren/automatisiertes-fahren_node.html

³http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/Digitales/bericht-zum-forschungsbedarf-runder-tisch-automatisiertes-fahren.pdf?__blob=publicationFile

Im Bericht werden zunächst in einer Kurzfassung die wesentlichen Herausforderungen zur Erforschung, Entwicklung und Einführung der erforderlichen Technologien aus Sicht der Teilnahme dargestellt und in der Langfassung im Anhang sind die Ergebnisse der Sitzungen ausführlich dokumentiert. Prof. Maurer hat das Cluster Funktion, Sicherheit, Absicherung geleitet. Die Forschungsfragen dieses Clusters sind auf den Seiten 29-76 ausführlich formuliert und sollen für das BMVI als Hilfestellung für Förderprogramme dienen.

Die Arbeit in der AG Forschung und der Austausch mit den teilnehmenden Experten aus unterschiedlichen Disziplinen war sehr interessant und die erzielten Ergebnisse haben bereits zu Ausschreibungen von Forschungsprogrammen geführt. Wir möchten an dieser Stelle allen Beteiligten herzlich für ihre Unterstützung danken und freuen uns schon auf die zukünftige Zusammenarbeit.

4.2 Fahrzeugsystemtechnik

4.2.1 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 eher selten.

„Controlling Concurrent Change“⁴ 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 kontraktbasierte formale Validierungsmechanismen soll dabei gleichzeitig der Testaufwand für entsprechende Systeme im Labor reduziert werden.

Das Institut für Regelungstechnik 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.

Neben einem erweiterbaren Fahrdynamikregelsystem sollen unter anderem ein modulares Geschwindigkeitsregelsystem sowie ein entsprechendes Einparksystem realisiert werden.

Im Berichtszeitraum lag ein Fokus unter anderem auf der Erweiterung der institutseigenen Rapid-Prototyping-Toolkette, die im MOBILE-Projekt eingesetzt wird. Diese Toolkette erlaubt die MATLAB/Simulink-basierte Softwareentwicklung für die im Fahrzeug eingesetzte Mikrocontroller-Plattform. Um die Applikationen, die im CCC-Kontext entwickelt werden, im bestehenden Softwareframework entwickeln und warten zu können, wurden Exportmöglichkeiten geschaffen, die die Konvertierung von Simulink-Modellen in das CCC-Betriebssystem ermöglichen. Neben der Generierung der Softwarekomponenten und

⁴<http://www.ccc-project.org>

Schnittstellen zur Interprozesskommunikation ist es außerdem Ziel, die Schnittstellenbeschreibungen für die formale Verifizierung (Kontrakte) der jeweiligen Systeme direkt aus der Toolkette zur Verfügung zu stellen. Damit sollen Vorlagen entstehen, die dem Entwickler in einem fehleranfälligen Entwicklungsschritt die Arbeit erleichtern.

Auf Seite der Applikationen werden aktuell erste Ergebnisse der Projektpartner integriert. Die auf die bestehenden Komponenten angewandte Spezifikation der Kontrakte wurde in eine im Projekt entwickelte, für das CCC Betriebssystem zu verarbeitende Sprache überführt. Aufgrund der mangelnden Verfügbarkeit des Versuchsträgers MOBILE (vgl. 4.2.2) wurde zudem das 1:5 Modellfahrzeug MAX mit in die Entwicklung der CCC-Showcases einbezogen und erste Softwarestände portiert. Für den Park-Assistenten wurde eine erste Version einer Trajektoriengenerierung und -optimierung entwickelt. Diese wird aktuell in Zusammenarbeit mit dem Institut für Betriebssysteme und Rechnerverbund der TU Braunschweig (AG Prof. Fekete) weiterentwickelt. Das Ziel ist die Entwicklung einer optimierten Trajektoriengenerierung für die Freiraumnavigation eines überaktuierten Fahrzeugs. Des Weiteren konnten erste Testfahrten mit einem trajektorienfolgenden Stabilitätsregelsystem durchgeführt werden, das den Fahrer im fahrdynamischen Grenzbereich übersteuert, falls dieser von einer geplanten Trajektorie abweicht.

Im nächsten Jahr endet die erste Förderperiode des Projekts. Im Rahmen eines Verlängerungsantrags möchte das IfR die im Projekt entwickelten Mechanismen zur dynamischen Rekonfiguration nutzen, um die Skalierbarkeit des CCC-Ansatzes zu zeigen und gleichzeitig die Ausfallsicherheit automatisierter Fahrfunktionen zu erhöhen.

4.2.2 MOBILE

von Torben Stolte

Im Projekt MOBILE wurde am Institut für Regelungstechnik in Kooperation mit dem Institut für Konstruktionstechnik der TU Braunschweig ein vollelektrisches und flexibles Versuchsfahrzeug aufgebaut (siehe auch den Beitrag von Peter Bergmiller in Kapitel 4.3.1). 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 Aktorikkonzept. So verfügt es an allen vier Rädern über einen elektrischen Einzelradantrieb, eine elektrische Einzelradlenkung sowie eine elektromechanische Bremse. 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.

Schon im vergangenen Jahresbericht konnte von umfangreichen Konsolidierungsarbeiten im Projekt berichtet werden. Diese mussten im aktuellen Berichtszeitraum sogar mit gesteigerter Intensität fortgesetzt werden. Ursache hierfür war das Aufkommen des Themas Hochvoltsi-

cherheit bedingt durch die beiden in MOBILE verbauten Batteriepakete mit einem jeweiligen Spannungsniveau von bis zu 360 V.

Bei einer intensiven Beschäftigung mit dem Thema Hochvoltsicherheit wurden verbunden mit einer steilen Lernkurve gleich mehrere Unterschiede zum in der Industrie üblichen Vorgehen aufgetan. Bisher erfolgten die Arbeiten im Rahmen des Projekts MOBILE einem in der universitären Forschung üblichen, "zielorientierten" und weniger sicherheitsorientierten Vorgehen. Gleichzeitig lag das Niveau der Technik genauso wie das von Ausstattung und Prozessen weit unter dem in der Industrie üblichen. Bei zahlreichen Diskussionen intern und auch innerhalb der TU Braunschweig waren kontroverse Meinungen zu hören, ob ein Industrieniveau hier nicht zu sehr im Konflikt mit der universitären Forschung steht. In Bezug auf MOBILE wurden sich die beteiligten Kollegen einig, dass der Stand der Technik aus der Industrie sinnvoll ist, um den wissenschaftlichen Mitarbeitern und auch den Studierenden größtmögliche Sicherheit im Arbeitsumfeld zu bieten. Aus den erlangten Kenntnissen ist zudem das Seminar Hochvoltsicherheit hervorgegangen (siehe hierzu Kapitel 3.2.7).

Die eingeleiteten Maßnahmen betreffen die drei Themenfelder Technik, Qualifikation und Organisation. Die Themenfelder Qualifikation und Organisation sind bereits im Beitrag zum Seminar Hochvoltsicherheit adressiert. Aus der erstellten Gefährdungsbeurteilung ergeben sich neben den prozeduralen Anforderungen auch die notwendigen technischen Maßnahmen in und um den Versuchsträger. Zum einen wurde vorhandenes Equipment für die Arbeiten am Hochvoltsystemen umfassend durch sowohl Hochvoltmesstechnik als auch hochvoltgeeignetes Werkzeug sowie Absperr- und Sicherungsmaterial erweitert.

Zum anderen wird der Aufbau des Hochvoltsystems im Fahrzeug an die Anforderungen eines eigensicheren Betriebs angepasst. Der Aufbau

des Hochvoltsystems musste hierfür grundlegend überarbeitet werden, um ein sicheres Abschalten des Hochvoltsystems zu gewährleisten. Als Basis hierfür wurde eine vollständige Demontage des Batteriepaketes notwendig, deren Resultat in Abbildung 4.13 gezeigt ist. Ergänzend wurde der Neuaufbau für mechanische Modifikationen am Rahmen des Fahrzeuges genutzt. Bezüglich der Hochvoltsicherheit im Folgenden eine sicherlich nicht vollständige Liste der notwendigen Modifikationen, die derzeit umgesetzt werden oder bereits umgesetzt wurden:

- Anpassung des Rahmens mit Hilfe von Standard-Item-Profilen zur sicheren Aufnahme der Batterien
- Grundlegende Neugestaltung der Hochvoltzuschaltung
- Überarbeitung der Ladegeräte-Anbindung
- Wegfahrsperrung für den Ladebetrieb
- Integration einer kontinuierlichen Überwachung des Isolationswiderstandes in das Fahrzeug
- Ersatz der Polverbinder
- Integration von zwei Hochvolt-Disconnect-Steckern zur Auftrennung der beiden Batterien während Arbeiten am Hochvoltsystem
- Überprüfung sämtlicher hochvoltführender Kabel hinsichtlich ihrer Eignung für HV-Systeme sowie ggf. Ersatz
- Absicherung der Leitung des Batterie-Balancings gegen Kurzschluss
- Überarbeitung des Notauskonzepts
- Integration einer Fremdspeisung für die 48 V- und 12 V-Schiene für den Betrieb von MOBILE im Stand ohne Zuschaltung der Batterien

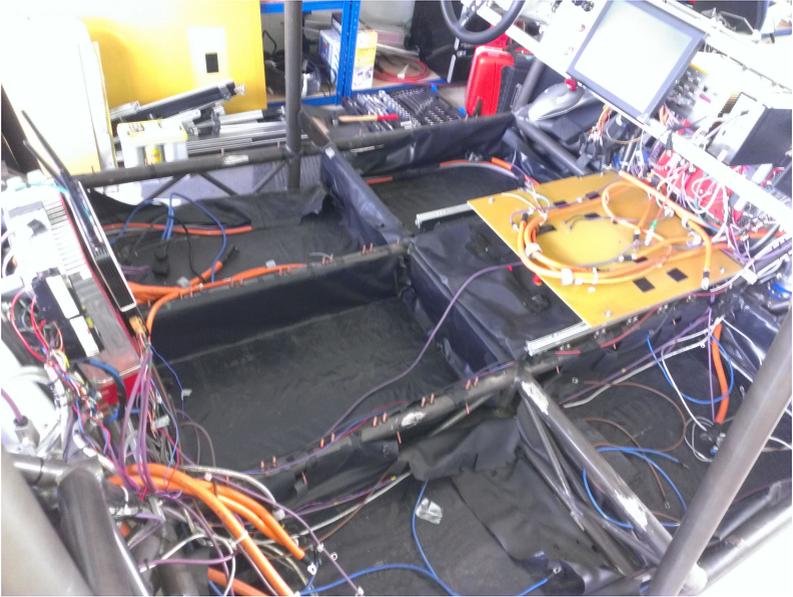


Abbildung 4.13: Demontiertes Batteriepaket von MOBILE

Zusammenfassend betrachtet erfüllt MOBILE nach Abschluss der Arbeiten die gleichen Anforderungen an die Hochvolt-Sicherheit, die auch in der Industrie umgesetzt werden.

Mit den eingeleiteten Maßnahmen gehen Verzögerungen im Projekt von mindestens einem Jahr einher. Während dieser Zeit können keinerlei direkte Forschungsergebnisse mit dem Fahrzeug erzielt werden. Mittelfristig wird das Projekt aber von den Maßnahmen profitieren. Das HV-System ist wesentlich für den Betrieb von MOBILE, in der Vergangenheit erwies es sich jedoch immer wieder als Schwachstelle. Die getroffenen Maßnahmen gewährleisten nicht nur die Sicherheit sondern erhöhen gleichzeitig auch die Robustheit und reduzieren den Wartungsaufwand.

Final nicht geklärt ist die Frage, ob das Sicherheitsniveau in der universitären Forschung ein anderes sein darf als in der Industrie, welches dort durch einschlägige Normen und Richtlinien vorgegeben wird. Mit Blick auf die vergleichsweise hohe Fluktuation im Bereich der wissenschaftlichen Mitarbeiter aber vor allem auch auf Seiten der Studierenden vertrete ich persönlich die Auffassung, dass nur ein gleiches Sicherheitsniveau sinnvoll ist. Nur so kann sichergestellt werden, dass Projektbeteiligte dediziert sicher und nicht "intuitiv" vorgehen und gleichzeitig auf ein technisch hohes Sicherheitsniveau treffen. Sofern geeignete Maßnahmen bei der Entwicklung von Versuchsaufbauten berücksichtigt werden und nicht nachträglich integriert werden müssen, ist zumindest der technische Mehraufwand vertretbar. Auf Seiten von Qualifikation und Prozessen besteht weiterhin die große Herausforderung, diese, z.B. durch Unterstützung einer zentralen Stelle an der Hochschule, auch bei der hohen Mitarbeiterfluktuation gewährleisten zu können.

Abschließend möchte ich noch Marcus Nolte und Horea Cernat für die hervorragende Zusammenarbeit bei der Umsetzung der Maßnahmen danken. Besonderer Dank gilt zudem unserem Sicherheitsbeauftragten Bernd Amlang, der sich als – im positiven Sinne – zäher und überzeugender Sparringspartner erwies.

4.2.3 MAX

von Marcus Nolte & Mahmud Ağdas

Bei MAX (Modular Adaptive X-By-Wire) handelt es sich um einen 1:5 Modellversuchsträger, der von Studierenden am Institut für Regelungstechnik aufgebaut wurde. MAX verfügt über eine ähnliche Hardwarearchitektur und eine ähnliche Netzwerktopologie (CAN, FlexRay) wie das Versuchsfahrzeug MOBILE (4.2.2). Es dient in der instutseigenen Toolkette als Bindeglied zwischen Simulation und Realtest. Somit können Algorithmen, die in Simulink entwickelt werden, zunächst im kleinen Maßstab auf grundsätzliche Funktionalität überprüft werden. Somit ist es auch für Studierende möglich, im Rahmen von Abschluss und HiWi-Arbeiten an Fahrdynamikregelsystemen zu arbeiten und diese gefahrlos, im Vergleich zum Realtest mit dem zwei Tonnen schweren Realfahrzeug, zu testen.

Im vergangenen Berichtszeitraum wurde MAX einem Komplettumbau unterzogen. Vor dem Umbau verfügte das Modellfahrzeug über eine radindividuelle Lenkung sowie einen achsindividuellen Antrieb. Es fehlte somit die Möglichkeit, einzelne Räder anzusteuern. Damit konnte beispielsweise kein aktives Torque-Vectoring durchgeführt werden.

Im Rahmen einer Masterarbeit wurde das Fahrzeug zunächst vollständig demontiert. Anschließend wurde ein Konzept für die Integration der neuen Gleichstrommotoren entwickelt. Für die Platzierung von jeweils zwei Motoren wurde der Platz verwendet, den vorher das Differential der jeweiligen Achse einnahm. Zur Ansteuerung der Motoren wurden vier Treiberplatinen entwickelt und eine entsprechende Stromregelung auf den existierenden Mikrocontrollern in Betrieb genommen. Um kurzfristig mehr Drehmoment zur Verfügung stellen zu können, wurde zudem die Bordnetzspannung von 12 auf 24 V erhöht. Zusätzlich wur-

den verschiedene Platinen zur Signalaufbereitung zusammengefasst und somit der Kabelbedarf auf dem Fahrzeug deutlich reduziert. Die integrierten Motoren wurden im Rahmen der studentischen Arbeit zur Inbetriebnahme von rudimentären Torque-Vectoring Algorithmen zur Lenkungsunterstützung genutzt.

Neben der nun vergleichbaren Hardwarearchitektur zwischen Modell- und Realfahrzeug und den damit verbundenen zusätzlichen Möglichkeiten in der Fahrdynamikregelung, hat die Abschlussarbeit zudem zu einer deutlich verbesserten Dokumentation des Modellversuchsträgers geführt. Damit soll kommenden Studierenden der Einstieg in die Arbeit mit MAX erleichtert werden.

4.3 Abgeschlossene Promotionen

4.3.1 Towards Functional Safety in Drive-By-Wire Vehicles

von Peter Bergmiller

In modernen Pkw wird die Fahrzeugelektronik immer mehr zum Schlüsselement in Hinblick auf neue Funktionalitäten, jedoch auch zu einem wesentlichen Komplexitätstreiber. Die Entwicklung hin zu hochautomatisierten Systemen und der damit einhergehenden Forderung nach fehlertolerantem Systemverhalten (Aktorik, Entscheidung, Umfeldwahrnehmung) verschärft diese Problematik weiter. Um die damit einhergehenden Herausforderungen besser meistern zu können, wurde in der Dissertation zum Thema „Towards Functional Safety in Drive-by-Wire Vehicles“ ein systemorientierter Ansatz zur Entwicklung und Analyse solcher Systeme vorgestellt. Dabei wurden aus der Perspektive des Gesamtfahrzeugs heraus innovative Lösungsstrategien zur Unterstützung bei der Entwicklung und dem Design funktional sicherer Kontrollsysteme im Fahrzeug abgeleitet. Es wurde ein zweiteiliger Lösungsansatz verfolgt: Einerseits wurde eine Toolkette zur Unterstützung der Entwicklung neuartiger Fahrzeugelektroniksysteme umgesetzt. Mittels der Toolkette kann eine durchgängige Arbeitsumgebung von der Simulation über skalierte Modellfahrzeuge bis zum Experimentalfahrzeug dargestellt werden. Andererseits wurden die Architektur eines Drive-by-Wire-Systems sowie notwendige Mechanismen für deren kosteneffiziente Umsetzung unter Einhaltung funktionaler Sicherheitsziele anhand eines Experimentalfahrzeugs untersucht. Die entwickelte Architektur zielt insbesondere auf die Nutzung funktionaler Redundanzen auf Gesamtfahrzeugebene ab. Hierdurch können kostenträchtige klassische Redundanzmechanismen auf Komponentenebene bei gleichzeitiger Einhaltung der Sicherheitsziele teilweise

ersetzt werden. Die Vorgehensweise zum Sicherheitsnachweis für solche Systeme ist nach dem in der ISO 26262 beschriebenen Stand der Technik jedoch noch nicht vollständig abgedeckt und wurde deshalb detailliert betrachtet. Die als Grundlage für den Architekturansatz entworfenen Mechanismen werden in der Dissertation in langfristig und vorausschauend operierende „strategische“ Mechanismen und kurzfristig intervenierende „taktische“ Systeme unterteilt. Zur strategischen Vermeidung kritischer Situationen wurden mittels eines Optimierungsverfahrens Verschleiß und Lastzustände zwischen unterschiedlichen Akteuren im Fahrzeug domänenübergreifend ausgeglichen (z.B. Bremse, Lenkung, Antrieb, Batterie). Dies führt zu quantifizierbar reduzierten Ausfallraten und Verschleißniveaus der Komponenten. Zusätzlich wird der aktuelle Zustand des Eigenfahrzeugs im Rahmen eines Systems zur Selbstrepräsentation langfristig überwacht. Auf Basis dieses Wissens kann das Fahrzeug automatisch hoch sicherheitskritische Entscheidungen beispielsweise zur Wahl des am besten geeigneten Fahrmanövers treffen. Abbildung 4.14 veranschaulicht die Bedeutung einer geeigneten Selbstrepräsentation am beispielhaften Vergleich des Versuchsfahrzeug MOBILE (Details im Folgenden) und eines hypothetischen Verhaltens eines Zebras in einer kritischen Situation.

Taktische Maßnahmen überwachen den Zustand des Eigenfahrzeugs kontinuierlich auf Basis lokaler Messungen und intervenieren im Fehlerfall innerhalb weniger Millisekunden. Hier wurde als wesentliche Komponente ein probabilistischer und echtzeitfähiger Diagnoseansatz eingeführt, der entsprechend des aktuell wahrscheinlichsten Fehlers unterschiedliche Aktionen im Rahmen des Degradationskonzepts ausführen kann. Beispielsweise wird bei Ausfall eines Steuergeräts oder einer Teilfunktion auf dem Steuergerät (z.B. Lenkfunktion) sofort und für den Fahrer unmerkbar auf die Rückfalllenkfunktion umgeschaltet, sodass ein sicherer weiterer Betrieb des Fahrzeugs bis zum Erreichen eines

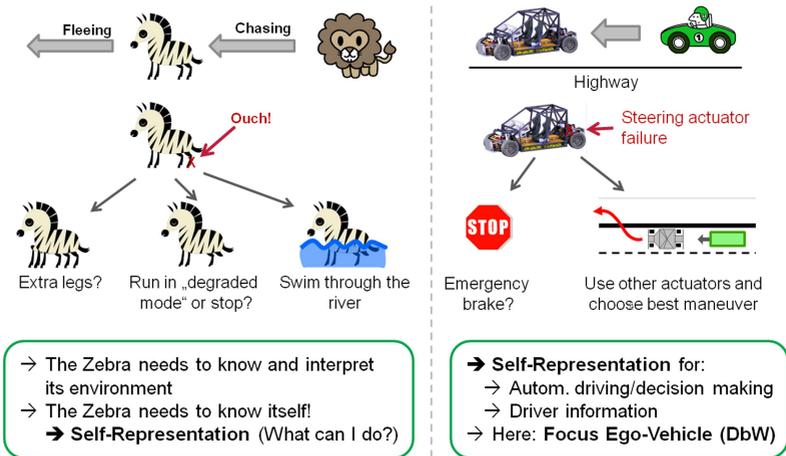


Abbildung 4.14: Veranschaulichung der Notwendigkeit zur Selbstrepräsentation als Grundlage für eine nachhaltige Entscheidungsfindung

sicheren Zustandes gewährleistet wird. Um die Erfüllung funktionaler Sicherheitsziele mittels der vorgestellten Ansätze zu evaluieren, wurde eine hierarchisch strukturierte Herangehensweise (Abbildung 4.15) zur Gesamtfahrzeuganalyse vorgestellt, die funktionale Redundanzen und Wechselwirkungen im Gesamtfahrzeug berücksichtigt. Dabei wird die Gesamtfahrfunktion strukturiert über hierarchische Ebenen hinweg untergliedert. Die Verknüpfung der Funktionskomponenten auf den einzelnen Ebenen erlaubt im Anschluss eine automatisierte Bewertung des Gesamtsystems sowie beispielsweise eine Schwachstellenanalyse. Der Ansatz wurde praktisch auf das aufgebaute Versuchsfahrzeug MOBILE angewendet. Die vergleichsweise effiziente Analyse des komplexen Systems sowie die erfolgreiche Allokierung von Sicherheitsanforderungen zu Teilkomponenten zeigen die Vorteile der gesamtheitlichen Herangehensweise auf Fahrzeugebene.

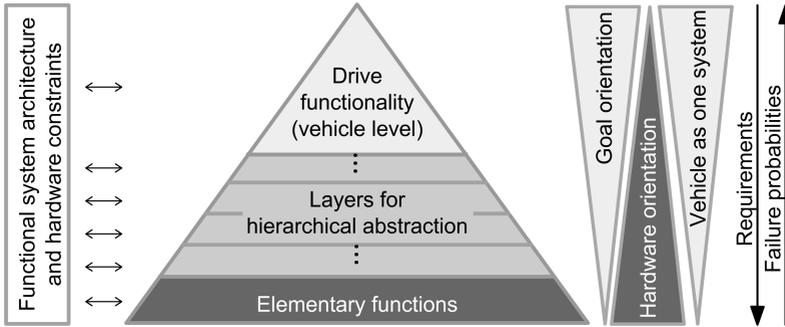


Abbildung 4.15: Hierarchische Systemanalyse zur Sicherheitsbewertung komplexer vernetzter Fahrzeugfunktionen

Das Versuchsfahrzeug MOBILE (Abbildung 4.16) verfügt dabei über einen radindividuellen Allradantrieb, elektromechanische Bremsen und eine elektrische Einzelradlenkung an allen vier Rädern. Damit erlaubt das Fahrzeug auch einen Ausblick auf die notwendige Bewertung zukünftiger Regelungskonzepte, die auf zunehmend mehr verfügbare Aktoren im Fahrzeug aufbauen werden. Das Fahrzeug wurde am Institut für Regelungstechnik mit Unterstützung durch das Institut für Konstruktionstechnik aufgebaut und in zahlreichen Prüfaufbauten erprobt (Abbildung 4.17).

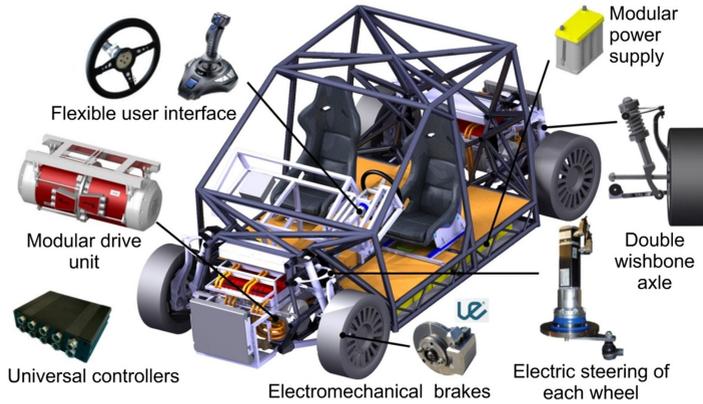


Abbildung 4.16: Übersicht der Systemkomponenten des aufgebauten Versuchsfahrzeugs MOBILE

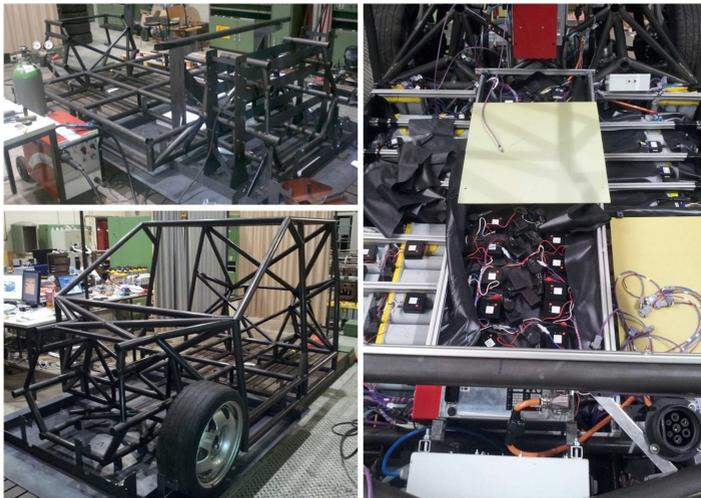


Abbildung 4.17: Schritte beim Aufbau des Versuchsfahrzeugs MOBILE am Institut für Regelungstechnik (mechanische Konstruktion, elektrische Energieversorgung und elektronische Vernetzung des Fahrzeugs)

4.3.2 Wahrnehmungsgestützte Lokalisierung in fahrstreifengenauen Karten für Assistenzsysteme und automatisches Fahren in urbaner Umgebung

von Richard Matthaei

Motiviert durch die Applikation eines innerstädtischen Kreuzungsassistenten, dessen Aufgabe in der Warnung des Fahrers vor Kollisionen mit entgegenkommendem Verkehr beim Linksabbiegen besteht, und durch die Vision des innerstädtischen automatischen Fahrens wird in dieser Arbeit der Einsatz von fahrstreifengenauen Karten untersucht. Fahrstreifengenaue Karten bieten eine kompakte Darstellung des stationären Fahrzeugumfelds und schließen eine Lücke zwischen Karten mit hochgenauen Punktlandmarken oder gitterbasierten Karten auf der einen und eher unpräzisen Straßenkarten, die primär für Navigationszwecke eingesetzt werden, auf der anderen Seite.

Mit dem Ziel einer funktionalen Einordnung von Kartendaten in das Gesamtsystem „autonomes Fahrzeug“ wird im ersten Hauptteil der Arbeit eine funktionale Systemarchitektur vorgestellt, die ausgehend von einer Definition funktionaler Anforderungen an ein autonomes Fahrzeug die Aspekte Bedienung durch den Menschen, Missionsumsetzung, Umfeld- und Selbstwahrnehmung, Karten, Lokalisierung, Sicherheit und Kooperation berücksichtigt. Der Beitrag zum Stand der Forschung liegt in der Zusammenführung bisher konkurrierender Ansätze ortsungsbasierten bzw. wahrnehmungsbasierten automatischen Fahrens in einer ganzheitlichen Systembeschreibung.

Die beiden nachfolgenden Teile widmen sich der kartenrelativen Lokalisierung unter Verwendung von fahrstreifengenauen Karten. Es wird ein konzeptionell neuer Ansatz vorgestellt und evaluiert, der lediglich die Fluchten zwischen Kartendaten und wahrgenommenen Umfeld-

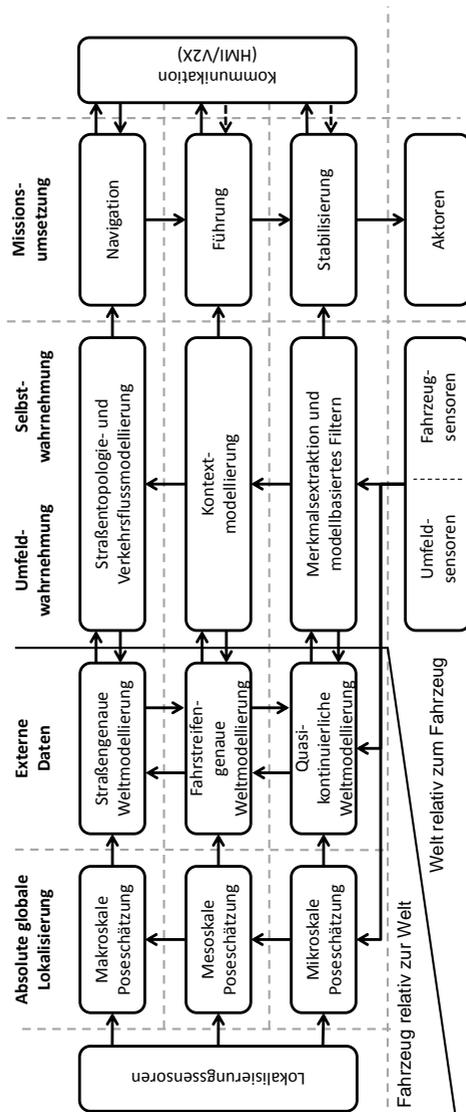
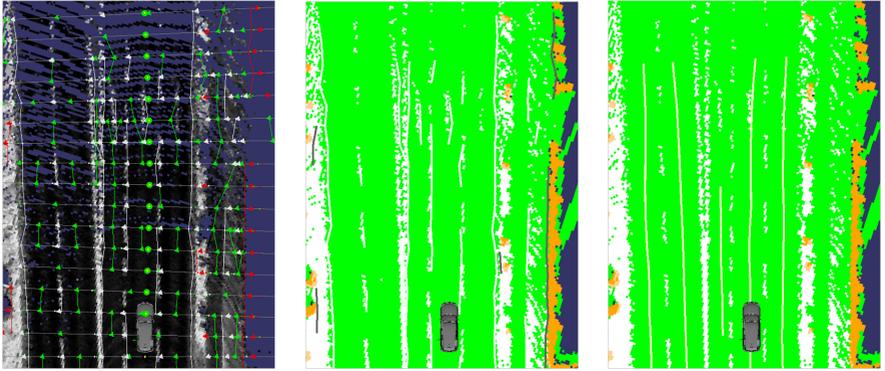


Abbildung 4.18: Funktionale Systemarchitektur für ein *autonomes Fahrzeug* (HMI: Human Machine Interface).

merkmalen abgleicht, und so geringe Anforderungen an die Interpretationsleistung des Wahrnehmungssystems stellt. Dieser Ansatz wird verglichen mit einem Verfahren, das einen Abgleich der Fahrstreifenmitten durchführt, deren Bestimmung mittels Sensordaten aufwendiger ist.

Die Extraktion der erforderlichen Umfeldmerkmale (Fluchten und Fahrstreifenmitten) mit Hilfe gitterbasierter Ansätze wird im zweiten Hauptteil vorgestellt. Die Extraktion basiert über den Stand der Forschung hinausgehend auf einer simultanen Berücksichtigung von Randbebauung und Fahrbahnmarkierungen auf mehrstreifigen innerstädtischen Straßen. Eine Evaluation bestätigt eine für den Einsatzzweck ausreichende Verfügbarkeit und Genauigkeit.

Im dritten Hauptteil wird experimentell bestätigt, dass eine Verbesserung der kartenrelativen Poseschätzung insbesondere bei Ausfällen des GPS-Signals durch beide Ansätze unter der Bedingung einer korrekten Fahrstreifenzuordnung erreicht wurde.



- (a) Extraktion des Straßenverlaufs mit Hilfe der Road-Elements. Reflektanzgitter im Hintergrund. Linien/Dreiecke auf horizontalen Linien: Freibereiche und Belegbereiche, helle Linien vertikal: Fahrbahnmarkierungen.
- (b) Extrahierte Fluchten: Fahrbahnmarkierungen (weiße Linien vertikal) und Randbebauung (grau Linien vertikal). Im Hintergrund: Fusionierte Tristate-Repräsentation (hellgraue Fläche: nicht-belegte Bereiche, weiß: Fahrbahnmarkierungen, dunkelgraue Fläche: Belegt durch erhabenes Hindernis).
- (c) Extrahierte Fahrstreifenmitten (weiße, durchgängige vertikale Linien zwischen Markierungen).

Abbildung 4.19: Ergebnis der Extraktion der Fahrstreifenmitten und Fahrbahnfluchten.

5 Ereignisse

5.1 Carolo-Cup 2015

von der Pressestelle der TU Braunschweig

Das Team „Spatzenhirn“ der Universität Ulm hat mit seinem autonomen Modellfahrzeug „Spatz“ den achten Carolo-Cup der Technischen Universität Braunschweig gewonnen und setzte sich gegen 19 Konkurrenten aus Deutschland sowie aus Schweden und Russland durch. Die Modellfahrzeuge der studentischen Teams im Maßstab 1:10 mussten im Wettbewerb zeigen, wie sie mit eingebauten Kameras und Sensoren autonom die Spur auf einer Rennstrecke und in Parklücken finden.

Die Ulmer Nachwuchsingenieure überzeugten mit der besten Gesamtleistung. Ihr „Spatz“ meisterte souverän das Einparken, bewies seine Schnelligkeit mit 242 gefahrenen Metern in zwei Minuten auf der Rennstrecke, die er fehlerfrei meisterte, und wich gekonnt den Hindernissen auf dem Parcours aus. Von der Titelverteidigung zeigte sich der Teamleiter Tobias Englert trotzdem überrascht. „Unser Team ist zum Vorjahr neu zusammengesetzt, neben der robusten Technik hat uns unser unglaublicher Teamgeist selbst in stressigen Situationen zum Sieg getragen.“ Nach 2011 und 2014 ist es bereits der dritte Sieg der Ulmer.

Das Braunschweiger Team „crazy dancing little caroline“ (CDLC) mit seinem Fahrzeug „Carolinchen“ errang zum dritten Mal hintereinander die Vizemeisterschaft. „Carolinchen“ kam anfänglich nicht richtig

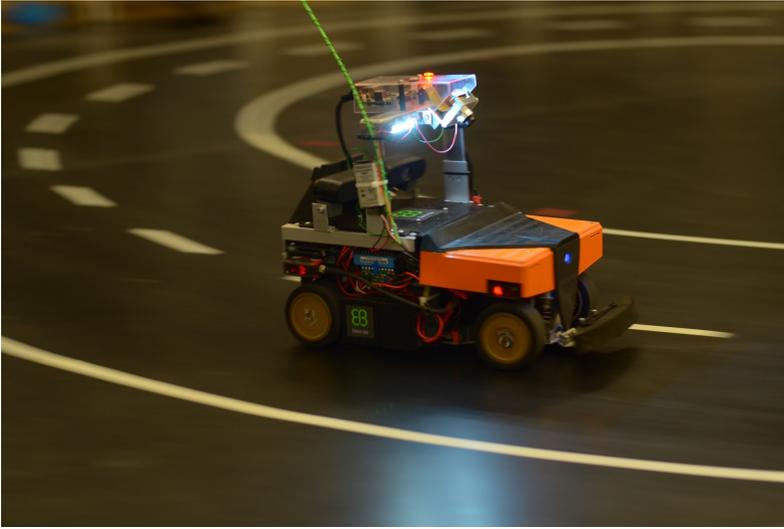


Abbildung 5.1: Team Spatzenhirn mit ihrem Spatz

in Fahrt. Beim rückwärts Einparken patzte sie. Erst gab es Probleme mit dem Regler, dann verhinderte ein Softwarefehler das Einparken, sodass sie in der Disziplin ohne Punkte blieb. Aber sie kämpfte sich heran. Auf der Rennstrecke fuhr sie auf den vierten Platz, um dann in der Königsdisziplin „Rundkurs mit Hindernissen“ das Feld von hinten aufzuräumen. Souverän wich „Carolinchen“ den Hindernissen aus, beachtete alle Vorfahrtsregeln, hielt punktgenau an den Haltelinien und legte dabei die meisten gefahrenen Meter zurück. Das Braunschweiger Team freute sich zwar nach fast einjähriger Arbeit über den Erfolg: „Wenn wir die gleiche Leistung im Wettkampf gezeigt hätten wie im Training, dann wäre mehr drin gewesen“, resümiert Thomas Holleis. „Jetzt ist erst einmal Klausurenzeit angesagt, danach geht es weiter mit den Vorbereitungen und dem Sammeln von neuen Technikideen für den Carolo-Cup 2016“.

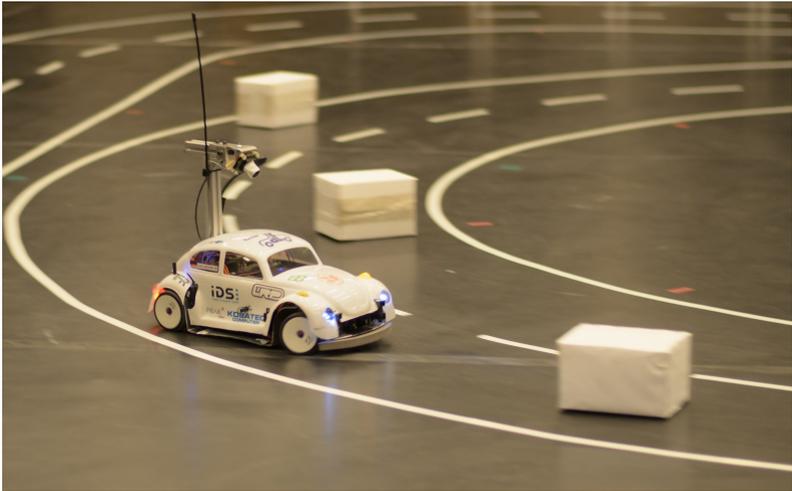


Abbildung 5.2: Team CDLC mit Carolinchen

Den dritten Platz belegte das Team „KITcar“ vom Karlsruher Institut für Technologie mit seinem Fahrzeug „Mrs. Fourious“. Das Team ging das erste Mal beim Carolo-Cup an den Start, arbeitet aber bereits seit 2013 an seiner Teilnahme. „Wir haben uns auf die Basics konzentriert und haben beim Start auf Sicherheit und nicht auf Schnelligkeit gesetzt“, das hat sich ausgezahlt, freut sich der Karlsruher Teamleiter Piotr Orzechowski über die überraschend gute Platzierung.

Die Siegermannschaften können sich über ein Preisgeld von insgesamt 10.000 Euro freuen. Das Ulmer Team erhält 5.000 Euro. Die Zweit- und Drittplatzierten bekommen 3.000 bzw. 2.000 Euro.

Gleichzeitig wurde zum dritten Mal der Junior-Cup, an dem drei Teams teilnahmen, ausgetragen. An weniger komplexen Aufgaben konnten sich hier Studierende, die das erste Mal am Start waren, messen. Den Junior-Cup holte sich mit großem Vorsprung das Team GITriviES der



Abbildung 5.3: Team KITcar mit Mrs. Fourious

Hochschule Esslingen. Für den Sieg erhielten das Siegerteam ein Preisgeld von 500 Euro.

Aufgrund der Rekordteilnahme von insgesamt 20 Teams mit über 180 Teilnehmerinnen und Teilnehmern wurde es in diesem Jahr in der Aula der TU Braunschweig eng, so dass die Zuschauer den Wettkampf nur als Übertragung im Hörsaal und im Internet mitverfolgen konnten. Für das nächste Jahr sucht der Organisator, das Institut für Regelungstechnik der TU Braunschweig, einen neuen Veranstaltungsort. „Die wachsende Teilnahme an dem Wettbewerb zeigt, dass praxisnahes Lernen bei den Studierenden hervorragend ankommt und die Studierenden bestens auf den Beruf vorbereitet“, so Professor Markus Maurer, der am Institut für Regelungstechnik am autonomen Fahren forscht. Um auch in Zukunft hervorragende Rahmenbedingungen zu schaffen, freuen wir uns, dass wir für den Carolo-Cup 2016 die Stadthalle Braunschweig als

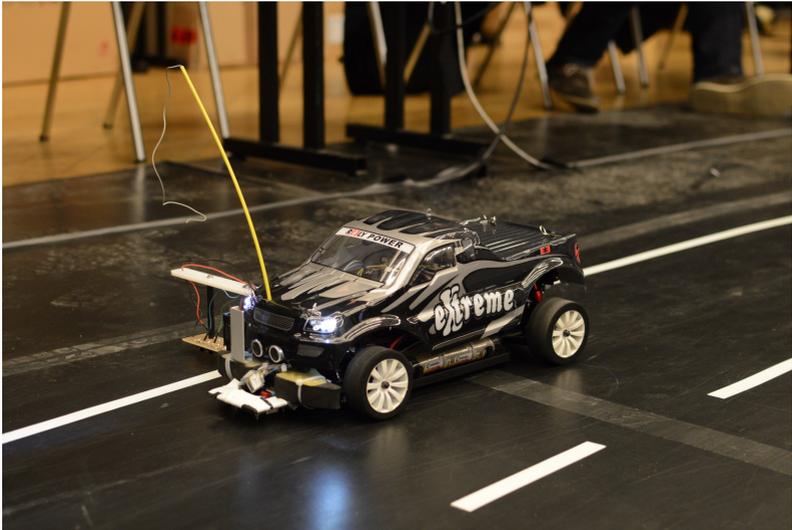


Abbildung 5.4: Beitrag des Team GITrives

Austragungsort gewinnen konnten. Wir sind gespannt auf den nächsten Cup unter veränderten räumlichen Rahmenbedingungen.

5.2 Demografiekongress des Landes Niedersachsen

von Simon Ulbrich

Das Institut für Regelungstechnik wurde eingeladen, bei dem Demografiekongress des Landes Niedersachsen 2015 „Leonie“, einen Versuchsträger des Projekts Stadtpilot, zu präsentieren. Der Kongress in Hannover stand unter dem Motto „Zukunft gemeinsam gestalten“ und bot 600 Teilnehmern aus Wirtschaft, Verbänden, Wissenschaft, Verwaltung und Politik die Möglichkeit, Chancen und Herausforderungen des demografischen Wandels zu diskutieren.



Abbildung 5.5: Ministerpräsident Stefan Weil (links) diskutiert mit Professor Markus Maurer (rechts) die Chancen des automatisierten Fahrens für ältere Fahrer|innen. Bildrechte: Jasper Ehrich für die Niedersächsische Staatskanzlei

Im Rahmen des Kongresses interessierten sich unter anderem der Niedersächsische Ministerpräsident Stefan Weil und Bundesministerin Manuela Schwesig dafür, wie durch automatisiertes Fahren und Fahrerassistenz für ältere Fahrer|innen Individualmobilität auch noch bis ins hohe Alter erhalten bleiben könnte.

Unser Team hat viele spannende Anregungen aus Politik und Wirtschaft erhalten und konnte Mobilitätsforschung an der TU Braunschweig und am Niedersächsischen Forschungszentrum Fahrzeugtechnik (NFF) prominent in den Medien und vor Ort einem großen Publikum präsentieren.



Abbildung 5.6: Stand auf dem Demografiekongress

5.3 Einweihung des NFF Forschungsneubaus

von Torben Stolte

Die Woche rund um den Carolo Cup hatte es in sich. Neben der Durchführung des Wettbewerbs, der einen Großteil der Mitarbeiter des Instituts bindet, stand gleich am folgenden Tag die Eröffnung des NFF-Neubaus am Flughafen in Braunschweig auf dem Programm. Der Lehrstuhl für Elektronische Fahrzeugsysteme – war mit dem Fahrzeugversuchsträger MOBILE und dem 1:5 Modellfahrzeug MAX vertreten.

Für den Neubau und dessen umfangreiche Ausstattung wurden 60 Millionen Euro aus Mitteln des Bundes, des Land Niedersachsen und der Deutschen Forschungsgemeinschaft investiert. Der Neubau bietet 150 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern auf 7500 m² ausreichend Platz und Gelegenheit für intensive interdisziplinäre Forschung im Bereich Mobilität.

Für den Festakt zur Eröffnung wurden rund 400 geladene Gäste erwartet. Als Redner kamen neben dem Präsidenten der TU Braunschweig Prof. Jürgen Hesselbach, der Bürgermeister der Stadt Braunschweig Ulrich Markurth, die niedersächsische Ministerin für Wissenschaft und Kultur



Abbildung 5.7: Torben Stolte erläutert den Gästen einer VIP-Führung den Versuchsträger MOBILE. Unter den interessierten Zuhörern finden sich u.a. der Präsident der TU Braunschweig Prof. Jürgen Hesselbach (vorne links) und das Ehepaar Ursula und Ferdinand Piëch (Mitte). Bildrechte: NFF-Pressestelle/Fotograf: C. Bierwagen.

Dr. Gabriele Heinen-Kljajić und auch der damalige Vorstandsvorsitzende der Volkswagen Aktiengesellschaft Prof. Dr. Martin Winterkorn. Weitere bekannte Gäste waren Ursula und Ferdinand Piëch.

Neben dem eigentlichen Festakt waren über das Technikum des Neubaus Exponate der am NFF beteiligten Institute verteilt, welche von den Gästen besichtigt werden konnten. Unser Lehrstuhl steuerte die Exponate MOBILE und MAX und zwei Poster zu den Referenzsensorik- und Vehicle-in-the-Loop-Versuchsträgern bei. Ausgehend von der Ausstellung unserer aktuellen Forschung entstanden viele spannende Gespräche mit interessierten Gästen.

Für die hochkarätigen Gäste gab es VIP-Führungen zu den Exponaten. Dort wurden die Teilnehmenden in Kurzvorträgen über die Exponate

informiert. Teilnehmer an den Führungen waren u.a. die damaligen Vorstands- und Aufsichtsratsvorsitzenden der Volkswagen AG. Eine Station der VIP-Führungen war der Versuchsträger MOBILE. MOBILE konnte trotz der Herausforderungen bezüglich der Hochvoltsicherheit rechtzeitig für die Eröffnung ertüchtigt werden und zeigte sich mit improvisierter Fremdspeisung des Niederspannungsnetzes von seiner besten Seite.

Ab 16 Uhr klang ein langer, aber spannender Tag allmählich aus. Mein Dank geht an dieser Stelle noch einmal an die Kollegen, die sich tatkräftig bei der Betreuung unserer Exponate engagiert haben.

Teil II

**Aktivitäten von
Mitarbeitern, Ehemaligen
und Freunden**

6 Pilotiertes Fahren bei AUDI

von Thomas Müller

Im Verlauf des letzten Jahres konnte die AUDI AG gleich zwei Highlights des pilotierten Fahrens präsentieren: Im Oktober 2014 hat AUDI mit „Bobby“ pilotiertes Fahren im fahrphysikalischen Grenzbereich präsentiert; im Januar 2015 wurde pilotiertes Fahren auf über 550 Meilen, von Stanford nach Las Vegas, bei der Consumer Electronics Show (CES) 2015 mit „Jack“ gezeigt.



Abbildung 6.1: Pilotiertes Fahren am Limit beim DTM-Finale auf dem Hockenheimring. Bildrechte: AUDI AG



Abbildung 6.2: Pilotiertes Fahren im öffentlichen Straßenverkehr auf dem Weg nach Las Vegas. Bildrechte: AUDI AG

Mit Spitzengeschwindigkeiten bis zu 240 Stundenkilometer ist der *AUDI RS7 piloted driving concept* um den Hockenheimring gefahren: ohne Fahrer am Steuer. Mit Vollgas beschleunigt der 560 PS starke Technikträger auf den sechs Geraden der Strecke und bremst exakt vor den 17 Kurven ab. Mit präzisiertem Einlenken und perfekt dosiertem Gaseinsatz überzeugt „Bobby“ auf ganzer Rennlinie. Nach einer Rundenzeit von knapp über zwei Minuten kommt das Fahrzeug zum Stehen. Der Beweis für das sportlichste pilotiert fahrende Auto der Welt ist erbracht. Peter Bergmiller (vgl. Abschnitt 4.3.1) - vormals Mitarbeiter am Institut für Regelungstechnik der TU Braunschweig - hat bei AUDI die Projektleitung für das Projekt und „Bobby“ übernommen. Das Projekt entstand in Zusammenarbeit mit der Volkswagen Konzernforschung und Chris Gerdes von der Stanford University.



Abbildung 6.3: Bundesverkehrsminister Dobrindt lässt sich von „Jack“ chauffieren. Bildrechte: AUDI AG

Darüber hinaus testet AUDI das pilotierte Fahren auch in der anspruchsvollen Situation des realen Straßenverkehrs. Anfang 2015 fuhr „Jack“, ein *AUDI A7 piloted driving concept*, mit seriennaher Sensorik vom Silicon Valley nach Las Vegas zur Consumer Electronics Show (CES). Kurz darauf fuhr dieses Auto auch auf deutschen Autobahnen selbständig mit bis zu 130 km/h. AUDI demonstrierte etwa dem Bundesverkehrsminister Alexander Dobrindt und einigen seiner EU-Kollegen das Potential automatisierter Fahrzeuge im realen Straßenverkehr. Die Entwicklungsarbeit auf den unterschiedlichsten Testfeldern bringt wertvolle Erkenntnisse für die Seriensysteme - von der Sensortechnik über die Datenverarbeitung bis hin zur Fahrzeugsteuerung und -stabilisierung.

„Jack“ wurde im Entwicklungsverbund der Volkswagen Konzernforschung zusammen mit dem Volkswagen Electronics Research Lab (ERL)

und AUDI gemeinsam entwickelt. Das Institut für Regelungstechnik hat die taktische Verhaltensplanung für „Jacks“ Fahrstreifenwechsel entwickelt und an der Umfeldwahrnehmung und Kontextmodellierung mitgewirkt (vgl. Abschnitt 4.1.8).

Teil III

**Publikationen und
Medienberichte**

7 Publikationen

Bergmiller, P.: *Towards Functional Safety in Drive-By-Wire Vehicles*. Braunschweig, Technische Universität Braunschweig, Diss., 2015

Bergmiller, P.: *Towards Functional Safety in Drive-by-Wire Vehicles*. Springer International Publishing, 2015

Choi, J.: Hybrid Map-based SLAM using a Velodyne Laser Scanner. In: *2014 IEEE International Annual Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*. 2014

Choi, J.; Maurer, M.: Simultaneous localization and mapping based on the local volumetric hybrid map. In: *2015 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*. 2015

Choi, J.; Maurer, M.: Hybrid Map-based SLAM with Rao-Blackwellized Particle Filters. In: *18th International Conference on Information Fusion (FUSION)*. 2014

Dierkes, F.; Raaijmakers, M.; Schmidt, M. T.; Bouzouraa, M. E.; Hofmann, U.; Maurer, M.: Towards a Multi-Hypothesis Road Representation for Automated Driving. In: *2015 IEEE International Annual Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, 2015

Gasser, T. M.; Schmidt, E.; Bengler, K.; Chiellino, U.; Diederichs, F.; Eckstein, L.; Flemisch, F.; Fraedrich, E.; Fuchs, E.; Gustke, M.; Hüttinger, R. H. M.; Jipp, M.; Köster, F.; Kühn, M.; Lenz, B.; Lotz-Keens, C.; Maurer, M.; Meurer, M.; Meuresch, S.; Müller, N.; Reitter, C.; Reschka, A.; Riegelhuth, G.; Ritter, J.; Siedersberger, K.-H.; Stankowitz, W.; Trimpop, R.; Zeeb, E.: Bericht zum Forschungsbedarf - Runder Tisch Automatisiertes Fahren - AG Forschung / Bundesanstalt für Straßenwesen. Bergisch-Gladbach, 2015. – Forschungsbericht

Heck, P.: *Grundlagen für ein bordautonomes Handlungskonzept zur Unfallfolgenminderung im Querverkehr*. Braunschweig, Technische Universität Braunschweig, Diss., 2015

Matthaei, R.: *Wahrnehmungsgestützte Lokalisierung in fahrstreifengenauen Karten für Assistenzsysteme und automatisches Fahren in urbaner Umgebung*. Braunschweig, Technische Universität Braunschweig, Diss., 2015

Matthaei, R.: *Wahrnehmungsgestützte Lokalisierung in fahrstreifengenauen Karten für Assistenzsysteme und automatisches Fahren in urbaner Umgebung*. Shaker Verlag, 2015 (Berichte aus der Fahrzeugtechnik)

Matthaei, R.; Reschka, A.; Bagschik, G.; Escher, M.; Menzel, T.; Rieken, J.; Scheide, T.; Schuldt, F.; Ulbrich, S.; Wendler, J. T.; Hecker, P.; Maurer, M.: Das Projekt Stadtpilot - Automatisiertes Fahren an der TU Braunschweig. In: *Zeitschrift für die gesamte Wertschöpfungskette Automobilwirtschaft* 01/2015 (2015), Nr. 1, S. 12–23

Matthaei, R.; Reschka, A.; Rieken, J.; Dierkes, F.; Ulbrich, S.; Winkle, T.; Maurer, M.: Autonomes Fahren. In: Winner, H. (Hrsg.); Hakuli, S. (Hrsg.); Lotz, F. (Hrsg.); Singer, C. (Hrsg.): *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*. Springer Vieweg, 2015, S. 1139–1165

- Maurer, M. (Hrsg.); Gerdes, C. (Hrsg.); Lenz, B. (Hrsg.); Winner, H. (Hrsg.): *Autonomes Fahren - Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*. Springer Vieweg, 2015
- Reschka, A.: Sicherheitskonzept für autonome Fahrzeuge. In: Maurer, M. (Hrsg.); Gerdes, C. (Hrsg.); Lenz, B. (Hrsg.); Winner, H. (Hrsg.): *Autonomes Fahren - Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*. Springer Vieweg, 2015, S. 490–513
- Reschka, A.; Bagschik, G.; Ulbrich, S.; Nolte, M.; Maurer, M.: Ability and skill graphs for system modeling, online monitoring, and decision support for vehicle guidance systems. In: *2015 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*. 2015
- Reschka, A.; Maurer, M.: Conditions for a safe state of automated road vehicles. In: *it - information technology* 57 (2015), Nr. 4, S. 215–222
- Reschka, A.; Nolte, M.; Stolte, T.; Schlatow, J.; Ernst, R.; Maurer, M.: Specifying a middleware for singular or distributed embedded systems for ADAS. In: *2014 IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety (ICVES)*. 2014
- Reschka, A.; Rieken, J.; Maurer, M.: Entwicklungsprozess von Kollisionsschutzsystemen für Frontkollisionen: Systeme zur Warnung, zur Unfallschwereminderung und zur Verhinderung. In: Winner, H. (Hrsg.); Hakuli, S. (Hrsg.); Lotz, F. (Hrsg.); Singer, C. (Hrsg.): *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*. Springer Vieweg, 2015, S. 913–935
- Rieken, J.; Matthaei, R.; Maurer, M.: Benefits of Using Explicit Ground-Plane Information for Grid-based Urban Environment Modeling. In: *18th International Conference on Information Fusion (FUSION)*. 2015

- Rieken, J.; Matthaei, R.; Maurer, M.: Toward Perception-Driven Urban Environment Modeling for Automated Road Vehicles. In: *2015 IEEE International Annual Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*. 2015
- Schmidt, M. T.; Hofmann, U.; Bouzouraa, M. E.: A novel goal oriented concept for situation representation for ADAS and automated driving. In: *2014 IEEE International Annual Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, 2014
- Schmidt, M. T.; Hofmann, U.; Neumaier, S.: 3D Lane Boundary Tracking Using Local Linear Segments. In: *2015 IEEE International Annual Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, 2015
- Schuldt, F.; Menzel, T.; Maurer, M.: Eine Methode für die Zuordnung von Testfällen für automatisierte Fahrfunktionen auf X-in-the-Loop Verfahren im modularen virtuellen Testbaukasten. In: *Workshop Fahrerassistenzsysteme*. 2015
- Stolte, T.; Bagschik, G.; Reschka, A.; Maurer, M.: Automatisch fahrerlos fahrendes Absicherungsfahrzeug für Arbeitsstellen auf Autobahnen (aFAS). In: *AAET - Automatisierungssysteme, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel*. 2015
- Stolte, T.; Reschka, A.; Bagschik, G.; Maurer, M.: Towards Automated Driving: Unmanned Protective Vehicle for Highway Hard Shoulder Road Works. In: *2015 IEEE International Annual Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*. 2015
- Ulbrich, S.; Grossjohann, S.; Appelt, C.; Homeier, K.; Rieken, J.; Maurer, M.: Structuring Cooperative Behavior Planning Implementations for Automated Driving. In: *2015 IEEE International Annual Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*. 2015

- Ulbrich, S.; Maurer, M.: Situation Assessment in Tactical Lane Change Behavior Planning for Automated Vehicles. In: *2015 IEEE International Annual Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*. 2015
- Ulbrich, S.; Maurer, M.: Towards Tactical Lane Change Behavior Planning for Automated Vehicles. In: *2015 IEEE International Annual Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*. 2015
- Ulbrich, S.; Menzel, T.; Reschka, A.; Schuldt, F.; Maurer, M.: Defining and Substantiating the Terms Scene, Situation and Scenario for Automated Driving. In: *2015 IEEE International Annual Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*. 2015
- Ulbrich, S.; Menzel, T.; Reschka, A.; Schuldt, F.; Maurer, M.: Definition der Begriffe Szene, Situation und Szenario für das automatisierte Fahren. In: *Workshop Fahrerassistenzsysteme*. 2015

8 Die Arbeitsgruppe in den Medien

Unser Institut konnte auch im akademischen Jahr 2014/2015 wiederum ein großes Medienecho erzielen. Im Folgenden findet sich eine Auswahl von Beiträgen und Artikeln in diversen Print- und Onlinemedien.

8.1 Radio und Fernsehen

Medium	Datum	Artikel
NDR Info	08.2014	Durchblicker: Mobile - das Elektroauto mit 600 PS
TU Braunschweig	10.2014	Imagefilm im Rahmen des TU9-MOOC Programmes
NDR	9.11.2014	Hallo Niedersachsen: Ehemalige Grenzregion: Vom Zonenrandgebiet zur Boom-Region
NDR	11.02.2015	Hallo Niedersachsen: Carolo Cup: Modellautorennen in Braunschweig
NDR	11.02.2015	Carolinchen steht vor harter Konkurrenz
Der-Autotester.de	03.2015	Interview Autonomes Fahren
HR	06.05.2015	Alles Wissen: Zukunft der Mobilität: Automatisiertes Fahren
RTL Nord	02.06.2015	Demografiekongress in Hannover
Bayern 2	14.09.2015	Radiowelt: Autonomes Fahren
WDR 5	08.10.2015	Zeitzeichen: 2010 - Das erste automatische Fahrzeug
RTLII	18.10.2015	Echtzeit: Autonomes Auto

8.2 Printmedien

Medium	Datum	Artikel
Umweltzeitung für die Region Braunschweig	11.12.2014	Autonom fahrende Autos - Der Computer als Chauffeur
Braunschweiger Zeitung, Helmstedter Nachrichten, Peiner Nachrichten, Wolfenbütteler Zeitung und Anzeiger	12.02.2015	Die Spatzenhirne wieder ganz vorn
Dingolfinger Anzeiger, Landshuter Zeitung, Donau Anzeiger, Allg. Laber-Zeitung, Kötzinger Zeitung, Straubinger Abendblatt, Plattlinger Anzeiger, Donau-Post, Chamer Zeitung, Landauer Zeitung, Moosburger Zeitung, Hallertauer Zeitung, Vilsbiburger Zeitung, Bogener Zeitung, Rottenburger Allgemeine	11.02.2015	Autos von klugen Köpfen
Schwaebische Zeitung Laupheim	17.02.2015	Spatz 6 siegt souverän beim Carolo Cup
Braunschweig Report	18.02.2015	Spatzenhirn holte den Titel
C't Magazin für Computer Technik	21.02.2015	Carolo-Cup 2015: Autonomes Fahren im Miniformat
VDI Nachrichten	Ausgabe 6 27.03.2015	Spatz überholt Carolinchen beim Carolo-Cup
Alb Bote	21.03.2015	Wenn die Technik die Macht übernimmt
Regjo	04.2014	Schlauer Schein
Der Freitag	16.04.2015	Auf Autopilot
Saarbrücker Zeitung	22.04.2015	Das Auto wird autonom
Bild der Wissenschaft	18.11.2014	Einfach mal loslassen

8.3 Veröffentlichungen auf Internetseiten

Medium	Datum	Artikel
Neue Zürcher Zeitung	21.01.2015	Vom Automobil zum Fahrautomaten
Loewenstadt.braunschweig.de	05.02.2015	Faszination Auto(nom)
T-Online, Tageblatt.de, welt.de, focus.de, wetter.info, heutenachrichten.com, arcor.de	10.02.2015	Autonom fahrende Modellautos düsen um die Wette
NDR	10.02.2015	„Spatzenhirne“ flitzen an allen vorbei
NDR	10.02.2015	„Carolinchen steht vor harter Konkurrenz“, Video-Beitrag
Tagesschau.de	10.02.2015	Blickpunkte - Bilder des Tages, 10.02.2015
Unser38.de	10.02.2015	Mehr Sicherheit dank Ersatzfahrzeug - Teilnehmerrekord beim 8. Carolo-Cup
Antenne.com	10.02.2015	Studenten konkurrieren mit selbstfahrenden Autos
loewenstadt.braunschweig.de	10.02.2015	Faszination Auto(nom)
Insuedthueringen.de (Kinderzeitung)	10.02.2015	Kleine Autos von klugen Köpfen
Die Welt Online	10.02.2015	Autonom fahrende Modellautos düsen um die Wette
Braunschweigheute.de	10.02.2015	Studierende kämpfen mit autonomen Miniaturautos um den Carolo Cup
unser38Online	11.02.2015	Mehr Sicherheit dank Ersatzfahrzeug
P.T. Magazin Online	11.02.2015	Autonomes Fahren im Maßstab 1:10
Augsburger Allgemeine.de	16.02.2015	Spatzenhirn punktet beim Einparken
swp.de	16.02.2015	Modellauto Spatz 6 der Uni Ulm überzeugt beim Carolo Cup

Medium	Datum	Artikel
der-autotester.de	19.03.2015	Fahren ganz ohne Fahrer! Wann chauffieren uns die Autos? - Hier die Antworten von Prof. Markus Maurer
Autogazette.de	05.05.2015	Daimler: Diskurs zum autonomen Fahren anschieben
Die Welt Online	05.05.2015	Daimler stellt erste Studie zum autonomen Fahren vor
PRESSEPORTAL	05.05.2015	Gesellschaft, Mobilität, Zukunft - Daimler und Benz Stiftung stellt Weißbuch „Villa Ladenburg - Autonomes Fahren“ vor
Eurotransport Online	08.05.2015	Umfassende, unabhängige Studie zur Mobilität von morgen Weißbuch zum autonomen Fahren - Selbstfahrendes Fahrzeug zum Greifen nah
eurotransport.de	21.09.2015	Ohne Pilot - Weißbuch zum autonomen Fahren



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

ISBN: 978-3-9814969-4-9