



Elektronische Fahrzeugsysteme 2016

Jahresbericht: Akademisches Jahr 2015/2016

Markus Maurer, Andreas Reschka (Hrsg.)

Impressum

Copyright:

© 2016

Technische Universität Braunschweig

Institut für Regelungstechnik

Prof. Dr.-Ing. Markus Maurer

Andreas Reschka (Hrsg.)

ISBN:

978-3-9814969-5-6

Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort	7
I	Lehre und weitere Aktivitäten	11
2	Die AG Elektronische Fahrzeugsysteme	13
2.1	Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter	13
2.2	Neue Kolleginnen und Kollegen	14
2.3	Abgänge	20
3	Lehre	23
3.1	Übersicht	23
3.2	Neues aus der Lehre	24
3.3	Studentische Arbeiten	46
3.4	Prüfungen am Institut	49
4	Ereignisse	51
4.1	Carolo-Cup 2016	51
II	Berichte aus der Forschung	57
5	Stadtпилot	59
6	Kooperation mit der Volkswagen AG - Projekt PEGASUS	65

7	Automatisch fahrerlos fahrendes Absicherungsfahrzeug für Arbeitsstellen auf Autobahnen (aFAS)	69
8	Infrastrukturbedarf automatisierten Fahrens der BAST	75
9	Wertebasierte Fahrentscheidung der Daimler und Benz Stiftung	79
10	Großgeräte Vehicle-in-the-Loop und Referenzsensorik	85
11	Kooperation mit der Audi AG – Umfeldrepräsentation und Verhaltensplanung für automatisierte Fahrfunktionen	89
12	Kooperation mit der Volkswagen AG - Umfeldwahrnehmung und Szenenmodellierung für automatisierte Fahrzeuge	93
13	Radarbasierte Objektverfolgung im urbanen Kontext	95
14	Trajektorienverfolgung mittels Lenkbremsen	99
15	Neue autoMobilität der acatech	101
16	Controlling Concurrent Change (CCC)	103
17	MOBILE	107
18	MAX	113
19	Dissertation Jae Bum Choi: Environmental Perception for Automated Vehicles: Localization, Mapping and Tracking	115

III	Publikationen und Medienberichte	119
20	Die Arbeitsgruppe in den Medien	121
20.1	Radio und Fernsehen	121
20.2	Printmedien	123
20.3	Veröffentlichungen auf Internetseiten	124

1 Vorwort

von Markus Maurer

“Das autonome Fahren stellt für mich einen Hype dar, der durch nichts zu rechtfertigen ist”, Matthias Müller im September 2015, damals Vorstandsvorsitzender von Porsche. Die Unternehmensberatung Gartner, die jährlich einen sogenannten Hype-Zyklus veröffentlicht, ordnet autonome Fahrzeuge in der diesjährigen Veröffentlichung vom August 2016 diesem Zyklus zu. Danach haben autonome Fahrzeuge den Gipfel der überhöhten Erwartungen überschritten. Sie befinden sich kurz vor dem Sturz in die Depression der Desillusion¹.

Sind autonome Fahrzeuge ein Hype-Thema, das in den nächsten Jahren medial wieder in der Versenkung verschwinden wird? In der Tat gibt es Anzeichen der überhitzten Erwartung: Auf meiner letzten Reise nach Kalifornien konnte ich mancherorts Goldgräberstimmung erleben, die viele technikferne Glücksritter anzieht. In der akademischen Forschung stürzen sich Forscher auf das Thema, die sich bislang ablehnend äußerten, weil es entsprechend gut dotierte Forschungsausschreibungen gibt - manche nennen das auch “research by opportunity”.

Als Forscher sind wir nicht unschuldig an der überhöhten Erwartung: Noch im ausgelaufenen akademischen Jahr riefen Forscher die Machbarkeit des Platoonings von Nutzfahrzeugen aus, nachdem mehrere Fahrzeughersteller dieses erfolgreich und öffentlichkeitswirksam bei einer Sternfahrt nach Rotterdam demonstriert hatten. Die Diskussion

¹<http://www.gartner.com/newsroom/id/3412017>

mit den technischen Experten zeigt, dass bis heute die Machbarkeit dieser Anwendung nicht geklärt ist, da zentrale Fragen der Sicherheit unter Alltagsbedingungen noch offen sind.

Wir haben auf der Zwischendemonstration des durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderte Forschungsprojektes aFAS² dafür plädiert, dass wir in der Forschung für autonomes Fahren den Sprachgebrauch ändern sollten und von Machbarkeit erst sprechen sollten, wenn auch der Nachweis erbracht wurde, dass die Funktion sicher darstellbar und absicherbar ist. Dies wird zu einem radikalen Umdenken in der Forschung führen. Diese muss sich entwickeln von der "Schönwetterforschung", in der die prinzipielle Machbarkeit unter günstigen Bedingungen gezeigt wird, hin zu einer systematischen Erforschung, in der auch die grundlegenden Herausforderungen zur Absicherung und zur sicheren Funktionsauslegung unter allen Umweltbedingungen gelöst werden.

Wir freuen uns, dass wir die Erforschung von autonomen Fahrzeugen nicht nur in der Funktionsentwicklung stimulieren konnten, zum Beispiel mit unserem Projekt Stadtpilot, in dem wir seit sechs Jahren autonomes Fahren auf dem Braunschweiger Stadtring erproben. Wir gehören auch zu den wenigen Gruppen weltweit, die Fragen der funktionalen Sicherheit, des Risikos autonomen Fahrens und der Absicherbarkeit adressieren und mögliche Lösungsansätze publizieren.

Die Eingangsfrage blieb bislang unbeantwortet: Befinden wir uns in einem Hype um das autonome Fahren, der bald verschwinden wird? Jenseits der bereits skizzierten Überhitzungserscheinungen gehen wir davon aus, dass autonome Fahrzeuge den individuellen Straßenverkehr maßgeblich verändern werden. Allerdings werden viele Unternehmen

²Automatisch fahrerlos fahrendes Absicherungsfahrzeug für Arbeitsstellen auf Bundesautobahnen

ihre angekündigten Roadmaps präzisieren müssen. Zentrale Fragen der technischen Absicherung und der Systemsicherheit müssen noch erforscht und gelöst werden. Eine wichtige Rolle kommt der Arbeit der Ethikkommission zu. Wir erhoffen uns Antworten auf die Fragen, welche Entscheidungen Maschinen treffen dürfen und wie sicher autonome Fahrzeuge sein müssen, um in der Gesellschaft akzeptiert zu werden.

Bereits jetzt halten wir die Zeit reif für den Start erster Serienentwicklungen in geeigneten Nischen. Mit dem Projekt aFAS zeigen wir ein interessantes Einsatzszenario für Absicherungsfahrzeuge auf Autobahnen auf. In der Industrie werden hoch- und vollautomatisierte Systeme für das Parken, Stausituationen und auch Taxifahrten in der Stadt vorbereitet.

Unsere Forschungsarbeiten sind und waren nur möglich, weil wir vielfache Unterstützung aus dem öffentlichen und privaten Sektor erfahren haben: Das BMWi unterstützt uns als Projektpartner direkt und indirekt als Unterauftragnehmer von Projektpartnern. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft fördert die Forschergruppe Controlling Concurrent Change (CCC), deren Arbeiten zunehmend Bedeutung für unsere zentrale Forschungskonzeption gewinnen. Die Daimler und Benz Stiftung versetzt uns in die Lage, die ethischen Aspekte des autonomen Fahrens vertieft zu erforschen. All diesen Institutionen möchten wir an dieser Stelle herzlich danken.

Ebenso gilt unser Dank den Kollegen von Volkswagen und Audi, die mit unserer Gruppe von Beginn an zusammengearbeitet und viele Forschungsprojekte ermöglicht haben. Sehr stimulierend und zunehmend wichtig sind für uns die Unternehmen Wabco und Hella und die gemeinsamen Forschungsarbeiten.

Intern danken wir dem Präsidium der TU Braunschweig, besonders unserem scheidenden Präsidenten Professor Jürgen Hesselbach, für die langjährige Förderung unserer Arbeitsgruppe.

Unsere Arbeit wäre nicht möglich gewesen ohne die tüchtige Unterstützung im Hintergrund, in der Verwaltung des Institutes mit Frau Dr. Krapf und Frau Scheffer, durch die technische Arbeit in unserer Werkstatt und die Unterstützung der Fakultät mit Holger Stegert und seinem Team. Auch in diesem Jahr haben uns die Kolleginnen und Kollegen unserer zentralen Verwaltung unter Leitung des hauptamtlichen Vizepräsidenten Dietmar Smyrek bei vielen Fragen und Anliegen tatkräftig weitergeholfen.

Mein spezieller Dank geht an alle Lehrenden der Arbeitsgruppe, besonders auch an Thomas Form als Honorarprofessor und an Bernd Lichte als Lehrbeauftragten für ihre langjährige Unterstützung. Persönlich erlebe ich den wissenschaftlichen Diskurs mit den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern in der Arbeitsgruppe und auch mit unseren akademischen und industriellen Partnern als ausgesprochen inspirierend und bereichernd. Dafür möchte ich allen Beteiligten meinen herzlichen Dank aussprechen und freue mich auf eine auch künftig spannende Zusammenarbeit.

Teil I

**Lehre und weitere
Aktivitäten**

2 Die AG Elektronische Fahrzeugsysteme

2.1 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter

Während des akademischen Jahres 2015/2016 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
M.Sc. Gerrit Bagschik	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Dipl.-Ing. Horea Cernat	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Dipl.-Ing. Frank Dierkes	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
M.Sc. Susanne Ernst	Wissenschaftliche Mitarbeiterin
M.Sc. Inga Jatzkowski	Wissenschaftliche Mitarbeiterin
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

Name	Aufgabenbereich
M.Sc. Markus Steimle	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
M.Sc. Dipl.-Ing. (FH) Torben Stolte	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Dipl.-Wirtsch.-Ing., MSIE Simon Ulbrich	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
M.Sc. Jan Timo Wendler	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
M.Sc. Jaebum Choi	Gastwissenschaftler
Anton Grünke	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
Maximilian Jung	Auszubildender Technik
Leonie Reese	Auszubildende Technik
Sebastian Michael Soja	Auszubildender Technik

2.2 Neue Kolleginnen und Kollegen

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

2.2.1 Inga Jatzkowski

von Inga Jatzkowski



Ich arbeite seit Juli 2016 als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Regelungstechnik in der Arbeitsgruppe „Elektronische Fahrzeugsysteme“.

Aufgewachsen bin ich im kleinen 6000 Einwohner Dorf Hänigsen, nordöstlich von Hannover. Nach dem Abitur wollte ich vor dem Studium zunächst ein bisschen was von der Welt sehen und die neugewonnene Freiheit genießen und habe mich für ein Jahr Work & Travel in Australien entschieden. Wenn man selbst einmal als Erntehelfer und Fabrikarbeiter seinen Lebensunterhalt bestreiten musste, weiß man, was für ein hart verdientes Brot das tatsächlich ist. Trotzdem war es eine sehr schöne und lehrreiche Zeit.

Wieder zurück in Deutschland habe ich in Hannover mein Physikstudium begonnen und mit der Bachelorarbeit am Institut für Quantenoptik erfolgreich abgeschlossen. Dabei beschäftigte ich mich mit der Anpassung der Frequenzgeneration für die Stabilisierung von Lasern für die Atominterferometrie mit Rubidium 86. Die hohe Theoriebelastigkeit des Physikstudiums hat mir eine solide Grundlage der wissenschaftlichen Arbeitsweise geliefert, allerdings wünschte ich mir einen höheren Praxisanteil, wollte aber nicht im Bereich der Laseroptik bleiben. Daher wechselte ich zum Master in den zu der Zeit noch sehr neuen Studiengang „Navigation und Umweltrobotik“, der von der Fakultät für Geodäsie und Bauingenieurwesen angeboten wird. Dieser Studiengang

vereinte sehr viele interessante Themenfelder in sich. In verschiedenen Vorlesungen wurden etwa Navigationsmethoden gelehrt, Photogrammetrie, SLAM und mobile Sensornetzwerke behandelt und natürlich Robotikgrundlagen vermittelt. All dieses theoretische Wissen konnte ich zudem jedes Semester in einem Robotikprojekt auch praktisch anwenden. In einem Auslandssemester an der University of Auckland in Neuseeland konnte ich meine Englischkenntnisse vertiefen und neue interkulturelle Erfahrungen sammeln. In einem Bildverarbeitungskurs ging es dabei auf Exkursion nach Leigh ins Marinereservat. Dort haben wir den Wattboden mit Stereokamerasystemen vermessen, welche an Drohnen montiert waren.

Meine Masterarbeit habe ich dann bei der Robert Bosch GmbH am neuen Forschungscampus in Renningen geschrieben. Darin beschäftigte ich mich damit, einen Ansatz für eine LiDAR-basierte Referenzlokalisierung für das automatisierte Fahren speziell im Hinblick auf das urbane Umfeld zu entwerfen, um dort auftretende Schwierigkeiten bei der Lokalisierung mit dGPS zu umgehen. Am Institut werde ich mich im Forschungsprojekt „Controlling Concurrent Change“ mit der Selbstwahrnehmung und Selbstrepräsentation des Fahrzeugs beschäftigen.

2.2.2 Anton Grünke

von Anton Grünke

Seit März 2016 arbeite ich als technischer Mitarbeiter in der Arbeitsgruppe „Elektronische Fahrzeugsysteme“ am Institut für Regelungstechnik. Zuvor durchlief ich folgenden beruflichen Werdegang: Nach meinem Abitur im ostwestfälischen Espelkamp begann ich ein Studium an der TU Braunschweig. Da ich seit meinem vierzehnten Lebensjahr in meiner Freizeit und meinen Nebenjobs viel Kontakt zu der Technik von Fahrrädern, Leichtkrafträdern, Rasenmähern und Artverwandtem hatte,

entschied ich mich für den Maschinenbau. Nach einigen Semestern, in denen der Fortschritt im Studium nicht meinen Vorstellungen entsprach, traf ich die Entscheidung mein Studium abzubrechen und eine Ausbildung zu beginnen, um wieder näher an der Technik zu sein. Durch die Vorlesungen rund um die Elektrotechnik und Elektronik aus dem Grundstudium des Maschinenbaus hatte ich Interesse an der Thematik gewonnen. So verband ich das Interesse an der Mechanik mit der an der Elektrik und ließ mich bei der Prakla GmbH in Peine zum Mechatroniker (Industrie) ausbilden. Das Angebot, noch während der Ausbildung in die Konstruktionsabteilung übernommen zu werden, nahm ich gerne an und arbeitete mich dort in die Dokumentation der elektrischen Anlagenteile ein. Die Arbeit im Büro ließ mich schnell erkennen, dass ein reiner Schreibtischarbeitsplatz nicht das Richtige für mich ist und so nutzte ich die Möglichkeit und wechselte zum DLR an das Institut für Verkehrssystemtechnik. Dort betreute ich die Technik rund um die Großanlagen und kam so auch in Kontakt mit den Versuchsträgern, an denen Szenarien und Assistenzsysteme rund um das autonome Fahren erforscht werden und wollte mich tiefgreifender mit dieser Thematik befassen.

Durch Zufall stieß ich auf die Stellenausschreibung des IFR, mit der ein Techniker im Bereich Kraftfahrzeugtechnik gesucht wurde. Da ich nebenberuflich die Ausbildung zum staatlich geprüften Techniker Elektrotechnik begonnen hatte und kurz vor dem Abschluss stand, erschien mir dies die perfekte Stelle zu sein, bei der ich das neue Wissen aus der Weiterbildung im automobilen Umfeld einsetzen kann.

Nun betreue ich am Institut die Versuchsträger und bin für Aus-, Ein- und Umbaumaßnahmen sowie die Einbindung neuer Systeme in diese zuständig. Es scheint, als wäre ich über viele Umwege endlich bei meiner beruflichen Zielvorstellung angekommen und freue mich auf

viele weitere interessante Aufgaben auf dem Gebiet der automatisierten Fahrzeuge.

2.2.3 Markus Steimle

von Markus Steimle



Seit Juli 2016 bin ich wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Arbeitsgruppe „Elektronische Fahrzeugsysteme“ am Institut für Regelungstechnik. Im Folgenden will ich erklären, wie es dazu kam.

Aufgewachsen in Dürnwall, einem Dorf in der Nähe von Landshut in Niederbayern, konnte ich mich schon als Kind in der elterlichen Landwirtschaft einbringen. Nach meinem Abitur im Jahr 2007 begann ich eine Ausbildung zum Elektroniker für Betriebstechnik bei der BMW AG im Werk Landshut. Das hier angeeignete Wissen vertiefte ich ab 2010 mit einem Studium der „Elektro- und Informationstechnik“ an der Hochschule für angewandte Wissenschaften Landshut. Zur direkten Anwendung des Gelernten trat ich dem Formula Student Electric Team der Hochschule Landshut bei. Nach einem Jahr in der Elektronikentwicklung wechselte ich in das Team der Programmierung und beschäftigte mich mit Software im Fahrzeug. Hier merkte ich schnell, dass ohne Software wenig funktioniert. Mein sechsmonatiges Pflicht-

praktikum habe ich deshalb in der Technischen Entwicklung der Audi AG im Werk Ingolstadt im Themenbereich „Hardware in the Loop Testen“ absolviert. In meiner Bachelorarbeit beschäftigte ich mich mit der Entwicklung einer Drehzahlregelung für die Elektromotoren eines kleinen Modellautos im Rahmen des international stattfindenden Freescale Cups, ähnlich dem Carolo-Cup in Braunschweig, bei dem die Fahrzeuge einen unbekanntem Parcours schnellstmöglich autonom durchfahren mussten. Hier kam ich das erste Mal mit autonomen Fahrzeugen in Kontakt.

Da ich merkte, wie wichtig Software im Fahrzeug ist, wollte ich mein bisheriges Wissen an der Technischen Universität München mit dem Masterstudiengang „Automotive Software Engineering“ durch eine Spezialisierung auf das Anwendungsgebiet der Automobiltechnik vertiefen. Hier lernte ich Professor Maurer im Rahmen der Lehrveranstaltung „Fahrerassistenzsysteme im Kraftfahrzeug“ persönlich kennen. Durch ein universitäres Praktikum bin ich auch hier mit einem autonom fahrenden Modellauto in Berührung gekommen. Mit meiner Masterarbeit entwickelte ich eine Methodik zur systematischen Identifikation und Analyse der Manipulationsmöglichkeiten an Elektrofahrzeugen.

Die Themengebiete, an denen hier am Institut geforscht wird, haben mich neugierig gemacht, weshalb ich mich freue seit Juli 2016 Teil dieses Teams zu sein. Am Institut will ich im Bereich szenarienbasierter Testverfahren in der Simulation forschen und einen Beitrag für die Zukunft von autonomen Fahrzeugen leisten.

2.3 Abgänge

von Jens Rieken, Andreas Reschka, Till Menzel und Torben Stolte

2.3.1 Simon Ulbrich

Nach etwas mehr als vier Jahren als Wissenschaftlicher Mitarbeiter unserer Arbeitsgruppe hat uns Simon Ulbrich im Dezember 2015 verlassen, um sich neuen Aufgaben in der Industrie zu widmen. Aufbauend auf seiner Diplomarbeit hat sich Simon während seiner Promotionszeit mit der Verhaltensentscheidung befasst und dort Fahrstreifenwechsel für automatisierte Fahrzeuge untersucht. Zusammen mit seinem Engagement in der Lehre war er ein wichtiges Mitglied des Stadtpilot-Teams, in welchem er sich neben der wissenschaftlichen Arbeit ebenfalls stark für die öffentliche Sichtbarkeit des Projekts und des gesamten Instituts eingesetzt hat.

Wir wünschen Simon für seinen weiteren Werdegang alles Gute und werden uns an ihn als einen hochmotivierten Mitarbeiter und Kollegen erinnern, der uns immer mit Keksen versorgt hat!

2.3.2 Fabian Schuldt

Fabian war mehr als fünf Jahre lang ein wichtiges Bindeglied zu unseren Industriepartnern und ein Kollege, den wir ebenfalls vermissen werden. Er hat uns im Rahmen des Projekts UR:BAN vertreten und gemeinsam mit den Industriekollegen viele neue Erkenntnisse zu den Themen Test und Absicherung erarbeitet. Seine Arbeiten haben Grundlagen für neue interessante Projekte gelegt und werden uns daher auch in Zukunft noch lange beschäftigen. Praktisch nebenbei hat er sich zudem sehr verdient um den Carolo-Cup gemacht und vielleicht noch wichtiger: Er hat auch in stressreichen Phasen stets für gute Laune gesorgt und war immer bereit, jedem von uns unter die Arme zu greifen. Schade, dass

Du uns verlässt, aber auch gut, dass Du nicht zu weit weg gehst und wir hoffentlich noch oft in Deiner neuen Position mit Dir zusammen arbeiten dürfen.

Wir wünschen Dir weiterhin alles Gute und erwarten Dich auch zukünftig in den Kaffee-Regelrunden!

2.3.3 Horea Cernat

Nach nun mehr sechs Jahren verlässt uns Horea zum September 2016. Ebenfalls bereits als Student an das Institut gekommen, war Horea mit vielfältigen Aufgaben am Lehrstuhl betraut. Forschungsseitig beschäftigte sich Horea im Rahmen von Förder- und Industrieprojekten insbesondere mit Fahrdynamikregelung, intern wirkte Horea am Projekt MOBILE mit. So war er unter anderem an der Entwicklung eines Längsdynamiksimulators im Projekt InDrive beteiligt und hat sich in Kooperation mit WABCO mit der Fahrdynamikregelung von Nutzfahrzeugen beschäftigt. Mit Horea geht nicht nur ein Experte für Fahrdynamikregelung, sondern auch wahrscheinlich der Kollege, der die Inhalte und Grundlagen der Vorlesung *Grundlagen der Elektrotechnik* in der ganzen Breite am besten beherrscht hat. Ihm machte beim Rechnen und Erklären der Aufgaben so schnell keiner etwas vor. Horea hat nicht nur einen Teil der großen Übung gehalten, sondern in den vergangenen drei Jahren alles rund um die Vorlesung federführend organisiert und war damit wichtiger Ansprechpartner für die je rund 200 Erstsemester-Studierenden.

Lieber Horea, für deinen weiteren Weg wünschen wir dir nur das Beste, wir werden dich mit deiner ruhigen und immer sehr kompetenten Art in Erinnerung halten und hoffen, dass sich unsere Wege bald einmal kreuzen.

2.3.4 Jaebum Choi

Jaebum Choi kam vor gut vier Jahren als Gastwissenschaftler an unser Institut. Während seiner Zeit hat er sich mit Umfeldwahrnehmung und Fahrzeuglokalisierung im urbanen Raum befasst. Neben Verfahren zur Rohdatenverarbeitung von Velodyne-Messdaten hat er in seiner Dissertation neue Methoden zur gleichzeitigen Lokalisierung und Kartierung des Umfelds (Simultaneous Localization and Mapping, SLAM) sowie zur Objektverfolgung untersucht.

Seine Dissertation hat er im April 2016 erfolgreich verteidigt. Wir wünschen Jaebum für die Zukunft alles Gute und hoffen, ihn trotz seiner Tätigkeit im Ausland einmal wiederzusehen.

3 Lehre

3.1 Übersicht

Folgende Veranstaltungen haben wir im vergangenen akademischen Jahr angeboten:

Veranstaltungen im Wintersemester 2015/2016	Vortragende
Datenbussysteme	Dr. Grobe J. Rieken
Elektronische Fahrzeugsysteme	Prof. Form
Grundlagen der Elektrotechnik	Prof. Maurer
Hochvoltsicherheit im Kraftfahrzeug	B. Amlang
(<i>Master</i> –) Teamprojekt	A. Reschka
Mathematische Methoden für Elektronische Fahrzeugsysteme	Prof. Lichte
Oberseminar Elektronische Fahrzeugsysteme	Prof. Maurer

Veranstaltungen im Sommersemester 2016	Vortragende
Elektromagnetische Verträglichkeit in der Fahrzeugtechnik	Prof. Form
Fahrerassistenzsysteme mit maschinellem Wahrnehmung	Prof. Maurer
Fahrzeugsystemtechnik	Prof. Maurer
(Master-)Teamprojekt	A. Reschka
Oberseminar Elektronische Fahrzeugsysteme	Prof. Maurer

Labore	Zeitraum
Entwurf von vernetzten eingebetteten Fahrzeugsystemen	SoSe 16
Feldbussysteme in der Automatisierungstechnik	SoSe 16
Vernetzung und Diagnose im Kraftfahrzeug	SoSe 16

3.2 Neues aus der Lehre

3.2.1 Oberseminar

von *Torben Stolte*

Das Oberseminar „Elektronische Fahrzeugsysteme“ wurde im Wintersemester 2015/2016 und im Sommersemester 2016 angeboten. Es dient dem vertieften wissenschaftlichen Austausch zu aktuellen Themen der Forschung aus den Forschungsfeldern der Arbeitsgruppe Elektronische Fahrzeugsysteme. Die dreistündigen Termine werden von den

Vortragenden frei gestaltet, wobei weniger Frontalvorträge als viel mehr offene Formate gewählt werden, um so den wissenschaftlichen Diskurs zu fördern. Es richtet sich vor allem an Wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Forschungsfelds „Intelligentes Fahrzeug“ des Niedersächsischen Forschungszentrums für Fahrzeugtechnik sowie an wissenschaftlich interessierte Master-Studierende.

Der Fokus der Vorträge im vergangenen akademischen Jahr lag dabei auf den besonderen Herausforderungen der Fahrzeugautomatisierung, dem wissenschaftlichen Arbeiten sowie den Projekten des Lehrstuhls für elektronische Fahrzeugsysteme. Auch werden externe Vortragende zu unterschiedlichen Themen eingeladen mit dem Ziel, neue Impulse für die Forschung des Lehrstuhls Elektronische Fahrzeugsysteme zu erhalten. Exemplarisch seien hier die Themen „Modellbasierte prädiktive Regelungen“ aus dem Wintersemester sowie „Emissionen und Abgasnachbehandlung am Dieselmotor“ und „Deep Learning“ aus dem Sommersemester genannt.

Vermutlich aufgrund der neu eingeführten Studiengänge „Elektronische Systeme in Fahrzeugtechnik, Luft- und Raumfahrt“ und „Elektromobilität“ zeigten die Studierenden im Berichtszeitraum ein überdurchschnittliches Interesse. Im Mittel waren rund 17 Teilnehmende am Oberseminar zu verzeichnen. Den Vortragenden sei herzlich für die spannenden Beiträge gedankt. Gleichzeitig gilt den Zuhörern Dank für die regen Diskussionsbeiträge.

Vortragende	Thema
Simon Ulbrich, Susanne Ernst	Werteorientierte Verhaltensplanung für automatisierte Fahrzeuge
Jan Timo Wendler	Bedeutung praktischer Ausbildung an FAS für Forschung und Lehre
Team Stadtpilot	Automatisiertes Fahren auf dem Stadtring und Diskussion
Dr. Thiva Albin (Institut für Regelungstechnik, RWTH Aachen)	Modellbasierte prädiktive Regelungen
Markus Maurer	Erfolgreiches wissenschaftliches Arbeiten
Gerrit Bagschik, Andreas Reschka, Torben Stolte	Gefährdungsanalyse und Risikobewertung im Projekt aFAS
Fabian Schuldt, Till Menzel	Testen: Herausforderungen und konzeptionelle Fortschritte im Rahmen von Autopilot und DADAS
Torben Stolte, Marcus Nolte, Horea Cernat	Experimente mit MOBILE

Tabelle 3.4: Themen des Oberseminars im Wintersemester 2015/2016

Vortragende	Thema
Markus Maurer	Erfolgreiches wissenschaftliches Arbeiten
Susanne Ernst	Szenen- und Kontextmodellierung
Till Menzel, Jens Rieken	Anforderungen an Wahrnehmung und Bewertung von Szenenelementen im Rahmen von Stadtpilot und Pegasus
René Hosse	Einführung STPA/STAMP
Torben Stolte	Fahrzeugaktorik im Kontext des automatisierten Fahrens
Prof. Peter Eilts (Institut für Verbrennungskraftmaschinen, TU Braunschweig)	Emissionen und Abgasnachbehandlung am Dieselmotor
Team Stadtpilot	Stadtpilot – Aktueller Stand und Demonstration
Prof. Tim Fingscheidt (Institut für Nachrichtentechnik, TU Braunschweig)	Einführung Deep Learning
Team MOBILE	Projektstatus MOBILE und Fahrde- monstration

Tabelle 3.5: Themen des Oberseminars im Sommersemester 2016

3.2.2 Das CDLC-Team 2016

vom Team CDLC

Rückblick - Carolo-Cup 2016

Mit Spannung und voller Erwartungen traten wir beim neunten Carolo-Cup 2016 mit unserem Carolinchen VIII an. Einiges war diesmal anders als bisher. Aufgrund der gestiegenen Anzahl der teilnehmenden Teams und ihrer Mitglieder fand der Carolo-Cup erstmalig in der Stadthalle Braunschweig statt. Der große Raum bot die Möglichkeit, den Parcours deutlich zu vergrößern und die Arbeitsplätze der Teams wieder direkt neben der Strecke unterzubringen. Zudem konnten auf einer großen Tribüne viele Zuschauer und Pressevertreter den Wettbewerb hautnah verfolgen.

Was sie hier geboten bekamen, war durchaus sehenswert, denn das Niveau der Teams und das fahrerische Können ihrer selbstfahrenden Modellautos im Maßstab 1:10 hat sich deutlich gegenüber den Vorjahren gesteigert. Zu Beginn des Wettbewerbes waren wir vom Team „Crazy Dancing Little Caroline“ (CDLC) sehr optimistisch, einen der vorderen Plätze belegen zu können. Nach einer etwas chaotischen Entwicklungsphase im vergangenen Jahr vor dem Cup 2015 hatten wir aus unseren Fehlern gelernt und diesmal konsequenter unseren Zeitplan umgesetzt. So konnten wir bereits im Dezember 2015 bei einem Workshop bei Bosch Engineering in Abstatt unser Carolinchen erfolgreich einer Generalprobe unterziehen. Der Januar war somit geprägt von ausgiebigen Testläufen und Korrektur der letzten Fehler. Zudem trainierten wir immer wieder die Abläufe für den Wettbewerb und legten uns Checklisten an, damit in der Hektik beim großen Event nicht aus Versehen wieder ein Malheur passiert, denn beim Cup 2015 hatten wir kurz vor Wettbewerbsbeginn den falschen Softwarestand auf das Auto gespielt.

Dieses Mal sollte sich dies aber nicht wiederholen und Carolinchen sollte zeigen, was sie drauf hat.

Und das tat sie auch. Das seitliche Einparken funktionierte fehlerfrei und zügig, konnte aber in puncto Schnelligkeit noch vom Team aus Aachen übertroffen werden, da diese durch ihr kürzeres Auto mit Zweiachslenkung vorwärts einparken konnten. Beim Rundkurs ohne Hindernisse drehte Carolinchen dann richtig auf. Mit hoher Geschwindigkeit, nahe der Haftungsgrenze, an der unser Auto drohte aus den Kurven zu rutschen, flitzte Carolinchen über den Parcours. Unserem Mann an der Fernbedienung standen die Schweißperlen auf der Stirn, denn er hatte die Aufgabe, im Moment eines Fehlverhaltens einzugreifen und das Auto zur Not wieder auf die Strecke zurückzuführen. Keine einfache Aufgabe bei dem Tempo, doch am Ende der dreiminütigen Rennfahrt hatte er kein einziges Mal die Fernbedienung einschalten müssen. Carolinchen fuhr vollkommen fehlerfrei und war schneller als alle anderen 14 Teams. Mit großer Spannung erwarteten wir deshalb die letzte Disziplin, den Rundkurs mit Hindernissen. Hier fuhr Carolinchen zur Sicherheit etwas langsamer und übersah dennoch mal ein kleineres Hindernis auf dem eigenen Fahrstreifen. Das Auto der ISF Löwen – des anderen Braunschweiger Teams vom Institut für Softwaretechnik und Fahrzeuginformatik – war hier etwas schneller und zuverlässiger unterwegs und beeindruckte mit seiner Leistung vor allem deshalb, da das Team im letzten Jahr den hintersten Platz belegt hatte. Auch hier hat man offensichtlich aus Fehlern gründlich gelernt und innerhalb eines Jahres jede Menge Arbeit in Hard- und Software gesteckt.

Vom Eindruck über die herausragenden Leistungen mehrerer Teams bei den einzelnen Disziplinen war somit am Ende nicht abzuschätzen, welches Team Platz 1 belegen würde. Dann die Verkündung des Endergebnisses und riesiger Jubel bei unserem Team, denn mit Carolinchen VIII haben wir es tatsächlich geschafft, uns den ersten Platz zu erkämp-

fen. Dicht hinter uns folgten das Team GalaXIs von der RWTH Aachen und die ISF Löwen aus Braunschweig. Wir freuen uns sehr darüber, gemeinsam mit dem zweiten Braunschweiger Team gezeigt zu haben, dass Studierende an der TU Braunschweig deutschlandweit die Nase vorne haben bei der Entwicklung autonomer Modellfahrzeuge.



Abbildung 3.1: Das Siegerteam 'CDLC' beim Carolo-Cup 2016 zusammen mit Minister Olaf Lies.

Veranstaltungen in 2016

Seit dem großen Erfolg beim Wettbewerb im Februar hat unser Team noch einige Gelegenheiten bekommen, Carolinchen der Öffentlichkeit und dem Fachpublikum zu präsentieren. Unter anderem waren wir auf diesen Veranstaltungen vertreten:

- Hannover Messe
- TU-Night Braunschweig

- ConCarExpo - Internationale Fachmesse für connected Car & Mobility

Im November folgt zum zweiten Mal der Carolo-Cup Workshop bei Bosch Engineering in Abstatt bei Stuttgart. Das wird das erste Mal sein, dass wir die Fahrtüchtigkeit von Carolinchen X unter Beweis stellen können.

Das aktuelle Team

Inzwischen hat sich das neue Team für die Entwicklung von Carolinchen X zusammengefunden. Glücklicherweise werden einige Teammitglieder, die bereits den letzten Cup miterlebt haben, auch weiterhin an der Entwicklung bis zum nächsten Wettbewerb im Februar 2017 mitarbeiten. Darüber hinaus begleiten noch drei „alte Hasen“ das Team bis zum Herbst und gewährleisten somit den Wissenstransfer, der die konsequente Weiterentwicklung unseres Autos ermöglicht. Besonders freuen wir uns aber natürlich über einige hoch motivierte Neuzugänge. So besteht das Team für den Carolo-Cup 2017 derzeit aus zehn Mitgliedern der Studienrichtungen Mechatronik, Elektrotechnik, Informations-Systemtechnik sowie dem Studiengang Elektronische Systeme in Fahrzeugtechnik, Luft und Raumfahrt. Wir hoffen, mit Beginn des Wintersemesters 2016/17 noch einige weitere Studierende für unser Team begeistern zu können.

Entwicklungsstand

Für unser neues Carolinchen haben wir uns viel vorgenommen. Deshalb überspringen wir eine Versionsnummer und bezeichnen die Neuentwicklung als „Carolinchen X“. Dank eines Teammitglieds mit ausreichender Erfahrung im Konstruktionsbereich haben wir uns dieses Mal herangetraut, das Chassis komplett selber zu entwickeln. Bisher



Abbildung 3.2: Das aktuelle Team CDLC. Von links nach rechts: Tobias Schröder, Martin Droste, Marvin Schroeder, Matthias Nee, Nikita Kister, Jan Richelmann, Jannes Henschel, Jonas Löhdefink, Oskar Maier, Marcel Rose.

griffen wir hier auf einen Modellbausatz der Firma HPI Racing zurück. Inzwischen konnte der gesamte Fahrzeugaufbau als CAD-Modell nachgebildet werden. Die Fertigung des in Abbildung 3,3 zu sehenden Prototypen erfolgte zum Teil mittels 3D-Druck und zum anderen Teil als Laserschnitt aus Plexiglas. Durch diese Neukonstruktion kann somit das Chassis perfekt an unsere Bedürfnisse und an die übrigen Bauteile angepasst werden.

Als weitere sichtbare Neuerung sind nun Vorder- wie auch Hinterachse lenkbar. Jeweils ein Linearmotor der Firma Faulhaber bewegt dabei eine Achse, sodass eine schnelle Reaktion auf Lenkbefehle mit hoher

Präzision möglich wird. Besonders gut zur Geltung kommen die vier Radnabenmotoren, die sich hinter den eigens entwickelten und aus einem Aluminiumblock gefrästen Felgen befinden. An der Leistungselektronik und Regelung für diese Motoren wird bereits seit einem Jahr entwickelt und wir hoffen sehr, hiermit wieder den technischen Anschluss an diejenigen Teams zu erreichen, die bereits auf Radnabenmotoren und eigene Regler umgestiegen sind.

Nicht nur bei der Hardware hat sich viel getan und wird bis zum nächsten Cup noch viel passieren. Auch bei der Software gibt es reichlich Anpassungsbedarf und neue Ideen. Insbesondere das deutlich überarbeitete Regelwerk für den Wettbewerb stellt uns alle vor neue Herausforderungen. Straßenschilder müssen nun erkannt und darauf reagiert werden. Es wird Tempolimits geben und einen urbanen Sektor mit Zebrastreifen und Fußgängern. Wie im richtigen Leben darf auch nicht mehr überall, wo Platz ist, geparkt werden. Sperrflächen kennzeichnen jetzt Bereiche, in denen das Auto nicht stehen darf. Zusätzlich gibt es beim nächsten Cup jedoch neben den parallel zum Fahrstreifen ausgerichteten Parkplätzen auch Querparklücken auf der gegenüberliegenden Seite der Fahrbahn.

Für unser Team steht somit noch einiges an Arbeit an, bis Carolinchen X richtig einsatzbereit sein wird. Auf unserer Webseite www.team-cdlc.de und bei Facebook [fb.com/TeamCDLC](https://www.facebook.com/TeamCDLC) werden wir wie gewohnt über Neuigkeiten informieren.

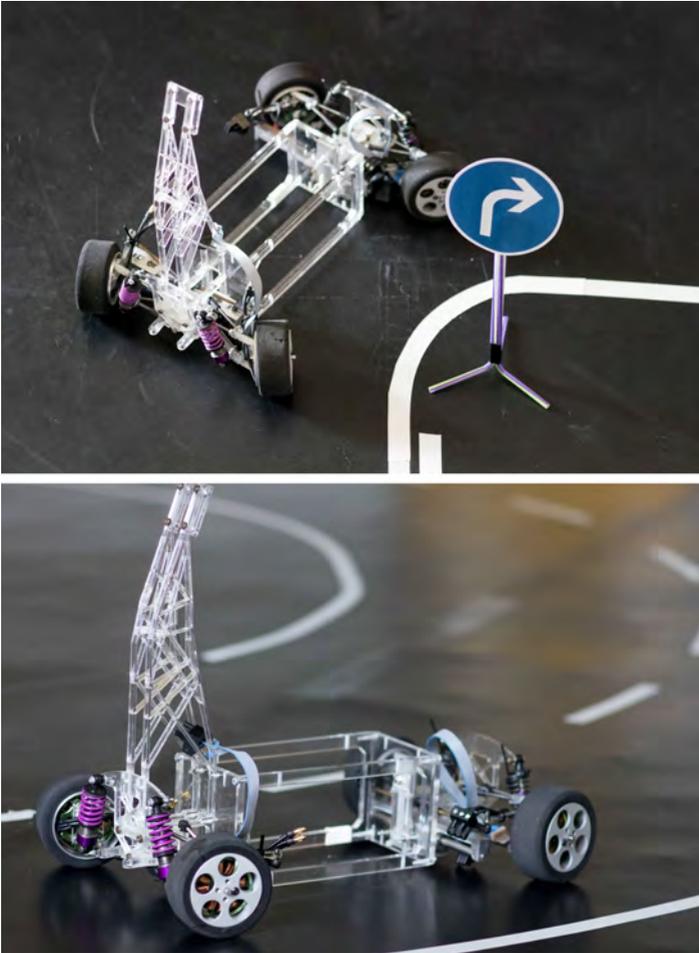


Abbildung 3.3: Im Bau befindlicher Prototyp von Carolinchen X.

3.2.3 SummerCamp 2016

von Jan Timo Wendler

Im Zeitraum vom 4. bis 9. September hatte ich in diesem Jahr zum dritten Mal die Aufgabe, mit Kollegen von anderen Instituten das SummerCamp 2016 in Schulenberg (Harz) auszurichten. Neben 23 Studierenden der TU Braunschweig aus den Bereichen Elektrotechnik, Informatik und Maschinenbau nahmen zum fünften Mal auch Studierende des Dynamic Design Labs der Stanford University (USA) teil.

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



Abbildung 3.4: Teilnehmende nach Abschluss des SummerCamps 2016

Inhaltlich wird den Studierenden, zu sehen in Abbildung 3.4, der Entwicklungsprozess anhand des V-Modells, welches auch bei großen Au-

tomobilherstellern oder Zulieferern Anwendung findet, durch die praktische Erfahrung veranschaulicht. In drei konkurrierenden Teams wird entsprechend des Modells ein vernetztes, auf mehrere Steuergeräte verteiltes Komfortsystem entwickelt. Ausgegangen wird dabei von einer Systembeschreibung, welche die Teilnehmer analysieren und Systemanforderungen extrahieren. Nachdem die Anforderungen definiert wurden, ist eine funktionale Systemarchitektur zu erstellen, welche anschließend in Hard- und Software umgesetzt werden muss. Während der genannten Phasen wird auf die Verbindung zum Testen geachtet und Testfälle werden spezifiziert und durchgeführt. Im abschließenden 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 Fachvorträge eingeleitet. Diese werden zum einen von Vertretern der beteiligten Institute und zum anderen von Industrievertretern gehalten, zum Beispiel von Volkswagen, Elektrobot und dSpace. Dabei werden die verschiedenen Aspekte der einzelnen Phasen des Entwicklungsprozesses und die im SummerCamp verwendeten Tools vorgestellt, die auch in der Automobilindustrie standardmäßig eingesetzt werden.

In diesem Jahr durften wir zum fünften Mal Studierende der Stanford University begrüßen. Die vier Studenten des Dynamic Design Labs wurden so aufgeteilt, dass mindestens ein englischsprachiger Student pro Gruppe vertreten war. Die Teilnahme der englischsprachigen Gäs-

te hatte in den letzten Jahren das SummerCamp bereichert und die komplette Durchführung auf Englisch mit sich gebracht. Die positive Rückmeldung der letzten Jahre wurde erneut durch alle Teilnehmenden – sowohl auf Seiten der hiesigen Studierenden als auch auf Seiten der Amerikaner – bestätigt. Wir hoffen, auch im nächsten Jahr wieder Studierende aus Stanford beim SummerCamp begrüßen zu dürfen.

Abschließend kann sowohl von unserer Seite 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 Tobias Carsten Müller und bei den Kollegen aller beteiligten Institute für die von mir als sehr positiv empfundene Zusammenarbeit bedanken und wünsche uns bereits jetzt ein erfolgreiches SummerCamp im Sommer 2017!

3.2.4 Stanford Students at the SummerCamp 2016

von Zach Stuart, John Alsterda, Michael Carter and Nathan Spielberg

This year, Stanford University's Dynamic Design Lab (DDL) sent four students to SummerCamp, a week-long program hosted by Technische Universität Braunschweig and VW. We were very excited at the opportunity to meet and work with German students who share some of our interests, namely automotive engineering. Our DDL colleagues were careful to not divulge any details of the program beforehand, so we traveled to Germany without knowing what to expect of the SummerCamp. Before we started our week in Schulenberg for the camp, we spent some

time in Braunschweig with Jan Timo Wendler, a Ph.D. student at TU Braunschweig.

Fortunately, we arrived on the first day of Magnifest, an annual celebration in Braunschweig. Along with Jan Timo, we enjoyed the festival, eating street food and listening to concerts throughout the evening. Overall, this huge, bustling festival impressed us all. We had a lot of fun and this was a great start to our experience in Braunschweig and Schulenberg. We were to head to Schulenberg for the beginning of the SummerCamp the next day, but not before touring some facilities at TU Braunschweig. Jan Timo showed us three research vehicles, including student-built MOBILE and another vehicle developed to complete Stadtpilot, which is the lab's plan to complete an autonomous journey around Braunschweig's city limits. Jan Timo also gave us a demo of visualization software the Stadtpilot team developed. This visit was a perfect way to learn and appreciate the different perspectives our labs take on the automated driving problem. After the tour, we began our trip to Schulenberg. On the way, we stopped in Goslar to look at the historic town and get some ice cream, picture 3.5.

Upon arriving in Schulenberg, we split into teams amongst our German and Chinese colleagues. We learned that over the short week we would develop an integrated hardware and software product from concept all the way to prototype! This ambitious goal was further complicated by the mix of English and German language present in the camp curriculum, but we really enjoyed the challenge and found the mix brought our teams together even more closely. Additionally, Jan Timo and his hardworking staff played their roles as company representatives well; their high expectations and no excuses attitude really made us feel a business world pressure to make our systems work! Thankfully, the stressful long days were kindly interrupted by happy hours and BBQ,



Abbildung 3.5: Zach Stuart, Michael Carter, John Alsterda, Nathan Spielberg and Jan Timo Wendler at the market square of Goslar.

which provided the motivation we needed to push through until the last day. Finally deploying our software onto the prepared ECUs and hardware gave us strong feelings of accomplishment as we submitted our products and completed SummerCamp. This immersive German engineering cultural experience was something we'll never forget. We truly appreciate the opportunity to attend and hope the next generation of DDL students can enjoy the same experience!

3.2.5 Vorlesung Fahrerassistenzsysteme

von Till Menzel

Auch in diesem Jahr fand wieder die Vorlesung „Fahrerassistenzsysteme mit maschineller Wahrnehmung“ statt. Nachdem der Andrang der Studierenden in den letzten Jahren deutlich zugenommen hatte, verzeichneten wir dieses Semester mit ca. 60 Teilnehmenden den aktuellen Spitzenwert. Mit dieser Teilnehmerzahl sind wir aus den Räumen des Niedersächsischen Forschungszentrum Fahrzeugtechnik am Mobile Life Campus endgültig herausgewachsen. Die Veranstaltung fand daher erstmals seit vier Jahren wieder in Braunschweig statt.

In den letzten Jahren hatten die Studierenden die Möglichkeit, neuartige Fahrerassistenzsysteme auf dem Weg von Braunschweig zur Vorlesung nach Wolfsburg eigenständig zu erleben. Nach den positiven Rückmeldungen der letzten Jahre wollten wir den Studierenden auch dieses Jahr diese praktischen Erfahrungen anbieten. Zu diesem Zweck organisierten wir mit tatkräftiger Unterstützung der Volkswagen AG einen Exkursionstag. Am Exkursionstag stellte die Forschungsabteilung für Fahrerassistenz und integrierte Sicherheit der Konzernforschung mehrere Versuchsträger (VW Passat GTI, Audi Q7,...) zur Verfügung. Mitarbeiter der Fachabteilungen sowie Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik erklärten den Studierenden vor der Fahrt die verbauten Assistenzsysteme wie Adaptive Cruise Control oder den Spurhalteassistenten. Anschließend konnten die Studierenden die verbauten Systeme auf Erprobungsfahrten eigenständig bedienen und praktische Erfahrungen sammeln.

Neben den Erprobungsfahrten konnten die Studierenden am Exkursionstag weitere spannende Versuchsträger besichtigen und mit den entwickelnden Ingenieuren ins Gespräch kommen. So konnten die

Studierenden unter anderem eine neue Fahrfunktion in einem Driver-in-the-Loop-Simulator testen und im Bruderfahrzeug des selbstfahrenden Audi „Jack“ (Audi A7 piloted driving concept) mitfahren. Die Erweiterung der Erprobungsfahrten zu einem Exkursionstag wurde von den Studierenden durchweg positiv aufgenommen. Vor allem zu den demonstrierten Versuchsträgern wurden viele interessante Fragen gestellt.

3.2.6 Vorlesung Fahrzeugsystemtechnik

von Gerrit Bagschik

Auch in diesem Semester erhielt die Vorlesung Fahrzeugsystemtechnik wieder deutlichen Zuwachs hinsichtlich der Teilnehmerzahlen. Nahezu 100 Studierende waren im Sommersemester 2016 in die Veranstaltung eingeschrieben. Der Zuwachs ist teilweise durch die neuen Studiengänge Elektromobilität und Elektronische Systeme zu erklären, es besuchten jedoch auch deutlich mehr Elektrotechniker die Veranstaltung. Durch die bereits im letzten Semester erhöhte Teilnehmerzahl wurde der Ablauf der Veranstaltung nicht beeinträchtigt, da für einen ausreichend großen Hörsaal gesorgt wurde.

Nach der letzten Veranstaltung wurden die 1:8-Versuchsträger auf ein neues Motorenkonzept und einen leistungsstärkeren Mikrocontroller umgerüstet. Für den Einparkvorgang in der praktischen Übung ist es notwendig, dass die Fahrzeuge sich sehr exakt ausregeln lassen. Dafür wurden die bürstenlosen Motoren mit Blackbox-Ansteuerung gegen Bürstenmotoren mit einer eigenen H-Brücke getauscht. Diese lassen sich nun genauer über den neuen Mikrocontroller ansteuern und somit werden auch kleinste Korrekturzüge in der Parklücke ermöglicht. Die neue Recheneinheit sorgt neben einem kompakteren Platinende-

sign dafür, dass mehr Sensoren gleichzeitig und in höherer Frequenz ausgelesen werden können.

3.2.7 Master-Teamprojekt

von Gerrit Bagschik

Das Masterteamprojekt wurde mit den neuen Masterstudiengängen Elektromobilität und Elektronische Systeme an der Fakultät 5 als Alternative zum Industriepraktikum eingeführt. Die Studierenden absolvieren in diesem Modul eine Gruppenarbeit, die über ein Semester verteilt, in großen Teilen selbstorganisiert, bearbeitet werden soll. Am Institut für Regelungstechnik werden diese Gruppenarbeiten in den Projekten *Stadtpilot* und *MOBILE* ausgeschrieben und jedes Semester an den aktuellen Arbeitsstand angepasst. Somit können die Studierenden neben Softskills wie Präsentieren, Teamarbeit und Eigenorganisation direkt an den Stand der Forschung herangeführt werden. Da die Projekte jeweils einen Versuchsträger betreiben, werden die Aufgaben so formuliert, dass die Studierenden das Ergebnis ihrer Arbeiten auch erleben können.

Im ersten Durchgang (Sommersemester 2015) des Masterteamprojektes haben zwei Studierende aus dem Team CDLC teilgenommen und thematisch an Teilprojekten des Carolinchen VII gearbeitet. Der zweite Durchlauf erfreute sich einer deutlich erhöhten Nachfrage und es haben sieben Studierende im Projekt Stadtpilot Fahrstreifen- und Verkehrsschilderkennung aus Kameradaten bearbeitet. Im aktuellen Masterteamprojekt entwickeln zwei Studierende die Navigationsschnittstelle im Stadtpiloten weiter, sodass Leonie nach Abschluss des Projekts ihre Routen während der Fahrt nach Vorgaben des Beifahrers ändern kann. Die Ergebnisse des Teamprojekts werden jeweils am Ende des Semes-

ters von den Studierenden in einem Vortrag vorgestellt. In den beiden Jahrgängen wurden folgende Themen behandelt:

Teilnehmer	Thema
Marcel Rose, Marvin Lee Schroeder	Selbstüberwachung Carolinchen & Ethernet basierte Mikrocontrollerkommunikation
Zheran Li, Cai Qisheng, Andreas Sass, Torsten Wylegala, Shiyun Zhao, Di Zhu	Kamerabasierte Fahrstreifen- und Verkehrszeichenerkennung
Christopher Plachetka, Vitali Lich	Erweiterung der Navigationschnittstelle im Projekt Stadtpilot

Tabelle 3.6: Themen der Masterteamprojekte des akademischen Jahres 2015/2016

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 2015/2016

- Automotive SPICE: Wie Prozesse Qualität sicherstellen
- Modellierung der Umwelt in Computerspielen und in der Computergrafik

- Fahrdynamiksimulation am Beispiel der Rennspiele TORCS und Speed Dreams
- Formale Testtechniken: Symbolischer Test und formaler Korrektheitsbeweis
- Stand der Forschung: Merkmalsextraktion und -abgleich in dreidimensionalen Punktwolken
- Ansätze zur Objektposenschätzung aus 3D Lidardaten
- Angriffe auf vernetzte Fahrzeuge am Beispiel des Fiat Chrysler Uconnect
- Stand der Forschung: Kamerabasierte Merkmalsextraktion für Structure from/and Motion
- Brake Blending in Elektrofahrzeugen

Sommersemester 2016

- Evolutionäres Testen
- Verifikation sicherheitsrelevanter Systeme mit Formalen Modellierungssprachen
- Stand der Technik: Überblick über Verfahren zur Registrierung von 3D-Punktwolken
- Stand der Technik: Grundlagen und Erweiterungen des RANSAC-Algorithmus zur Bestimmung von Modellparametern
- Stand der Forschung: Ansätze und Verfahren zur Geländekartierung aus 3D-Messdaten
- Random Finite Sets
- Verhaltenserkennung von Fußgängern im urbanen Raum

- Roboterethik
- Sicherheit von automatisierten Fahrzeugen - Angriffe auf die Sensorik

3.2.9 Industriepraktika

Im akademischen Jahr 2015/2016 wurden folgende Industriepraktika von unserer Arbeitsgruppe betreut:

Name	Betreuer	Betrieb
Philipp Adler	Jan Timo Wendler	IAV GmbH, Berlin
Arne Dreyer	Marcus Grobe	MAN Truck & Bus AG, Salzgitter
Maximilian Ernst	Jan Timo Wendler	ET'T Verpackungstechnik GmbH, Moringen
Vincent Gogoll	Bernd Amlang	BBR Verkehrstechnik, Braunschweig
Lukas Hartjen	Bernd Amlang	Volkswagen AG, Wolfsburg
Lasse Christian Hass	Gerrit Bagschik	Volkswagen AG, Wolfsburg
Sebastian Klingner	Till Menzel	Bertrandt Ingenieurbüro GmbH, Tappenbeck
Tongyang Shi	Bernd Amlang	Henan jinding Art Design and Production Co., Ltd., Henan Provinz, China
Anne Wolpers	Marcus Grobe	Volkswagen AG, Wolfsburg

Tabelle 3.7: Themen der Industriepraktika des akademischen Jahres 2015/2016

3.3 Studentische Arbeiten

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

BANGEMANN, N.: *Konzeptionierung eines modularen Gateways zur Analyse von Datenbussen im Automobilbereich*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Bachelorarbeit, 2015

CHEN, F.: *Konzeption und Implementierung von Algorithmen zur kamera-basierten Fußgängerdetektion und -verfolgung für automatisierte Straßenfahrzeuge im urbanen Raum*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Masterarbeit, 2016

ERSTEIN, V.: *Weiterentwicklung und Referenzierung eines wahrnehmungsgestützten Ortungsverfahrens für automatisierte Fahrzeuge*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Masterarbeit, 2015

FRANK, L.: *Erstellung von Referenz-Gitterkarten unter Verwendung eines Geodäsie-Laserscanners für automatisierte Fahrzeuge*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Bachelorarbeit, 2015

HIPPE, A.: *Evaluation der Xiinx-High-Level-Synthese für Bildverarbeitungsalgorithmen in automotive-Anwendungen*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Bachelorarbeit, 2016

HOLLEIS, T.: *Entwurf und Implementierung einer Befahrbarkeitsanalyse für Lkw in unwegsamem Gelände*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Masterarbeit, 2015

KÖRNER, C.: *Evaluierung und Erweiterung eines Verfahrens zur Fehlererkennung multipler Lidar-Sensoren für den Einsatz in automatisierten Straßenfahrzeugen*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Bachelorarbeit, 2016

LACKMANN, M.: *Entwicklung und Implementierung eines Frameworks zur Nachbildung prinzipbedingter Messfehler von Sensordaten in der Simulation*, Technische Universität Braunschweig, Institut für Regelungstechnik, Masterarbeit, 2015

MÜLLER, M.: *Implementierung und Evaluierung der Trajektoriengenerierung und Trajektorienauswahl nach Moritz Werling für den Stadtverkehr im Projekt Stadtpilot*, Technische Universität Braunschweig, Institut für Regelungstechnik, Diplomarbeit, 2016

RIOS JUAREZ, M.: *Erweiterung eines Navigationsmoduls um eine zur Fahrzeit anpassbare Routenführung*, Technische Universität Braunschweig, Institut für Regelungstechnik, Bachelorarbeit, 2016

SCHLEMON, M.: *Ermittlung von sicheren Zielposen mit Zieldynamik für ein automatisiertes Fahrzeug*, Technische Universität Braunschweig, Institut für Regelungstechnik, Bachelorarbeit, 2015

SCHMIDT, S.: *Inbetriebnahme, Erprobung und Evaluierung einer Verkehrsumgebungssimulation für den produktiven Testbetrieb von Fahrerassistenzsystemen im kompletten Fahrzeug-Steuergeräte-Verbund am Integrations-HiL*, Technische Universität Braunschweig, Institut für Regelungstechnik, Bachelorarbeit, 2016

SCHULZ, H.: *Entwurf und Umsetzung einer optimierten Fahrdynamikregelstrategie für ein überaktuiertes Fahrzeug*, Technische Universität Braunschweig, Institut für Regelungstechnik, Masterarbeit, 2015

SUN, W.: *Untersuchung von Algorithmen zur Identifikation der Parameter nichtlinearer Fahrdynamikmodelle*, Technische Universität Braunschweig, Institut für Regelungstechnik, Masterarbeit, 2015

TARDIO MARTOS, L.: *Entwicklung eines modellprädiktiven Planungsalgorithmus zur optimierten Trajektorienplanung im dynamischen Fahrzeugumfeld*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Masterarbeit, 2016

THIELECKE, L.: *Entwurf eines Mikrocontroller-basierten Zeitsynchronisationsmoduls zur Sensordatenfusion für automatisierte Fahrzeugsysteme*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Bachelorarbeit, 2016

WALTER, H.: *Entwurf und Implementierung eines Multisensorverfahrens zur automatischen markerbasierten Kamerakalibrierung*, Technische Universität Braunschweig. Institut für Regelungstechnik, Bachelorarbeit, 2015

3.4 Prüfungen am Institut

Im Berichtszeitraum wurden folgende Prüfungen abgelegt:

Name des Fachs	Anzahl der Prüfungen	Durchschnitts- note
Datenbussysteme	54	3,0
Elektromagnetische Verträglichkeit	83	2,7
Elektronische Fahrzeugsysteme	85	2,5
Fahrzeugsystemtechnik	68	2,2
Fahrerassistenzsysteme mit maschi- neller Wahrnehmung	6	2,1
Grundlagen der Elektrotechnik	201	3,7
Hochvoltsicherheit im Kraftfahrzeug	10	1,8
(<i>Master</i> –)Teamprojekt	8	k.A.
Mathematische Methoden für elektr. Fahrzeugsysteme	10	1,9
Oberseminar	3	k. A.

Tabelle 3.8: Anzahl der Prüfungen im Rahmen unserer Lehrveranstaltungen.

4 Ereignisse

4.1 Carolo-Cup 2016

von der Pressestelle der TU Braunschweig

„Carolinchen“, „Hyperion“ und „Simba“ aus Braunschweig und Aachen heißen die drei besten autonomen Modellfahrzeuge des diesjährigen Carolo-Cups der Technischen Universität Braunschweig. 15 studentische Teams aus ganz Deutschland und ein Team aus Göteborg trugen zwei Tage lang in der Braunschweiger Stadthalle mit ihren selbst entwickelten und autonom fahrenden Mini-Fahrzeugen den Wettkampf aus. Das Braunschweiger Team „Crazy Dancing Little Caroline“ (CDLC) fuhr nach drei Vizemeisterschaften beim 9. Carolo-Cup souverän an die Spitze. Mit „Hyperion“ kam das Team GalaXIs der RWTH Aachen auf den zweiten Rang vor dem zweiten Braunschweiger Team den ISF Löwen mit „Simba II“.

Fast 600 Zuschauer konnten erstmals in der Braunschweiger Stadthalle das Finale auf dem gut 90 Meter langen Parcours mitverfolgen. Der große Zuschauerzuspruch und die steigende Anzahl der teilnehmenden Teams machte einen Wechsel von der Aula der TU Braunschweig notwendig. Die Modellfahrzeuge im Maßstab 1:10 orientieren sich mit Hilfe von Kameras. Sie erkennen die vor dem Fahrzeug liegende Strecke und leiten die Kamerabilder dem Rechner mit der entsprechenden Software im Fahrzeug weiter. So gelingt es den Roboterfahrzeugen selbststän-



Abbildung 4.1: Die beiden siegreichen Braunschweiger Teams CDLC und ISF Löwen mit ihren Fahrzeugen „Carolinen“ (Cup- und Trainingsfahrzeug) sowie „Simba II“.

dig den Fahrstreifen zu halten, die Geschwindigkeit entsprechend der Strecke anzupassen und in die richtige Richtung zu lenken.

Das Braunschweiger Team CDLC zeigte die ausgeglichene Leistung in allen Disziplinen. Es parkte souverän rückwärts ein, war schnell und fast fehlerfrei auf der gut 90 Meter langen Rennstrecke unterwegs, wich sicher Hindernissen aus und meisterte gekonnt die Vorfahrtsregelungen an Kreuzungen. „Unsere Technik lief bereits in der Vorbereitung sehr stabil, so waren wir uns in diesem Jahr sehr sicher mit „Carolinen“ eine gute Platzierung einzufahren. Während des Wettkampfs haben wir „Carolinen“ optimal auf die Strecke eingestellt und eine tolle Performance abgeliefert“, freut sich Marcel Rose.

Der Niedersächsische Wirtschafts- und Verkehrsminister Olaf Lies, der den Wettbewerb in der Stadthalle verfolgte, war begeistert von der



Abbildung 4.2: Fast 600 Zuschauer verfolgten das Finale in der Stadthalle.

Leistung der Studierenden: „Den Studierenden zuzuschauen und von ihnen zu erfahren, wie sie Herausforderungen des autonomen Fahrens technisch umgesetzt haben und mit welchen Strategien sie angetreten sind, macht richtig Spaß.“

Mirco Kugelmeier vom Team GalaXIIs zeigte sich sehr zufrieden mit dem zweiten Platz. Nach dem neunten Rang nach ihrer Präsentation des Konzeptes, starteten die Aachener auf der Rennstrecke ihre Aufholjagd. „Wir sind super zufrieden, dass wir mit „Hyperion“ praktisch so überzeugen konnten.“

Den dritten Platz belegte das zweite Braunschweiger Team ISF Löwen mit ihrem Fahrzeug „Simba II“. Der Letztplatzierte des Vorjahres wollte in diesem Jahr zeigen, was er kann und hat sich 12 Monate intensiv auf den Wettbewerb vorbereitet. „Unser Ziel, schnell zu fahren und wenig Fehler zu machen, haben wir optimal erreicht. Schade, dass wir beim Einparken gepatzt haben, sonst hätten wir uns noch weiter vorn platzieren können“, so Robert Hartung.

Prof. Thomas Form vom Organisationsteam des Instituts für Regelungstechnik an der TU Braunschweig ist in diesem Jahr besonders

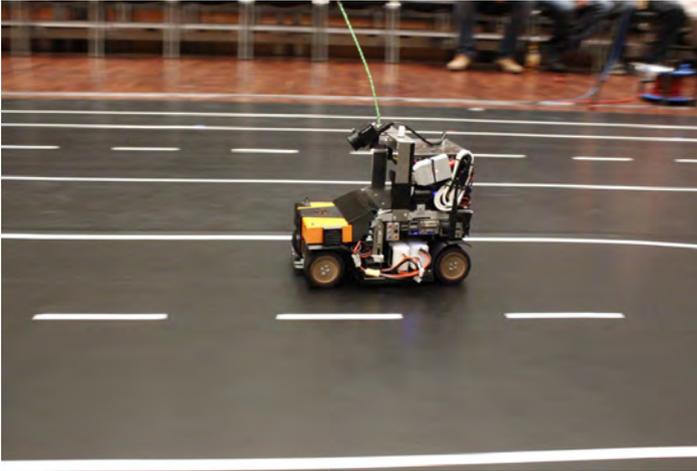


Abbildung 4.3: Drei Minuten lang hatten die Modellfahrzeuge Zeit, möglichst schnell und fehlerfrei den vorgegebenen Parcours zu durchfahren.

vom Können der Studierenden beeindruckt und sieht eine große Leistungssteigerung der Teams. „Besonders der Weg zum Finale ist das Ziel des Carolo-Cups. Der Zeitaufwand der Studierenden oft mit mehreren tausend Arbeitsstunden ist enorm. Die Studierenden lernen bestens ganzheitlich und praxisnah das Thema „autonomes Fahren“, Teamarbeit und Projektmanagement kennen.“

Die Siegermannschaften konnten sich über ein Preisgeld von insgesamt 10.000 Euro freuen. Das Team CDLC erhält für den Sieg 5.000 Euro. Die Zweit- und Drittplatzierten bekommen 3.000 bzw. 2.000 Euro.

An dem gleichzeitig ausgetragenen Junior-Cup, an dem sich Teams, die das erste Mal am Start sind, mit weniger komplexen Aufgaben messen, nahm nur das Team „Querlenker“ der Hochschule Karlsruhe teil. Die Studierenden, die sich über ein Preisgeld in Höhe von 500 Euro freuen

konnten, überzeugten mit ihrem Fahrzeug und wollen nächsten Jahr beim Carolo-Cup starten.

Der mit 500 Euro dotierte Sonderpreis des VDI für das leichteste Fahrzeug ging an das Team NaN der Hochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg. Ihr leichtes autonomes Kraftfahrzeug „Lak-XU 4000“ brachte nur 1,85 Kilo auf die Waage.

Am 07. Februar 2017 wird der nunmehr 10. Carolo-Cup stattfinden. Wir freuen uns, auch im nächsten Jahr die Stadthalle als Veranstaltungsort gewonnen zu haben. Wir bedanken uns schon jetzt beim Team der Stadthalle und dem Präsidium der TU Braunschweig für die große Unterstützung bei der Realisierung des nächsten Carolo-Cups.

Teil II

**Berichte aus der
Forschung**

5 Stadtpilot

von Jens Rieken und Susanne Ernst

Im Rahmen des Projekts Stadtpilot wird das automatisierte Fahren in urbanen Umgebungen erforscht. Neben dem Institut für Regelungstechnik der Technischen Universität Braunschweig mit Professor Markus Maurer ist das Institut für Flugführung mit Professor Peter Hecker am Projekt beteiligt. Ziel des ausschließlich aus Mitteln von Instituten der Technischen Universität Braunschweig geförderten Projekts ist es, den Braunschweiger Stadtring im öffentlichen Straßenverkehr automatisiert zu umfahren. Durch das städtische Szenario ergeben sich eine Vielzahl von Herausforderungen im Bereich der Umfeldwahrnehmung, Lokalisierung und Verhaltensgenerierung, beispielsweise Fahrstreifenwechselmanöver oder ein Abbiegevorgang innerhalb einer Kreuzung bei Gegenverkehr.

Im vergangenen Jahr wurde die Soft- und Hardware unseres Versuchsträgers weiterentwickelt, um in Zukunft diese Herausforderungen besser bewältigen zu können.

Unser Techniker Anton Grünke hat den Aufbau des Kofferraums unseres Versuchsträgers überarbeitet, sodass wir besseren Zugriff auf die zusätzlich eingebauten Komponenten haben und gleichzeitig stets gut strukturierte Hardware präsentieren können.

Weiterhin wurden mehrere neue Sensoren am Versuchsträger angebracht und in Betrieb genommen. Hierzu gehören zwei Nahbereichs-Radar-Sensoren der Firma Delphi, welche seitlich in der Frontschür-

ze eingebaut wurden. Zusätzlich wurde ein Fernbereichs-Radar (Delphi ESR₂) in der Mitte des vorderen Stoßfängers montiert. Mithilfe dieser Sensoren ist es möglich, Geschwindigkeit und Beschleunigung dynamischer Objekte besser wahrnehmen zu können. Gleichzeitig ermöglicht der Front-Radar die Erfassung von Zielen in größerer Distanz, was Leonie, unserem Versuchsfahrzeug, eine verbesserte Sicht in große Kreuzungsbereiche ermöglicht. Damit stellen die Radar-Sensoren eine Ergänzung zum aktuell eingesetzten Velodyne-Laserscanner dar, der vom Fahrzeugdach den Abstand zu umliegenden Objekten und Hindernissen erkennt. Neben den Radarsensoren wurde zusätzlich ein MobilEye-Kamerasystem hinter der Windschutzscheibe angebracht, das unter anderem Daten zu Verkehrszeichen, Fahrstreifenverläufen und Objekten liefert. Das MobilEye-System wird als Kameralösung von verschiedenen Fahrzeugherstellern verwendet und hat sich als sehr leistungsfähige Sensorplattform im Bereich FAS und automatisiertes Fahren etabliert. Während die Messungen der Radar- und der Laser-Sensorik bereits in der Umfeldwahrnehmung fusioniert werden, wird die Verarbeitung der Kameradaten derzeit vorbereitet. Zukünftig soll das Kamerasystem dabei helfen, die Erfassung und Klassifikation von Objekten weiter zu verbessern.

Zusätzlich zu den Änderungen an der Sensorik wurden in der Software zur Umfeldwahrnehmung zahlreiche Detailverbesserungen vorgenommen. So wurde das zeitliche Verhalten von scannender Sensorik detailliert betrachtet. Neben schon etablierten Verfahren zur Eigenbewegungskorrektur in den eingesetzten gitterbasierten Modellen wird nun das Zeitverhalten scannender Sensorik ebenfalls innerhalb der Objektverfolgung berücksichtigt. Durch eine adaptive Prädiktion entlang des Sensor-Scanwinkels konnte eine zeitlich korrekte Einbringung von neuen Messungen in die Objektverfolgung erreicht werden. Hierdurch wurden Stabilität und Konsistenz der Objekthypothesen weiter

verbessert. Ergebnisse dieser Arbeiten wurden auf der diesjährigen IEEE ITSC eingereicht und dort zur Veröffentlichung angenommen. Zur asynchronen Fusion von Radar- und Laserdaten wurde ein Retrodiktionsalgorithmus, welcher die Fusion von zeitlich ungeordneten Sensordaten ermöglicht, implementiert und erfolgreich eingesetzt.

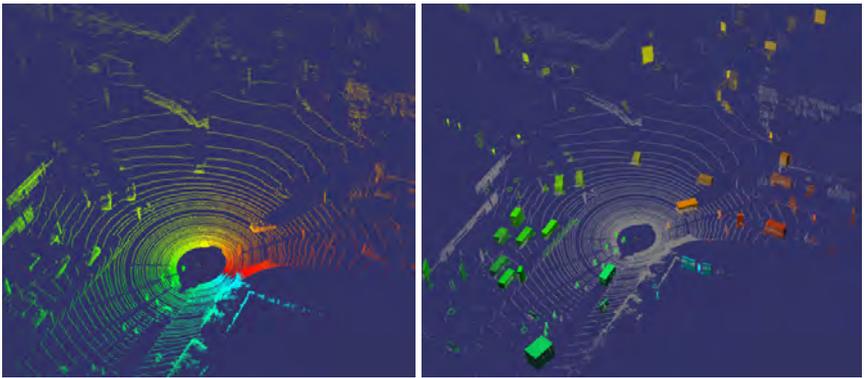


Abbildung 5.1: 3D-Punktwolke eines Velodyne-Scans (links) sowie die extrahierten Objekte (nur potentiell bewegliche Elemente, rechts). Die Einfärbung beschreibt das relative Alter der Messung, bedingt durch die Rotation des Sensors.

Weiterhin wurde die Extraktion von Stixeln aus den 3D-Punktdaten des Velodyne weiterentwickelt, um auch überhängende Strukturen über beweglichen Zielen repräsentieren zu können. Zusammen mit Erweiterungen der Segmentierung, welche einzelne Stixel entsprechend ihrer Höhendimensionen gruppieren, können nun auch Objekte unterhalb von Bäumen und Überbauten ohne Track-Abriss verfolgt werden.

Auch in diesem Jahr haben wir im Sommersemester einen Workshop zur fokussierten Entwicklung im Stadtpilot durchgeführt. Während dieser dreiwöchigen Phase, in der alle beteiligten Mitarbeiter ihre Entwicklungstätigkeiten auf das Projekt konzentrierten, wurde ein neues

Konzept zur Kontextmodellierung sowie Gestaltung der Szenenschnittstelle entwickelt und mit der Implementierung begonnen.

Dabei wurde insbesondere auf eine strikte Trennung zwischen statischen Informationen und dynamischen Bestandteilen sowie eine einfache Erweiterung um neue Merkmale geachtet. Neue Strategien zum Zugriff auf die Datensätze sollen sicherstellen, dass zentrale Informationen innerhalb des Kontextmodells gezielt aktualisiert werden können. Hierdurch wird es möglich, ein Kontextmodell allein aus Umfelddaten zu erzeugen. Dies wird uns bei zukünftigen Entwicklungen unterstützen, die einen noch stärkeren Fokus auf die wahrnehmungsbasierte Kontextmodellierung legen werden. Die einheitliche Schnittstelle und ihre Zugriffsstrategie bilden gleichzeitig die Eingangsdatenbasis für die Verhaltensentscheidung, welche somit prinzipiell unabhängig von der konkreten Datenlage in der Kontextmodellierung entwickelt werden kann. Neben der Schnittstelle zur Kontextmodellierung wird die Routenplanung ebenfalls umstrukturiert und an die Anforderungen der Verhaltensentscheidung angepasst. Dafür musste zunächst das Kartenformat adaptiert und erweitert werden, sodass die Kartendaten hinsichtlich ihres Detaillierungsgrades konsequenter getrennt sind. Die Navigation soll in Zukunft lediglich auf Straßenebene und nicht mehr auf Fahrstreifenebene arbeiten, um damit die Datenmenge und die Verarbeitungszeit des Planungsalgorithmus signifikant zu reduzieren. Mit diesen Veränderungen können neue Konzepte für die Verhaltensentscheidung entworfen und umgesetzt werden.

Neben den genannten Erweiterungen wurde die Fahrzeugregelung auf eine dSpace MicroAutoBox ausgelagert und dort ein neues Regelungskonzept für die Längs- und Querverführung umgesetzt. In Kombination mit der derzeit im Test befindlichen Implementierung einer neuen Trajektorienplanung auf Basis des Werling-Planungsalgorithmus soll zukünftig ein noch komfortableres Fahrzeugfahrverhalten erreicht wer-

den. Die neue Trajektorienplanung soll gleichzeitig die Realisierung weiterer Fahrfunktionen ermöglichen, wie beispielsweise ein Ausweichen innerhalb des eigenen Fahrstreifens. Durch den lokalen Planungshorizont ist dieser Algorithmus ein wichtiger Schritt weg von der bisher globalen Bahnplanung hin zu einer flexibleren Planung durch das lokale Umfeld.

Trajektorienplanung und Fahrzeugregelung werden derzeit intensiv auf dem Testgelände sowie auf dem Braunschweiger Ring erprobt. Zusammen mit den Erweiterungen an der Umfeldwahrnehmung und Kontextmodellierung sind wir zuversichtlich, in naher Zukunft weitere Herausforderungen im Projekt erfolgreich meistern zu können.

6 Kooperation mit der Volkswagen AG - Projekt PEGASUS

von Till Menzel

Der steigende Automatisierungsgrad stellt immer höhere Anforderungen an die Güte des Verhaltens automatisierter Fahrfunktionen. Besonders beim Wegfall der „Rückfallebene Mensch“ ist eine ausreichende Qualität der automatisierten Fahrfunktion unabdingbar, da das Fahrzeug über einen gewissen Zeitraum vollkommen selbstständig agieren muss. Zu diesem Zweck werden für die Freigabe neuer Fahrfunktionen Metriken und Methoden zur Bestimmung der Güte benötigt, die die Fahrfunktionen erfüllen müssen.

Zeitgleich erfordert die steigende Komplexität automatisierter Fahrfunktionen in Bezug auf die Hard- und Softwarekomponenten immer effizientere Methoden für den Test und die Absicherung der Systeme. Aktuelle Testprozesse und Testmethoden sind für die Freigabe und Einführung automatisierter Fahrzeuge aufgrund ihrer hohen Zeit- und Kostenintensität nicht geeignet.

Das Gemeinschafts-Projekt zur Etablierung von **generell akzeptierten Gütekriterien, Werkzeugen und Methoden sowie Szenarien und Situationen** zur Freigabe hochautomatisierter Fahrfunktionen (PEGASUS) wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) mit bis zu 16,3 Millionen Euro gefördert. Am Projekt sind Partner aus der

Industrie (OEMs und Zulieferer), wissenschaftliche Einrichtungen und eine Prüforganisation beteiligt.

Die Projektpartner bearbeiten in PEGASUS zwei zentrale Fragestellungen:

- Wie gut muss ein automatisiertes Fahrzeug fahren?
- Wie weisen wir diese Güte nach?

Ziel des Projekts ist das Erarbeiten eines herstellerübergreifenden einheitlichen Vorgehens für die Absicherung und Freigabe automatisierter Fahrfunktionen. Hierzu sollen die zentralen Methoden im Entwicklungsprozess konzipiert und prototypisch als Werkzeugkette umgesetzt werden.

Das PEGASUS Projekt ist in vier eng vernetzte Teilprojekte untergliedert. Im Teilprojekt „Szenarienanalyse und Qualitätsmaße“ wird ein Vorgehen entwickelt, um relevante Szenarien für die hochautomatisierte Fahrfunktion „Autobahn-Chauffeur“ zu identifizieren. Des Weiteren werden Methoden zur Ermittlung der menschlichen und maschinellen Leistungsfähigkeit erarbeitet.

Im Teilprojekt „Umsetzungsprozesse“ wird der Stand der Technik bei Entwicklungs- und Testprozessen recherchiert. Weiterführend werden ausgehend von den Ergebnissen des ersten Teilprojekts der Modifikationsbedarf der Prozesse identifiziert sowie Änderungen vorgeschlagen und bewertet.

Im Teilprojekt „Testen“ liegt der Fokus auf der Umsetzung der Testaufgabe. Hierzu sollen neue Testverfahren in den Bereichen Simulation, Prüfgeländetests und Feldtests erarbeitet werden.

Im Teilprojekt „Ergebnisreflektion und Einbettung“ werden die Arbeitsergebnisse des Projekts schlussendlich kritisch hinterfragt und gegebenenfalls aufbereitet.

Das Institut für Regelungstechnik hat in den ersten drei Arbeitspaketen verschiedene Aufgaben übernommen und trägt mit vier Mitarbeitern zu den Ergebnissen des Projekts bei. Aufgrund der neuen Förderrichtlinien des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie ist das Institut für Regelungstechnik nicht als direkter Projektpartner beteiligt, sondern nimmt über Unteraufträge der Volkswagen AG, Audi AG und Bosch GmbH am Projekt teil.

Seit Projektbeginn im Januar 2016 arbeitet das Institut für Regelungstechnik schwerpunktmäßig im Teilprojekt „Szenarienanalyse und Qualitätsmaße“. In diesem Rahmen entwickelten wir einen Ansatz zum systematischen Ableiten von Szenarien für den Autobahn-Chauffeur auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen und trugen mit unseren Begriffsdefinitionen maßgeblich zu der im PEGASUS-Konsortium verwendeten Terminologie bei. Zusätzlich bereitete das Institut für Regelungstechnik Messfahrten auf Autobahnen in Deutschland und anderen europäischen Ländern vor. Die Daten sollen bezüglich der auftretenden Infrastruktur ausgewertet werden (Fahrstreifenbreiten, Qualität der Fahrbahnmarkierungen, etc.). Mithilfe dieser Informationen soll die Szenariengenerierung gestützt werden, indem die relevanten Szenarioparameter identifiziert und die Verteilungen der auftretenden Parameterstufen ermittelt werden.

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

von Torben Stolte

Gemeinsam mit den vier Industriepartnern MAN, WABCO, ZF TRW und Bosch Automotive Steering sowie dem Straßenbetriebsdienst des Landes Hessen „Hessen Mobil“, der BAST und der Hochschule Karlsruhe arbeitet das Institut für Regelungstechnik seit dem 1. August 2014 im Rahmen des vierjährigen Projekts *aFAS* an dem Ziel, erstmals ein unbemanntes Fahrzeug im öffentlichen Straßenverkehr fahren zu lassen.

Derzeit werden Arbeitsstellen kürzerer Dauer auf Seitenstreifen von Autobahnen (z. B. die Mahd des Seitenstreifens, das Säubern von Leitpfählen und das Kehren des Seitenstreifens) durch von Mitarbeitern des Straßenbetriebsdiensts geführte Absicherungsfahrzeuge gegen den fließenden Verkehr abgesichert. Der Mitarbeiter ist dabei einem erhöhten Unfallrisiko ausgesetzt. Ziel des Projektes ist es ein Absicherungsfahrzeug zu entwickeln, das in der Lage ist, einer Arbeitsstelle kürzerer Dauer auf dem Seitenstreifen einer Autobahn automatisiert und ohne menschliche Überwachung zu folgen. Dabei wird durch das Konsortium bewusst auf den Sicherheitsfahrer verzichtet und somit im

Unterschied zum Projekt Stadtpilot (siehe 5) und vergleichbaren Projekten erstmals vollautomatisierter Betrieb nach Definition des VDA im öffentlichen Straßenverkehr gezeigt. Der wohldefinierte Rahmen eines Seitenstreifens einer Autobahn stellt im Vergleich zu vollautomatisiertem Fahren auf den Fahrstreifen einer Autobahn oder gar in der Stadt, einen vergleichsweise kleinen aber immer noch sehr komplexen Ereignisraum dar, in dem sich das automatisierte Absicherungsfahrzeug bewegt. Besonderes Merkmal des Projektes ist die Abwesenheit eines menschlichen Überwachers – sei es in Form eines Sicherheitsfahrers oder einer Fernüberwachung –, der im Falle einer Fehlfunktion eingreifen kann.

Zentrale Herausforderung ist deshalb die Funktionale Sicherheit, deren Betrachtung im Projekt federführend vom Institut für Regelungstechnik bearbeitet wird. Insbesondere wird gemeinsam mit den Industriepartnern ein geeignetes Sicherheitskonzept erarbeitet und ein Testkonzept zur Validierung des Gesamtsystems entworfen. Darüber hinaus erfolgt die Koordination der Aktivitäten zur Funktionalen Sicherheit der Industriepartner. Dies umfasst zum einen die Abstimmung definierter Entwicklungsschnittstellen zwischen den Konsortialpartnern. Zum anderen soll ein gemeinsames Verständnis der ISO 26262 – der zentralen Norm zur funktionalen Sicherheit von elektronischen Systemen im Kraftfahrzeug – hergestellt werden. Die ISO 26262 wird zusätzlich hinsichtlich der Anwendbarkeit für Systeme mit Umfeldwahrnehmung untersucht. Die einzelnen Arbeitsergebnisse sollen abschließend in generalisierten Ansätzen zur Absicherung vollautomatisierter Fahrzeuge zusammengefasst werden.

Wesentliche Arbeitspakete des Instituts für Regelungstechnik orientieren sich an der ISO 26262. Im Referenzentwicklungsprozess der ISO 26262 sind die Aufgaben des Instituts für Regelungstechnik jeweils

am Anfang und Ende des der Norm zugrunde liegenden V-Modells zu finden.

Die Item Definition, eine detaillierte funktionale Beschreibung des automatisierten und fahrerlosen Betriebs, dient als Ausgangsbasis für die nachfolgenden Schritte im Referenzentwicklungsprozess der ISO 26262. Die Item Definition wurde im Berichtszeitraum weit vorangetrieben und steht kurz vor dem Abschluss. Auf mittlerweile 50 Seiten werden alle für die Entwicklung im Projekt aFAS wesentlichen Punkte adressiert. Diese umfassen u. a. Beschreibungen des detaillierten Betriebsablaufs bei Einsatz eines fahrerlosen Absicherungsfahrzeug durch den Straßenbetriebsdienst, Betriebszustände des zu entwickelnden Systems, Schnittstellen zu weiteren relevanten Komponenten im Fahrzeug, funktionale Systemgrenzen, die Einsatzumgebung sowie Randbedingungen wie Temperaturen und Sichtbedingungen.

Auf die Item Definition folgt im Referenzentwicklungsprozess der ISO 26262 die Erstellung einer *Gefährdungsanalyse und Risikobewertung*. Im Rahmen der Gefährdungsanalyse werden mögliche Gefährdungen identifiziert, die durch Fehlfunktionen einzelner Systemkomponenten entstehen können. Die Fehlfunktionen ergeben in Kombination mit einem Verkehrsszenario (in der ISO 26262 als Situation bezeichnet) ein Gefährdungsereignis, das in der Risikobewertung in das *Automotive Safety Integrity Level (ASIL)*, einer fünfstufigen Skala von QM, ASIL A bis ASIL D, eingestuft. Hierbei sind die betrachteten Variablen die zu erwartende Unfallschwere, die Auftretenswahrscheinlichkeit der Fahrsituation sowie die Beherrschbarkeit durch die Fahrzeuginsassen, aber auch durch den umliegenden Verkehr. Die Einstufung wird einem Sicherheitsziel zugeordnet, das im weiteren Verlauf des Entwicklungsprozesses berücksichtigt werden muss. In einem Serienentwicklungsprozess skaliert die

Einstufung den Entwicklungsaufwand von Systemteilen, die ein oder mehrere Sicherheitsziele betreffen.

Im Projekt aFAS wird die Gefährdungsanalyse und Risikobewertung parallel zur Item Definition erstellt. Dies hat zum einen den Vorteil eines beschleunigten Projektverlaufs. Zum anderen kann die Item Definition auf diese Weise hinsichtlich ihrer Konsistenz überprüft werden. Bezogen auf das automatisierte und fahrerlose Absicherungsfahrzeug ist die wesentliche Gefährdung eine Kollision mit anderen Verkehrsteilnehmern, vor allem durch das Verlassen des Seitenstreifens in Richtung der Fahrstreifen sowie durch das Auffahren auf ein stehendes Hindernis auf dem Seitenstreifen (z. B. vorausfahrendes Arbeitsfahrzeug oder nothaltendes Fahrzeug). Aufgrund der Abwesenheit eines Fahrers oder eines Überwachers im automatisierten Betrieb erfolgt im Projekt aFAS nur eine Betrachtung der Beherrschbarkeit von Fehlfunktionen durch den umliegenden Verkehr.

Insgesamt sind die Arbeiten an der Gefährdungsanalyse und Risikobewertung ebenfalls weit fortgeschritten. Die Ergebnisse sollen im kommenden akademischen Jahr auf einer internationalen Konferenz präsentiert werden. Es kann vorweg genommen werden, dass wir rund 50 Gefährdungsereignisse identifiziert haben. Die Gefährdungsereignisse erhalten Einstufungen von teilweise bis zu ASIL D, die meisten sind aber niedriger eingestuft.

Als letzten Schritt der Gefährdungsanalyse und Risikobewertung werden Sicherheitsziele für die einzelnen Gefährdungsereignisse festgelegt. Für die festgelegten rund 15 Sicherheitsziele werden im weiteren Projektlauf Konzepte entwickelt, wie diese erreicht werden können. Dabei wird aus zwei Perspektiven vorgegangen. Zum einen werden bestehende Systeme der Industriepartner bezüglich ihrer Eignung für den fahrerlosen Betrieb überprüft und erweitert. Zum anderen werden

Konzepte ohne detaillierte Kenntnis der Partnersysteme entwickelt. Die Ergebnisse beider Ansätze werden gegenübergestellt, um mögliche Schwachstellen zu identifizieren und auszubessern. Ein erster Entwurf eines Sicherheitskonzepts wurde bereits erstellt und wird derzeit im Konsortium diskutiert.

Aus wissenschaftlicher Perspektive wurden einzelne Punkte der Item Definition und der Gefährdungsanalyse parallel zum beschriebenen Vorgehen, das insbesondere auf Expertenwissen aufbaut, systematisch betrachtet. Zum einen wurde ein Ansatz untersucht, welcher potenziell gefährliche Szenarien soweit wie möglich automatisiert identifizieren kann. Dabei fließt das Expertenwissen nicht in die eigentliche Erstellung der Szenarien, sondern in die vorangestellte Modellierung des Systems. Durch diese Methode wurden deutlich mehr potenziell gefährliche Szenarien generiert, die derzeit im Vergleich zu den manuell identifizierten Gefährdungen ausgewertet werden. Des Weiteren wurden die systematische Identifikation von Fehlfunktionen sowie die systematische Ableitung von Sicherheitszielen und -anforderungen für automatisierte Fahrzeuge im Allgemeinen mit einer systemtheoretischen Prozessanalyse (STPA: System-Theoretic Process Analysis) durchgeführt.

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

wird, getestet werden kann, um einen Teil der realen Testfahrten in die Simulation zu verlagern. Dies spart Kosten und reduziert den zeitlichen Testaufwand, wodurch die Entwicklungszeit verkürzt werden kann. Zudem können die Tests reproduzierbar wiederholt und gefährliche Szenarien ohne Gefährdung von Mensch und Umwelt einfach getestet werden. Dabei sind die Grenzen der Simulation zu beachten.

Mit Ausblick auf das kommende akademische Jahr wird die Systemvalidierung den größten Teil der Aktivitäten einnehmen. Die Arbeiten rund um Item Definition, Gefährdungsanalyse und Risikobewertung sowie das Sicherheitskonzept sollen abgeschlossen werden. Zudem werden die Arbeitsergebnisse dem TÜV Süd zu einer externen Begutachtung vorgelegt und mit diesem diskutiert. Gleiches gilt für das Vorgehen zur Systemvalidierung.

8 Infrastrukturbedarf automatisierten Fahrens der BAST

von Frank Dierkes und Andreas Reschka

Das von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST) getragene Grundlagenprojekt wurde in diesem Jahr abgeschlossen. Das Institut für Regelungstechnik war zusammen mit dem Institut für Verkehr und Stadtbauwesen (IVS) der TU Braunschweig als Unterauftragnehmer der TRANSVER GmbH an dem Projekt beteiligt. Ziel war es, Anforderungen automatisierter Fahrfunktionen an die Infrastruktur zu ermitteln und entsprechend diesen Anforderungen Infrastrukturmaßnahmen zu konzipieren und zu bewerten. Der Begriff Infrastruktur umfasst dabei innerhalb des Forschungsprojekts nicht nur die straßenbauliche Infrastruktur (Trassenführung, Zustand des Fahrbahnbelags, etc.) und die verkehrstechnische Infrastruktur (Fahrbahnmarkierungen, Schilder, etc.), sondern auch die vorhandene oder eine möglicherweise erweiterte informationstechnische Infrastruktur (Verkehrsinformationen, Fahrzeug-zu-Infrastruktur-Kommunikation, etc.).

Um die Anforderungen an die Infrastruktur und daraus resultierende hilfreiche oder notwendige Infrastrukturmaßnahmen abzuleiten, wurde zunächst auf Grundlage des Stands der Wissenschaft und Technik untersucht, welche Umsetzungen automatisierter Fahrfunktionen in einem prognostizierbaren Zeitraum von etwa einer Dekade für ein Serienfahrzeug zu erwarten sind. Als wahrscheinlichstes Einführungs-szenario wurden hochautomatisierte Fahrfunktionen identifiziert, die

auf Autobahnen oder Landstraßen der Entwurfsklasse 1 beschränkt sind.

Am Beispiel zweier möglicher Definitionen von automatisierten Fahr-funktionen – Autobahn- und Pendlerchaffeur getauft – wurden anschließend Szenarien identifiziert, von denen anhand der prognostizierten technischen Entwicklung zu erwarten ist, dass sie eine Herausforderung für automatisiert fahrende Straßenfahrzeuge darstellen. Zu diesen Szenarien gehören beispielsweise kleine Hindernisse im eigenen Fahrstreifen, die anhand der bordeigenen Sensorik nicht rechtzeitig detektiert werden können, zu hohe Differenzgeschwindigkeiten von Verkehrsteilnehmern für die erwartete Sensorsichtweite oder fehlende oder nicht sichtbare Fahrbahnmarkierungen, so dass sich das Fahrzeug nicht an diesen orientieren kann. Grundlage für die Auswahl der im Projekt betrachteten Szenarien war ein Workshop mit Fachleuten der Automobilindustrie und der Infrastrukturbetreiber.

Nachfolgend wurden Infrastrukturmaßnahmen konzipiert, die das Beherrschen dieser Szenarien für automatisiert fahrende Straßenfahrzeuge ermöglichen oder erleichtern sollen. Im Falle eines kleinen Hindernisses im eigenen Fahrstreifen wäre es beispielsweise denkbar, die Position des Hindernisses dem Fahrzeug via Fahrzeug-zu-X-Kommunikation zu übermitteln und ihm so eine rechtzeitige Reaktion zu erlauben. Um dies zu ermöglichen, könnten als Informationsquelle bestehende videobasierte Detektionssysteme für die Seitenstreifenfreigabe oder vorausfahrende, mit entsprechender Sensorik und Kommunikationstechnik ausgestattete Fahrzeuge genutzt werden. Beide Maßnahmen garantieren zwar keine rechtzeitige Warnung, können aber die Wahrscheinlichkeit, dass ein automatisiert fahrendes Fahrzeug mit einem spät detektierbaren Hindernis kollidiert, entscheidend reduzieren.

Im Falle fehlender oder nicht sichtbarer Fahrbahnmarkierungen kann sich ein automatisiert fahrendes Fahrzeug weiterhin an anderen Elementen der Straßeninfrastruktur orientieren, beispielsweise Leitplanken oder Leitpfosten. Eine denkbare Maßnahme, um die Verfügbarkeit automatisierter Fahrfunktionen potentiell zu erhöhen, könnte also sein, Straßen vermehrt mit Leitplanken auszustatten und die Abstände von Leitpfosten zu reduzieren (so dass innerhalb der Sensorsichtweite des Fahrzeugs mehr Leitpfosten zur Orientierung vorhanden sind). Besonders intensiv wurde diskutiert, wie der tatsächliche Zustand der Infrastrukturelemente im Vergleich zu Normen und Richtlinien ist. Hier zeigte sich, dass die Betriebsdienste durch Streckenkontrolle in der Lage sind, den Zustand zu erfassen. Es gibt jedoch keine dedizierten Anforderungen, wie gut der Zustand für das automatisierte Fahren sein muss. Hierzu besteht Forschungsbedarf in Hinblick auf die maschinelle Erfassung und Auswertung des Zustands der Infrastrukturelemente. Das Mindestmaß an Qualität der Infrastrukturelemente muss ebenfalls noch definiert werden.

Eine weitere Möglichkeit zur Unterstützung der automatisierten Fahrzeuge ist die Bereitstellung der Fahrstreifenverläufe und der Positionen und Zugehörigkeiten von Infrastrukturelementen über eine digitale Karte, die wiederum über Fahrzeug-zu-Infrastruktur-Kommunikation aktualisierbar ist.

Das Sicherstellen der Aktualität und Korrektheit der digitalen Karte sowie der notwendigen Genauigkeit der Kartendaten und einer kartenrelativen Lokalisierung des automatisiert fahrenden Fahrzeugs wird allerdings sowohl im Hinblick auf die technische wie auch die organisatorische Realisierung noch als herausfordernd angesehen.

Abschließend wurden die für die verschiedenen Szenarien konzipierten Maßnahmen qualitativ bewertet. Die Bewertungskategorien waren Not-

wendigkeit, Wirksamkeit, technische, organisatorische und zeitliche Realisierbarkeit sowie die Kosten. Die Bewertung der Infrastrukturmaßnahmen basiert auf einem zweiten Workshop, der erneut mit Fachleuten der Automobilindustrie und der Straßenbetreiber durchgeführt wurde. Im Rahmen des Workshops wurden die konzipierten Maßnahmen vorgestellt, diskutiert und in Gruppen gemeinsam bewertet. Neben den inhaltlichen Ergebnissen haben die beiden Workshops zudem gezeigt, dass insbesondere auch seitens der Infrastrukturbetreiber reges Interesse an diesem Themenfeld herrscht.

Der Abschlussbericht wird voraussichtlich noch innerhalb dieses Jahres veröffentlicht.

9 Wertebasierte Fahrentscheidung der Daimler und Benz Stiftung¹

von Andreas Reschka, Susanne Ernst, Jens Rieken, Markus Maurer

Ethische Aspekte von Fahrentscheidungen wurden und werden in den letzten Jahren verstärkt diskutiert, da sie für automatisierte Fahrzeuge über die technologischen Aspekte hinaus eine wichtige Rolle einnehmen. Beispielsweise hat das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur eine Ethikkommission für automatisierte Fahrzeuge ins Leben gerufen, die sich mit ethischen Fragestellungen befassen wird². Gefördert durch die Daimler und Benz Stiftung wurde das Projekt „Wertebasierte Fahrentscheidung“ im Mai 2016 gestartet, um ethische Aspekte der Umfeldwahrnehmung, der Navigation und der Fahrentscheidung zu untersuchen. Während in der vergangenen Zeit vor allem Dilemmasituationen mit unvermeidlichem Personenschaden diskutiert wurden, sollen hier auch alltägliche und auf den ersten Blick „einfache“ Fahrentscheidungen betrachtet werden. Das Projekt wird gemeinsam mit unseren Partnern am Center for Automotive Research der Stanford University, der Ethics and Emerging Sciences Group

¹Dieser Bericht erscheint ebenfalls im Jahresbericht der Daimler und Benz Stiftung für das Jahr 2016

²<https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2016/157-dobrindt-ethikkommission.html>

der California Polytechnic State University San Luis Obispo und dem Stanford Intelligent Systems Laboratory durchgeführt.

Projektstart

In den ersten Monaten stand die Recherche nach Ansätzen zu den Themen des Projekts an. Es zeigte sich, dass es im Kontext des automatisierten Fahrens momentan viele Diskussionen rund um das Thema Ethik gibt. Auch erste Ansätze zur Implementierung von Ethik in Fahrzeugführungssystemen wurden identifiziert. Die meisten Veröffentlichungen behandeln das Thema Dilemmasituationen³. In Dilemmasituationen stehen dem automatisierten Fahrzeug nur Handlungsoptionen zur Verfügung, die zu einem Personenschaden führen. Dies ist zwar wichtig, jedoch stecken in jeder Navigations- und Fahrentscheidung und auch in der Nutzung von erhobenen Daten mittels Umfeldwahrnehmung ethische Aspekte, die im Rahmen des Projekts näher untersucht werden. Diese drei Themen bilden den Kern des Projekts, wobei besonders die taktischen Fahrentscheidungen im Fokus stehen.

Forschungsfahrzeug und Simulationsumgebung

Neben den ersten Literaturrecherchen wurde eine Werkzeugkette vorbereitet, mit der später im Projekt sowohl simulativ als auch in einem Versuchsträger des Instituts für Regelungstechnik der Technischen Universität Braunschweig gearbeitet werden kann. Hierzu wurden die Vorarbeiten aus dem institutsinternen Projekt Stadtpilot genutzt. Dazu gehören ein Sicherheitskonzept mit einem Sicherheitsfahrer, eine Ansteuerung des Fahrzeugs, eine Trajektoriengenerierung und Fahrzeugregelung und eine Umfeldwahrnehmung. Der Versuchsträger Leonie, der seit 2010 im öffentlichen Straßenverkehr eingesetzt wird, und ei-

³<http://moralmachine.mit.edu/>

ne kompatible Simulationsumgebung erlauben die Veranschaulichung und Evaluation der Forschungsergebnisse.

Funktionen und Szenarien

Im Rahmen des Projekts "Villa Ladenburg" hat sich die Verwendung von Anwendungsfällen als Ausgangsbasis für ein derartiges Forschungsprojekt bewährt⁴. Auch für das Projekt Wertebasierte Fahrentscheidung erscheint dies sinnvoll. Einer der betrachteten Anwendungsfälle wird das fahrerlose Fahren im städtischen Straßenverkehr von Tür zu Tür sein. Im Projekt „Villa Ladenburg“ wurde dieser Anwendungsfall als das „Automatisiertes Fahrzeug auf Abruf“ bezeichnet. Das fahrerlose Fahren von Tür zu Tür beinhaltet alle Herausforderungen für das automatisierte Fahren in der Stadt, da hierbei zahlreiche und vielfältige Szenarien auftreten. Diese sind repräsentativ für weitere Anwendungsfälle und Einsatzgebiete. Es bietet sich weiterhin ein szenariobasierter Ansatz an. Szenarien sind zeitlich begrenzte Abfolgen von Ereignissen im Straßenverkehr, die über die Eigenschaften der Szenerie und der beteiligten Verkehrsteilnehmer variiert werden können. Über die Vorkenntnisse aus den Projekten Villa Ladenburg und Stadtpilot und den daraus abgeleiteten Szenarien wird eine erste Auswahl getroffen, die im Rahmen des Projekts Wertebasierte Fahrentscheidung erweitert und detailliert wird. Bereits beim Folgen eines Fahrstreifens und Berücksichtigen der weiteren Verkehrsteilnehmer auf einer einstreifigen Straße stehen die ethisch korrekte Wahl der Geschwindigkeit, des longitudinalen und des lateralen Abstands zu Hindernissen und weiteren Verkehrsteilnehmern zur Diskussion:

- Wie viel Risiko darf eingegangen werden?

⁴https://www.daimler-benz-stiftung.de/cms/images/dbs-bilder/foerderprojekte/villa-ladenburg/Villa_Ladenburg_Use_Cases.pdf

- Wie sind eine kurze Reisezeit gegen eine sichere Geschwindigkeit zu gewichten?
- Wie werden Unsicherheiten in den Entscheidungsalgorithmen berücksichtigt?



Abbildung 9.1: Wertebereiche, die bei Fahrentscheidungen berücksichtigt werden sollen

Abbildung 9.1 zeigt sechs Wertebereiche, die bei Fahrentscheidungen berücksichtigt werden sollen. Für diese sind Metriken zu identifizieren, die eine Nutzung dieser Werte in Software ermöglichen.

Nimmt man weitere Fahrmanöver hinzu, wie zum Beispiel Fahrstreifenwechsel, Abbiegemanöver und das Durchfahren von Kreisverkehren, ergeben sich weitere Szenarien, die im Rahmen des Projekts ebenfalls untersucht werden sollen.

Weiteres Vorgehen

Der Schwerpunkt im ersten Jahr ist die Identifikation von Werten, die bei Fahrentscheidungen berücksichtigt werden müssen. Diese Werte haben unterschiedliche Gewichte, die es zu ermitteln gilt. Hierfür sind unter anderem Metriken erforderlich, die in einem technischen System berechnet und genutzt werden können. Des Weiteren sind die Fertigstellung der Simulationsumgebung inklusive ausgewählter Szenarien und die Verfeinerung des Anwendungsfalls und der Szenarien geplant. Außerdem wird die Literaturrecherche fortgesetzt, sodass eine Auswahl von Verfahren zur Implementierung der Gewichtung und Berücksichtigung von Werten zur Verfügung steht. Eines der identifizierten Verfahren wird prototypisch implementiert, sodass zum Ende des ersten Jahres eine Demonstration ethischer Fahrentscheidungen in der Simulation möglich ist. Im folgenden Jahr werden die Ergebnisse verfeinert sowie ein zweites Verfahren implementiert, um eine Evaluation zu ermöglichen. Schwerpunkt wird auch die Diskussion der Projektergebnisse mit externen Experten sein. Wir möchten uns bei der Daimler und Benz Stiftung und bei unseren Projektpartnern herzlich für die Unterstützung bedanken.

10 Großgeräte Vehicle-in-the-Loop und Referenzsensorik

von Gerrit Bagschik

Nach der Fertigstellung der Hardwareintegration in den Versuchsträgern wurden in diesem Berichtszeitraum die Softwareprojekte Referenzsensorik und Vehicle-in-the-loop weiter bearbeitet. Die Software für die Referenzierung von Sensordaten wurde im Mai 2016 abgeschlossen und dem Institut übergeben. Das Softwarepaket besteht derzeit aus mehreren ADTF¹-Modulen zur Aufnahme von Sensordaten und deren Export in ein eigens definiertes variables Datenformat. Für dieses Datenformat stehen nun eine Bibliothek zur Verwaltung mehrerer Datenströme sowie Funktionen zur Erstellung, Bearbeitung und Dekodierung von Sensordaten zur Verfügung. Als Werkzeug für den Endbenutzer ist eine graphische Oberfläche für Ansicht und Bearbeitung einzelner Datensätze erstellt worden, die in Abbildung 10.1 zu sehen ist.

Im realisierten Datenformat lassen sich Daten in jeglichem Aufbau speichern. Die Messdatenströme können variabel aufgebaut werden und lassen sich ohne Vorwissen über die Struktur vollständig dekodieren. Diese Eigenschaft ist nützlich, wenn Daten von älteren Projekten oder Softwareständen bearbeitet werden sollen, bei denen sich Schnittstellen im Lauf der Entwicklung geändert haben. Zur Referenzierung von Messdaten ist es weiterhin wichtig, auch relative Informationen

¹Automotive Data-and-Time-triggered Framework

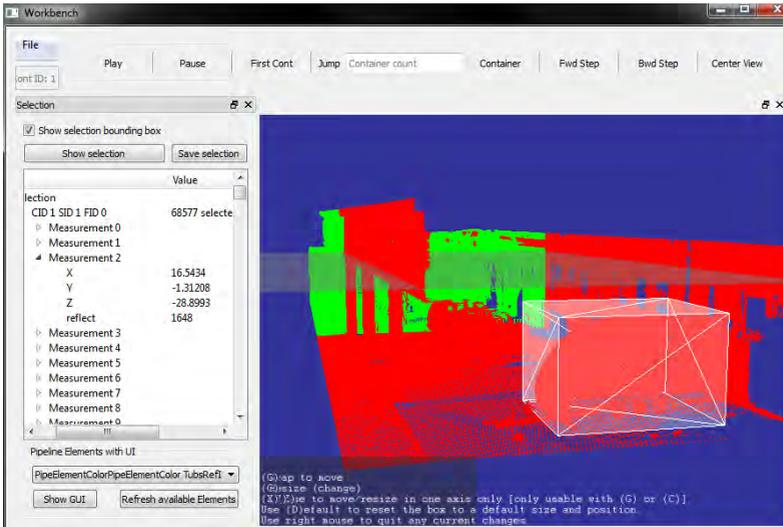


Abbildung 10.1: Graphische Oberfläche der Referenzsensorik-Software mit Szene vom Campus Nord

wie Latenzzeiten oder Koordinatensysteme zu speichern. Diese Informationen können in zusätzlichen Feldern deklariert werden, um so eine verlustfreie Speicherung der Daten zur weiteren Bearbeitung zu ermöglichen. Aufgrund der großen Variabilität ist das Format jedoch nicht bedingungslos echtzeitfähig, was den Einsatz zur Laufzeit in Fahrzeugen erschwert.

Im März 2016 wurde begonnen, das Vehicle-in-the-loop-System (VIL) in das vorbereitete Fahrzeug einzurüsten. Die Grundidee des VILs ist, einen Fahrer² in einem echten Fahrzeug simulativ Situationen durchfahren zu lassen. Dies wird durch eine Virtual-Reality-Brille, welche dem Fahrer aufgesetzt wird, ermöglicht. Durch dieses Vorgehen kann

²Mit dem Begriff Fahrer sind sowohl weibliche als auch männliche Personen gemeint.

man real-kinästhetisches Verhalten eines Fahrzeug mit simulierten Situationen, zum Beispiel Beinaheunfälle, mit Probanden erproben. Für das System des Instituts für Regelungstechnik wurden zwei Virtual-Reality-Brillen ausgewählt. Die nVisor ST 50 (Abbildung 10.2) ist ein High-End-Gerät im Bereich der Virtual-Reality-Brillen. Diese Brille ermöglicht sowohl einen vollvirtuellen Modus, in dem der Fahrer nur die simulierte Welt wahrnimmt, als auch einen see-through Modus, in dem nur virtuelle Objekte eingeblendet werden.



Abbildung 10.2: nVisor ST 50

Das Oculus Rift Development Kit 2 (DK-2) (Abbildung 10.3) ist eine Vorversion der im Markt erhältlichen Virtual-Reality-Brille aus dem Consumer-Bereich. Diese Brille ermöglicht nur einen vollvirtuellen Modus, ist aber aufgrund der großen Produktionsrate für den Consumer-Markt deutlich günstiger.

In Zukunft sollen unter anderem Verfahren und Methoden untersucht werden, wie mit der kostengünstigen Variante qualitativ ähnliche Ergebnisse erzielt werden können. Die eigentliche VIL-Software besteht aus Virtual Test Drive als Simulationsumgebung und proprietärer Software der Firma Carmeq GmbH, die die Verarbeitung der Kopfbewegung und die Ortung in Simulation und realer Welt realisiert.



Abbildung 10.3: Oculus Rift Development Kit 2

Derzeit wird für beide Fahrzeuge das Sicherheitskonzept in Zusammenarbeit mit dem TÜV abgestimmt. Die Konzepte aus vorherigen Versuchsträgern können nicht einfach übernommen werden, da seit 2009, als Leonie aufgebaut wurde, viele technologische Neuerungen in die Fahrzeuge gekommen sind. Das Konzept von Leonie wird entsprechend an die neue Generation angepasst.

11 Kooperation mit der Audi AG – Umfeldrepräsentation und Verhaltensplanung für automatisierte Fahrfunktionen

von Frank Dierkes

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

Ein Schwerpunkt des vergangenen Jahres war die Konsolidierung der funktionalen Systemarchitektur für den Prozess der Verhaltensplanung. In den vergangenen Jahren wurden von Audi verschiedene Prototypen automatisierter Fahrfunktionen entwickelt, beispielsweise eine Notfunktion zum automatisierten Ausweichen und Bremsen (vorgestellt im Forschungsprojekt UR:BAN), Funktionen für automatisiertes Fahren auf der Autobahn, sowohl nur im Stau als auch dauerhaft, oder auch eine Funktion für fahrerloses Fahren und Parken in speziell ausgestatteten Parkhäusern. Die funktionalen Architekturen der entwickelten Systeme ähneln sich zwar in ihrem grundlegenden Aufbau, unterscheiden sich jedoch mehr oder weniger stark in den Details: bei der Abgrenzung der Aufgaben der funktionalen Blöcke, dementsprechend bei den jeweiligen Schnittstellen, beim Ablauf der Entscheidungsfindung, etc.

Wünschenswert ist eine funktionsübergreifend einheitliche funktionale Systemarchitektur. So soll ermöglicht werden, dass verschiedene Funktionen viele Komponenten teilen und für die Umsetzung bestimmter Funktionen nur einzelne Komponenten ausgetauscht oder angepasst werden müssen. Das Wiederverwenden von Komponenten senkt den Entwicklungs- und Wartungsaufwand und erlaubt es, schneller neue Funktionen zu realisieren. Einerseits kann so der Vorentwicklungsprozess von automatisierten Fahrfunktionen selbst effizienter gestaltet werden. Es ist zudem aber auch zu erwarten, dass in zukünftigen Fahrzeuggenerationen Funktionshübe primär durch Aktualisierung oder Erweiterung der Software auf dem Fahrzeug stattfinden. Eine einheitliche funktionale Systemarchitektur bietet hier das Potential, Fahrzeuge schneller mit neuen Funktionen auszustatten.

Der erste Schritt bei der Konsolidierung der funktionalen Systemarchitektur war daher, aus den Erfahrungen der in den vergangenen Jahren umgesetzten Funktionen und im Hinblick auf zukünftig geplante Funktionen ein architektonisches Grundgerüst abzuleiten, in dem sich all diese Funktionen abbilden lassen, sowohl als separat agierende Kundenfunktionen als auch als Teilfunktionen integriert in übergeordnete Kundenfunktionen. Dafür war es notwendig, den Prozess der Verhaltensplanung so zu dekomponieren, dass die Beschreibung von internen und externen Schnittstellen sowie die Aufgabenbeschreibung der identifizierten funktionalen Blöcke für alle zu berücksichtigenden Funktionen anwendbar und praktikabel sind.

Neben der Erarbeitung der architektonischen Grundstruktur lag der Fokus im vergangenen Jahr auch auf der Abstimmung der Eingangs- und Ausgangsschnittstellen der Verhaltensplanung, unter anderem der Schnittstelle zwischen Umfeldwahrnehmung und Verhaltensplanung, und somit auf der Einbettung der Verhaltensplanung im Gesamtsystem.

In den geführten Diskussionen haben sich die im Projekt Stadtpilot vom Institut für Regelungstechnik erarbeiteten Definitionen und Konzepte zur funktionalen Systemarchitektur als eine sehr hilfreiche Grundlage erwiesen.

Ein weiterer Arbeitspunkt im vergangenen Jahr war die Überarbeitung der entwickelten Multi-Hypothesen-Straßenrepräsentation, mit der Unsicherheiten über den Verlauf und das Verständnis von Fahrbahn und Fahrstreifen im System repräsentiert werden können. Ziel war es, das Vergleichen verschiedener Hypothesen über die Straße und damit auch das Ableiten beispielsweise eines Fahrkorridors, der möglichst sicher nicht die Grenzen eines Fahrstreifens verletzt, effizienter zu gestalten. Dazu wurde die Repräsentation um einen Graph erweitert, der die räumlichen Beziehungen aller Elemente aller Hypothesen modelliert. Fragen, wie die nach solch einem Fahrkorridor, lassen sich so als Suchproblem in diesem Graphen formulieren.

Ziel für das kommende Jahr ist es zu untersuchen, wie sich die Berücksichtigung von Unsicherheit über die Straße auf die interne Entscheidungsfindung des autonomen Systems und gegebenenfalls auf das Verhalten des Fahrzeugs auswirkt. Dazu wurden im vergangenen Jahr bereits vorbereitende Arbeiten durchgeführt, beispielsweise der Aufbau einer Werkzeugkette zum Bewerten des Fahrzeugverhaltens durch Vergleich mit einem Referenzverhalten.

12 Kooperation mit der Volkswagen AG - Umfeldwahrnehmung und Szenenmodellierung für automatisierte Fahrzeuge

von Susanne Ernst

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

Anfang diesen Jahres startete das von der Europäischen Union geförderte Projekt „UP-Drive“, welches bis Ende des Jahres 2019 läuft. Das Projekt zielt auf eine ganzheitliche Betrachtung des zukünftigen Beförderungssystems und legt dabei den Fokus auf das automatisierte Fahren in urbanem und suburbanem Raum. Dabei sollen die Herausforderungen bewältigt werden, die sich speziell aus städtischen Situationen ergeben. So resultieren beispielsweise aus Kreuzungsbereichen komplexe Szenarien, die unter anderem die Umfeldwahrnehmung, die Lokalisierung und die Szenenmodellierung vor herausfordernde Aufgaben stellt. Daher soll innerhalb der Umfeldwahrnehmung an Algorithmen gearbeitet werden, die die Datenfusion aus unterschiedlichen Sensoren zu einer 360° Umfeldrepräsentation, die Assoziierung und die Verfolgung dynamischer Objekte voranbringt. Im Bereich der Szenenmodellierung sollen die aus der Umfeldwahrnehmung resultierenden stabilen und

klassifizierten Objekte interpretiert und prädiziert werden. Dabei müssen in der Stadt neben Fahrzeugen auch Fußgänger und Fahrradfahrer erkannt und auch bei temporärer Verdeckung (durch Bebauung oder andere Verkehrsteilnehmer) verfolgt werden. Um eine sichere und kollisionsfreie Planung der eigenen Trajektorie zu ermöglichen, müssen die zukünftigen Trajektorien der umliegenden Verkehrsteilnehmer vorausgesagt werden. Dafür müssen spezielle Verhaltenscharakteristika der Verkehrsteilnehmergruppen angenommen und auf Basis dieser zukünftige Aufenthaltsorte errechnet werden.

Mit dem Bewusstsein um die Herausforderungen, die das automatisierte Fahren in der Stadt bewältigen muss, und mit der Erforschung von entsprechenden Lösungsansätzen sollen die Sicherheit und die Rentabilität der Mobilität erhöht werden. Das Institut für Regelungstechnik ist hierbei vor allem an der Forschung innerhalb der Umfeldwahrnehmung und der Szenenmodellierung beteiligt.

13 Radarbasierte Objektverfolgung im urbanen Kontext

von Jan Timo Wandler

Im Bereich der Radarbasierten Objektverfolgung wurden im vergangenen Jahr Metriken zum Vergleich unterschiedlicher Algorithmen zur Objektverfolgung, eine Referenzgenerierung aus den Radardaten und die Analyse von Radarmessungen mittels Referenz betrachtet. Im Rahmen dieses Artikels wird näher auf die Metriken zum Vergleich von Objektverfolgungsalgorithmen eingegangen.

Bisher lag der Fokus im Projekt auf der Generierung eines inversen Sensormodells, der Interpretation der Messung und der Generierung von Objekthypothesen. Dabei wurden Effekte der Messung und der Objekte untersucht und auf diese Weise ein Modell gebildet, das hinsichtlich verschiedener Aspekte, wie zum Beispiel der Reduzierung von Objektabrissen, entwickelt wurde. Mit der Weiterentwicklung der Verarbeitung kam die Frage auf, wie gut die Verarbeitung tatsächlich ist und wie unterschiedliche Ansätze verglichen werden können. Ausgehend von dieser Frage wurden Metriken gesucht, die für eine Objektverfolgung aussagekräftig sind. Dabei wurden zwei Ansätze verfolgt. Während der erste Ansatz sich mit der generellen Detektion und Verfolgung von Objekten befasst, wird im zweiten Vorgehen der geschätzte Objektzustand betrachtet. Für beide Verfahren wird eine Referenz benötigt. Im ersten Fall muss die Anwesenheit eines Objekts und eine grobe Angabe des Objektzustands zur Referenzierung bekannt sein. Die Position muss

zum Beispiel auf einen Meter genau sein, um die Objekte von einander trennen zu können. Verglichen wird die erwartete und die tatsächliche Detektion eines Objekts. Zunächst wird eine Assoziation zwischen Referenzobjekten und detektierten Objekten durchgeführt. Es kann zu folgenden Ereignissen kommen:

Einem Referenzobjekt ist genau ein detektiertes Objekt zugeordnet (True Positive), einem Referenzobjekt kann kein detektiertes Objekt zugeordnet werden (False Negative), für ein detektiertes Objekt ist kein Referenzobjekt vorhanden (False Positive), einem Referenzobjekt werden mehrere detektierte Objekte zugeordnet (Multiple Object) oder mehreren Referenzobjekten wird ein detektiertes Objekt zugeordnet (Multiple Assoziation). In einem weiteren Verarbeitungsschritt werden diese Assoziationen weiter untersucht, indem zum Beispiel die Zeit, in der eine Detektion vorhanden ist, der erwarteten Dauer gegenüber gestellt wird. Ferner kann auch noch der ID-Sprung, also der Wechsel einer Objekthypothese in diese Metrik integriert werden.

Die zweite Methode vergleicht direkt den geschätzten Objektzustand (Position, Orientierung, Geschwindigkeit usw.) mit dem Referenzzustand und setzt daher eine genauere Referenz voraus. Die Position muss um den Faktor 10 genauer sein, daher ist eine Genauigkeit von wenigen Zentimetern erforderlich. Es wird die Differenz des geschätzten Zustandsvektors und des Referenzobjekts bestimmt und über den zeitlichen Verlauf akkumuliert. Eine weit verbreitete Formel für dieses Vorgehen ist der Root Mean Square Error (RMSE). Bei dieser Betrachtung werden die unterschiedlichen geschätzten Größen, wie zum Beispiel die Position und die Ausrichtung, meist gemeinsam betrachtet. Die ist allerdings nur möglich, wenn die Größen zuvor normiert werden. Ein Ansatz, diese Normierung der Werte durchzuführen, wurde von einem Vorgehen aus der Bildverarbeitung abgeleitet, bei dem Objekte als Boxen in den Bildern repräsentiert werden und die Abweichung

von der Referenzbox als Metrik herangezogen wurde. Analog zu diesem Ansatz wird ein Objekt entsprechend des Objektzustands als Fläche über Grund interpretiert und mit der Fläche der Referenz verglichen. Es wird überprüft, ob eine Überlappung der Flächen gegeben ist. Ist dies der Fall, wird die prozentuale Abweichung der beiden Flächen als Grundlage für die Bewertung herangezogen. Sofern keine Überlappung gegeben ist, wird das Verhältnis des minimalen Abstands der beiden Flächen zum Abstand der Schwerpunkte betrachtet. Eine Metrik ergibt sich durch die Verknüpfung der beiden Möglichkeiten.

Da bei diesem Verfahren bisher die Pose der Objekte betrachtet wird, ist eine Erweiterung um die weiteren geschätzten Zustandsgrößen, wie zum Beispiel die Geschwindigkeit, erforderlich. Im weiteren Vorgehen wird in Betracht gezogen, die Geschwindigkeit als Prädiktion des Zustands zu interpretieren, also eine Prädiktion der Fläche über Grund.

14 Trajektorienverfolgung mittels Lenkbremsen

von Horea Cernat und Fabian Brickwedde

Zusammen mit WABCO wurden Untersuchungen durchgeführt, wie sich der Lenkwinkel eines Fahrzeuges durch einseitiges Bremsen eines Rades einer gelenkten Achse verändern lässt. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse wurden verwendet, um mit einem Versuchsfahrzeug des Typs Daimler Atego (Abbildung 14.1) einer Sollbahn zu folgen. Der Lenkwinkel des Fahrzeuges wurde einzig durch Bremseingriffe geregelt. Lenkbremsen ist als Rückfallebene bei einem Ausfall der Lenkung denkbar, um ein Fahrzeug gezielt bis zum Stillstand abzubremsen und dabei etwaigen Hindernissen auszuweichen.



Abbildung 14.1: Atego Versuchsfahrzeug

Bei der Planung der Sollbahn sind Splines fünfter Ordnung zum Einsatz gekommen, ein Ansatz, der auf einer Veröffentlichung der Universität Parma basiert ¹. Für die Querregelung des Fahrzeugs wurde das Prinzip der virtuellen Deichsel verwendet. Dabei wird das Fahrzeug als ein Gelenkdeichselanhänger betrachtet, der entlang der Sollbahn gezogen wird. Dadurch ergibt sich ein kontinuierlicher Lenkwinkel, da die Räder stets in Richtung der Aufhängung der virtuellen Deichsel zeigen. Dieser Lenkwinkel dient als Solllenkwinkel für einen konventionellen PD-Regler.

Basierend auf den vorhin vorgestellten Ansätzen wurde ein Fahrstreifenwechsel mittels Lenkbremsen erfolgreich durchgeführt. Abbildung 14.2 stellt das Fahrzeug aus der Vogelperspektive entlang der geplanten Bahn dar. Die Dynamik der Querführung ist durch die Bremsengriffe eingeschränkt. Trotz dieser Tatsache ist der Ansatz dafür geeignet, ein Fahrzeug zum Beispiel auf den Standstreifen zu führen und anzuhalten.

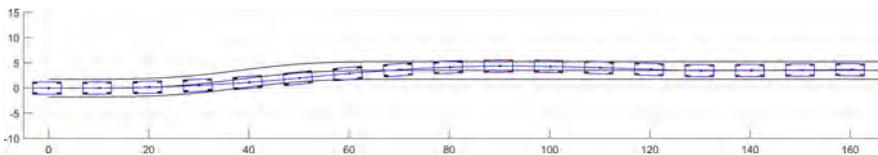


Abbildung 14.2: Trajektorie Fahrstreifenwechsel

¹A. Piazzzi, C. Guarino Lo Bianco - Quintic G^2 -Splines for trajectory planning of autonomous vehicles, Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2000, Dearborn, USA

15 Neue autoMobilität der aca-tech

von Andreas Reschka

Nach der Vorstellung der Kurzfassung der Studie auf der IAA 2015 startete die zweite Projektphase zur Detaillierung der skizzierten Use-Cases. Für die zweite Phase wurde das Konsortium noch um einige Interessenten aus Forschung und Wirtschaft erweitert, um identifizierte Wirkungsfelder nachhaltig zu besetzen. Die erweiterte Fassung der Studie befasst sich mit den Themenfeldern

- Mensch,
- Normen und Standards,
- Rahmenbedingungen,
- Sicherheit,
- Vernetztes Mobilitätssystem und
- Fahrzeug.

In jedem Themenfeld sind nach Anwendungsfällen gegliederte Roadmaps und Handlungsempfehlungen gegeben, die für die Umsetzung automatisierter und vernetzter Fahrzeuge notwendig sind. Das Institut für Regelungstechnik hat in den Themenfeldern Sicherheit und Fahrzeug Ansichten und Erfahrungen aus den Forschungsschwerpunkten einfließen lassen und viele Anstöße und Sichtweisen aus den zahlrei-

chen Projektgruppensitzungen mitgenommen. Weitere Informationen können der Projekthomepage¹ entnommen werden.

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

16 Controlling Change (CCC)

Concurrent

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“¹ 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,

¹<http://www.ccc-project.org>

vollelektrische Versuchsträger MOBILE. Dieser ermöglicht, im Gegensatz zu einem modifizierten Serienfahrzeug, den uneingeschränkten Zugriff auf sämtliche systemrelevanten Hard- und Softwarekomponenten.

Nach Antragstellung und Begutachtung des Projektes bei der DFG im Oktober 2015 konnte die Forschergruppe erfolgreich für weitere drei Jahre verlängert werden. Neben der Entwicklung von Applikationen für die Demonstration der im Projekt entwickelten Mechanismen im Fahrzeug liegt ein Schwerpunkt für das IfR in der zweiten Projektphase auf der Entwicklung von grundlegenden Methoden zur Erfassung der Leistungsfähigkeit eines automatisierten Fahrzeugs. Zusammen mit der flexiblen Architektur der CCC Middleware sollen so erste Ansätze geschaffen werden, die die Realisierung von fail-operational Systemen für hoch- und vollautomatisiertes Fahren ermöglichen. Zu diesem Zweck

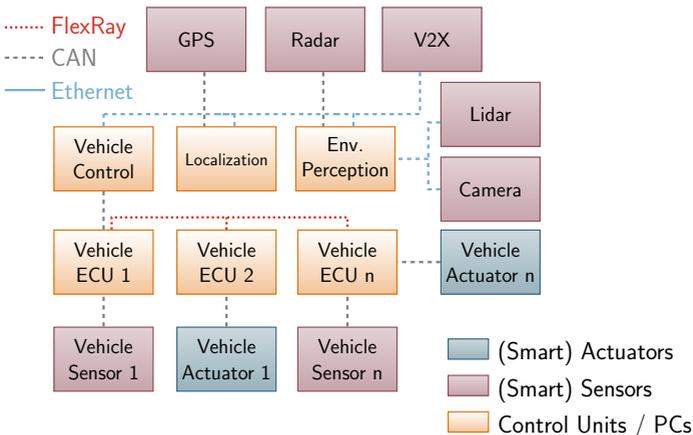


Abbildung 16.1: Vernetzung MOBILE mit Umfoldsensorik

werden die Applikationen aus der ersten Projektphase weiterentwickelt und um Umfoldsensorik ergänzt (siehe Abbildung 16.1) So wurde der

Versuchsträger mit ersten Umfeldsensoren (LiDAR, $2 \times$ Velodyne PUCK, Velodyne HDL-32E) ausgestattet. Ziel ist hier zunächst die Inbetriebnahme des Stadtpilot-Frameworks für das überaktuierte Versuchsfahrzeug. Anschließend werden ausgewählte Module in die CCC Middleware portiert und durch Algorithmen zur Selbstrepräsentation ergänzt.

17 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. Das Dynamic Design Lab an der Stanford University (Prof. J. Christian 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.

Im vergangenen Jahresbericht konnte an dieser Stelle von einer notwendigen und umfangreichen Überarbeitung des Hochvolt-Systems berichtet werden, bedingt durch die beiden in MOBILE verbauten Batteriepakete mit einem jeweiligen Spannungsniveau von bis zu $U_{DC,max} = 360V$. Die vorherige Systemumsetzung genügte den einschlägigen Anforderungen zur Hochvolt-Sicherheit nicht. Somit war der aktuelle Berichtszeitraum von intensiven Entwicklungs- und Implementierungsarbeiten geprägt. Nach vorläufigem Abschluss der Hochvolt-Sicherheitsmaßnahmen konnte MOBILE im Juli im Rahmen des Oberseminars Elektronische Fahrzeugsysteme erfolgreich auf seiner zweiten Jungfernfahrt präsentiert werden.

Im Rahmen der Arbeiten wurde der Aufbau des Hochvolt-Systems, mit dem Ziel ein sicheres Abschalten des Hochvolt-Systems zu gewährleisten, grundlegend überarbeitet. Am Anfang der Arbeiten stand die vollständige Demontage des Batteriepaketes, die noch im vorherigen Berichtszeitraum vorgenommen wurde, siehe Abbildung 17.1.

Bezüglich der Hochvolt-Sicherheit im Folgenden eine sicherlich nicht vollständige Liste der umgesetzten Maßnahmen:

- Ausführliche Gefährdungsanalyse und Identifikation der notwendigen Maßnahmen.
- Grundlegender Neuaufbau der Aufnahmen für die Batterien des Hochvolt-Systems: Mit dieser Maßnahme wurde eine wesentlich bessere Ergonomie beim Austausch einzelner Batterien aus dem Batteriepaket erreicht.
- Ersatz der Polverbinder: Durch den neuen mechanischen Aufbau mussten sämtliche Polverbinder neu aufgebaut werden. Hierbei konnten auf Grund der geplanten Balancing-Implementierungen substantielle Verbesserungen im Design des Kabelbaums erreicht



Abbildung 17.1: Zwischenboden von MOBILE ohne Batteriepaket

werden, wodurch die Arbeiten am Batteriepaket unter Spannung vereinfacht und damit sicherer wurden.

- Integration von zwei Hochvolt-Disconnect-Steckern zur Auftrennung der beiden Batterien während Arbeiten am Hochvolt-System.
- Überprüfung sämtlicher hochvoltführender Kabel hinsichtlich ihrer Eignung für HV-Systeme sowie ggf. Ersatz. In dem Zuge wurden sämtliche Balancing-Kabel mit Sicherungen gegen Kurzschluss abgesichert.
- Grundlegende Neugestaltung der Hochvolt-Zuschaltung: Über je ein Schütz am Plus- und Minuspol der Batterie wird die Batterie vollständig von den nachgelagerten HV-Komponenten getrennt.
- Integration einer kontinuierlichen Überwachung des Isolationswiderstands: Wird ein zu niedriger Isolationswiderstand gegen-

über dem Chassis gemessen, so erfolgt erst eine Warnung und anschließend die Anzeige eines Fehlers im HMI. Gleichzeitig werden im Stillstand die Hochvolt-Schütze geöffnet und ein Wiedereinschalten verhindert. Während der Fahrt erfolgt lediglich die Anzeige im Display, damit das Fahrzeug sicher angehalten werden kann.

- Indikation der aktiven Hochvolt-Schienen über Blinklichter auf dem Dach von MOBILE.
- Überarbeitung der Ladegeräte-Anbindung: Mussten die Ladegeräte im vorherigen Aufbau über ein zusätzliches Schütz von den Batterien getrennt werden, erfolgt die Verbindung vom Ladegerät zur Batterie direkt über die beiden Schütze der Hochvolt-Zuschaltung. Diese Maßnahme stellt eine Vereinfachung für die Steuerung des Ladevorgangs dar.
- Wegfahrsperrung für den Ladebetrieb: Sind die Antriebe über einen Schalter im Armaturenbrett deaktiviert oder steckt das Ladekabel, so werden die Antriebe redundant deaktiviert. Neben einer direkten Deaktivierung über eine Hardware-Leitung erfolgt zudem eine Deaktivierung über das FlexRay- und CAN-Netzwerk von MOBILE.
- Überarbeitung des Notauskonzepts: Die Betätigung des Notaus Schalters trennt jetzt die Batterie vollständig von den Verbrauchern ab. Des Weiteren wurde ein Funknotaus implementiert. Diese Maßnahme zielt auf einen möglichen Betrieb ohne Insassen ab. Über einen Funknotaus wird wie beim Notastaster ein Auftrennen der Hochvolt-Anbindung erreicht. Darüber hinaus können über ein zusätzlich generiertes Signal dedizierte Funk-

tionen über das Fahrzeugnetzwerk ausgelöst werden, z. B. eine Vollbremsung.

- Integration einer Fremdspeisung: Die 48 V- und 12 V-Schienen von MOBILE können im Stand ohne Zuschaltung der Hochvolt-Batterien extern gespeist werden, so dass Arbeiten z. B. an den im Fahrzeug verbauten Rechnern auch ohne aktive Hochvolt-Verbindung durchgeführt werden können.
- Implementierung einer Pilotlinie: Mit der Pilotlinie wird sichergestellt, dass sicherheitsrelevante Stecker gesteckt sind, bevor die Hochvolt-Schiene aktiviert wird. Dies trifft zum einen auf den Anschluss der Fremdspeisung zu. Solange die Fremdspeisung angeschlossen ist, ist die Pilotlinie unterbrochen. Erst wenn der Anschluss mit einem Blindstecker ersetzt wird, ist die Pilotlinie geschlossen. Zum anderen gilt dies auch für die beiden Hochvolt-Disconnect-Stecker. Auf diese Weise wird der korrekte Sitz der Hochvolt-Disconnect-Stecker sichergestellt.
- Umfangreiche Beschaffung von hochvoltgeeignetem Werkzeug und Messtechnik sowie von Absperrmaterial und Hinweisschildern.
- Definition von Prozessen für die Arbeiten am Hochvolt-System inklusive Formblättern für die Dokumentation der Arbeiten, siehe auch Abbildung 17.2.
- Bereitstellung von Mitteln zur Gefahrenabwehr wie Feuerlöscher, isoliertem Rettungshaken und Zugang zu einem Defibrillator.

Nach Abschluss der Maßnahmen zur Hochvolt-Sicherheit zielt der derzeitige Versuchsbetrieb darauf ab, die Robustheit von MOBILE im Versuchsbetrieb weiter zu erhöhen. Dazu zählen u. a. die Integration von Batterie-Sensorik, Lademanagement und Batterie-Balancing, um qua-

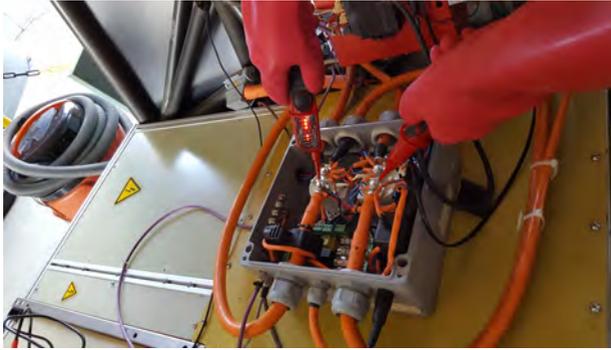


Abbildung 17.2: Prozessgemäße Messung an der neu aufgebauten Hochvolt-Zuschaltung von MOBILE

lifizierte Aussagen über den Zustand der Batterie machen zu können und die Batterie möglichst lange nutzen zu können. Des Weiteren wird aufbauend auf der Chassis-Sensorik zur Messung von Raddrehzahlen, Achsniveaus, Gierraten sowie Längs- und Querschleunigungen ein detailliertes Fahrdynamikmodell für die Simulation des Fahrverhaltens im Rechner erstellt.

Parallel zu den Arbeiten am Chassis wird MOBILE mit Umfeldsensorik ausgerüstet, um Fahrfunktionen mit Umfeldwahrnehmung realisieren zu können, auch mit dem Ziel einer stärkeren Verknüpfung der institutsinternen Projekte Stadtpilot (siehe Abschnitt 5) und MOBILE. Die geplanten Untersuchungen mit MOBILE zielen insbesondere auf die Algorithmik zur Auswertung von Umfeldsensorik und das Verhalten im fahrdynamischen Grenzbereich ab.

18 MAX

von Marcus Nolte

Bei MAX (Modular Adaptive X-By-Wire) handelt es sich um einen 1:5 Modellversuchsträger, der von Studierenden am Institut für Regelungstechnik aufgebaut wurde. MAX verfügt über eine ähnliche Hardwarearchitektur und eine ähnliche Netzwerktopologie (CAN, FlexRay) wie das Versuchsfahrzeug MOBILE (17). 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 Abschlussarbeiten und HiWi-Jobs an Fahrdynamikregelsystemen zu arbeiten und diese gefahrlos, im Vergleich zum Realtest mit dem zwei Tonnen schweren Realfahrzeug, zu testen.

Nachdem das Fahrzeug im letzten Berichtszeitraum auf eine mit MOBILE vergleichbare Antriebstopologie umgerüstet wurde, stand MAX im vergangenen Berichtszeitraum wieder als Versuchsplattform zur Verfügung. Im Rahmen zweier Abschlussarbeiten wurden Model Predictive Control (MPC) basierte Bahnplanungsalgorithmen für das überaktuierte Fahrzeug implementiert und zu Teilen getestet. In diesem Zusammenhang wurde die gesamte Fahrzeugsoftware einem Review unterzogen und überarbeitet, um deren Übersichtlichkeit zu erhöhen und damit die Einarbeitungszeit für neue Studierende zu verringern.

Für die nahe Zukunft ist, analog zu MOBILE, zudem die Ausrüstung des Fahrzeugs mit Umfeldsensorik (Kamera, Laserscanner) geplant. In diesem Zusammenhang stehen ein Um- bzw. Neuaufbau des Fahrzeugchassis bevor.

19 Dissertation Jae Bum Choi: Environmental Perception for Au- tomated Vehicles: Localization, Mapping and Tracking

von: Jae Bum Choi

The vehicle automation technology significantly reduces crashes, fuel consumption, and pollution. In addition, this technology increases travel convenience and comfort. In this context, some major manufacturers have been realizing this technology at different levels of automation, and they announced that vehicles equipped with automated driving features will enter the market around the year 2020. However, this evolution also imposes high performance and safety requirements on the vehicle. The vehicle must be robust, redundant, and resistant to failures because a failure could be very dangerous to vehicle occupants and other road users. In order to meet these requirements, the vehicle has to perceive its environment reliably and decide where is safe and desirable to move, and finally appropriate control strategies have to be realized according to these decisions. Of these tasks, the reliable environmental perception is probably first and one of the most important parts toward highly and fully automated vehicles.

The presented work addressed two technical problems of the environmental perception for automated vehicles: simultaneous localization

and mapping (SLAM), and movable object detection and tracking (DAT-MO). We investigated the state of the art approaches to solve these problems and derived our novel solutions. The perception sensor used in this work is a Velodyne 3D HDL-64E S2 laser scanner. Several sensor data preprocessing algorithms were firstly developed to provide proper input data for the SLAM and movable object tracking (MOT) algorithms. In addition, the proposed SLAM (volumetric hybrid map-based SLAM) and MOT (geometric model-based tracking with multiple motion models) frameworks offer a reliable solution to localize the vehicle itself and to represent the stationary and movable elements of the environment. Abbildung 19.1 shows an overview of the proposed method.

All algorithms in this work were implemented and evaluated both in the simulated and real outdoor environments with appropriate evaluation criteria. The evaluation results showed that our SLAM algorithm yields very accurate localization estimates compared to other traditional approaches, and that our MOT algorithm works very reliably to the geometric characteristics and highly dynamic motions of the target.

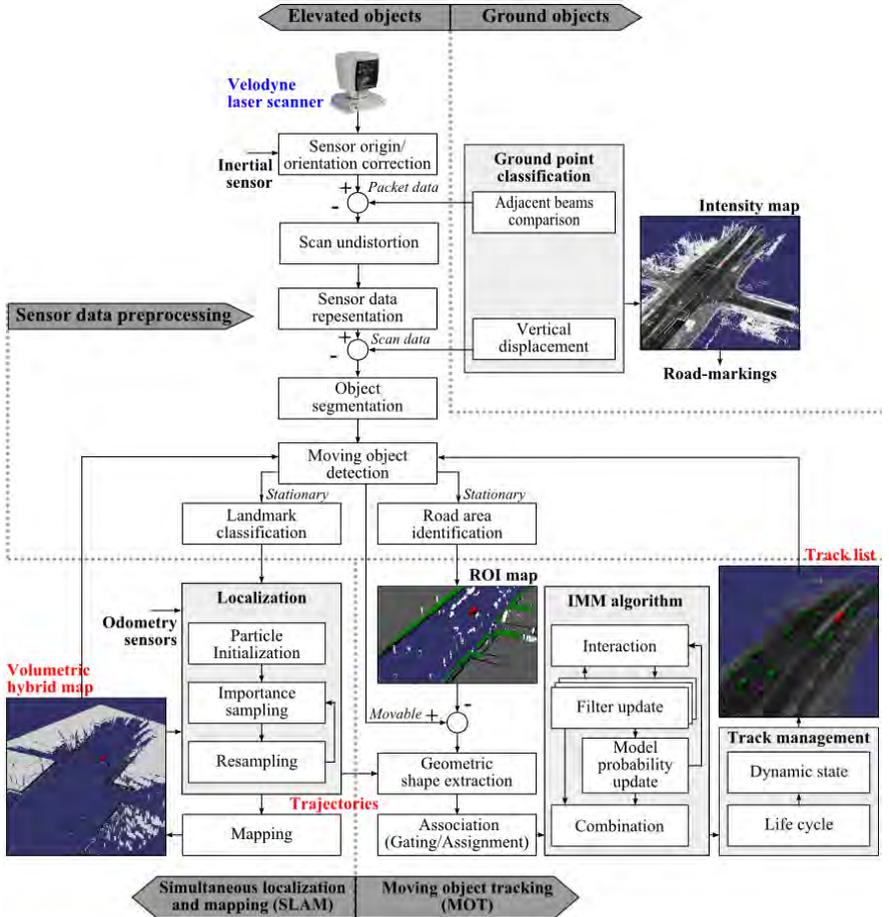


Abbildung 19.1: Overview of the proposed method

Teil III

**Publikationen und
Medienberichte**

20 Die Arbeitsgruppe in den Medien

Unser Institut konnte auch im akademischen Jahr 2015/2016 wiederum ein großes Medienecho erzielen. Im Folgenden findet sich eine Auswahl von Beiträgen und Artikeln in diversen Print- und Onlinemedien.

20.1 Radio und Fernsehen

Medium	Datum	Artikel
RTL2	18.10.2015	Echtzeit: Top 10 Zukunftsvisionen aus dem Internet - Leonie
WDR 5	10/2015	„Zeitzeichen“ Automatisches Fahrzeug im Verkehr
WDR	10.12.2015	Planet Wissen „Das Auto der Zukunft“
Radio Okerwelle	27.01.2016	Campus On Air: „Leonie - Das fahrende Auto“
NDR 1, Nordwestradio, Radio Bremen	13.06.2016	Niedersachsen testet Autonomes Fahren
Sat.1 Regionalfernsehen für Niedersachsen und Bremen	13.06.2016	Selbstfahrende Autos auf Niedersachsens Straßen werden schon bald getestet
NDR Info	01.07.2016	Tesla Unfalltod mit Autopilot

Medium	Datum	Artikel
Sat1 Regional	29.09.2016	ADAC Verkehrsforum in Neumünster - Autonomes fahren weiter auf dem Vormarsch

20.2 Printmedien

Medium	Datum	Artikel
Wolfsburger Nachrichten	17.11.2015	... dann fuhr das "Babyerstmal allein
Peiner Allgemeine Zeitung	04.02.2016	Carolo-Cup findet erstmals in der Stadthalle statt
Braunschweiger Zeitung	08.02.2016	Modellfahrzeuge flitzen um die Wette
Thüringer Allgemeine	09.02.2016	Dieses Modellauto fährt allein
Rhein-Neckar-Zeitung - Heidelberger Nachrichten	09.02.2016	NACHRICHTEN FÜR KINDER, Seite 14
Fränkische Nachrichten Tauberbischofsheim	09.02.2016	Mini-Autos machen sich selbstständig
Hessische Allgemeine Kassel Mitte	09.02.2016	Forscher-Rallye der fahrerlosen Autos von morgen
Cellesche Zeitung	09.02.2016	Studenten lassen Autos der Zukunft fahren
Kreiszeitung (Syke)	09.02.2016	Studenten tüfteln an autonom fahrenden Autos
Dithmarscher Landeszeitung	09.02.2016	Selbstständige Mini-Autos
Emder Zeitung	09.02.2016	Mini-Autos der Zukunft
Bremer Nachrichten Bremen	09.02.2016	Zukunftsautos fahren um die Wette
Braunschweiger Zeitung	09.02.2016	Heute geht's ums Ganze
Bild	09.02.2015	Studenten spielen mit Autos
Braunschweiger Zeitung	11.02.2016	Carolinchen fährt allen davon
Hildesheimer Allgemeine Zeitung	12.02.2016	Wenn Computer um die Wette fahren
Goslarsche Zeitung	17.02.2016	„Carolinchen“ fährt allen davon

20.3 Veröffentlichungen auf Internetseiten

Medium	Datum	Artikel
Auto-Medienportal.net	16.11.2015	Selbstfahrende Autos im VW Museum - Übergabe Versuchsträger Caroline an das VW-Automuseum im Wolfsburg
classic-car.tv	19.11.2015	Dokumentation einer Entwicklung - Übergabe Versuchsträger Caroline an das VW-Automuseum im Wolfsburg
Campus On Air	27.01.2016	Leonie - Das fahrende Auto
AZ online (Allgemeine Zeitung der Lüneburger Heide)	08.02.2016	Autonom fahrende Autos flitzen um die Wette
kreiszeitung-wesermarsch.de	08.02.2016	Studenten schicken autonom fahrende Autos ins Rennen
MORGENweb	08.02.2016	Mini-Autos machen sich selbstständig
Neue Presse.de	08.02.2016	Autonom fahrende Autos flitzen um die Wette
Thüringer-Allgemeine.de	09.02.2016	Finale für das selbstfahrende Auto
Heise Newsticker	11.02.2016	Carolo-Cup 2016: Modellfahrzeuge zeigen autonomes Fahrkönnen
Meine-Region.de	07.04.2016	Leonie (fast) allein unterwegs
Einsteins 2016	19.07.2016	Auto der Zukunft



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

ISBN: 978-3-9814969-5-6