



Elektronische Fahrzeugsysteme 2018

Jahresbericht: Akademisches Jahr 2017/2018

Markus Maurer, Gerrit Bagschik (Hrsg.)

Titelbild

Projekt aFAS

Copyright:

Anwendungsfall

© 2018

Hessen Mobil

Impressum

Copyright:

© 2018

Technische Universität Braunschweig

Institut für Regelungstechnik

Prof. Dr.-Ing. Markus Maurer

Gerrit Bagschik (Hrsg.)

ISBN:

978-3-9814969-7-0

Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort	7
2	Die AG Elektronische Fahrzeugsysteme	11
2.1	Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter	11
2.2	Neue Kolleginnen und Kollegen	13
2.3	Abgänge	21
I	Lehre und Ereignisse	23
3	Lehre	25
3.1	Übersicht	25
3.2	Neues aus der Lehre	26
3.3	Studentische Arbeiten	40
3.4	Prüfungen am Institut	43
4	Ereignisse	45
4.1	Carolo-Cup 2018	45
4.2	IfR Kolloquium 2018	51
4.3	Workshop mit Dynamic Design Lab Stanford	53

II	Berichte aus der Forschung	55
5	Stadt ­ pilot	57
6	Automatisch fahrerlos fahrendes Absicherungsfahrzeug für Arbeitsstellen auf Autobahnen (aFAS)	63
7	Wertebasierte Verhaltensentscheidung	67
8	Kooperation mit der AUDI AG	71
9	Kooperation mit der Volkswagen AG	75
10	Kooperation mit WABCO	77
11	Digitaler Knoten 4.0	81
12	Elderly People Intersection Crossing Assist (EPICa)	85
13	UNICAR <i>agil</i>	89
14	Automatisiertes Fahren im Mischverkehr (AFiM)	95
15	Szenarienbasierter Test- und Freigabeprozess	99
16	Controlling Concurrent Change (CCC)	105
17	MOBILE	109
18	MAX	113

III	Publikationen und Medienberichte	115
19	Publikationen	117
19.1	Artikel in Fachzeitschriften, Konferenzbeiträge mit Review und Buchkapitel	117
20	Die Arbeitsgruppe in den Medien	121
20.1	Radio und Fernsehen	121
20.2	Printmedien	122
20.3	Veröffentlichungen auf Internetseiten	124

1 Vorwort

von Markus Maurer

„Autonomen Straßenfahrzeugen wohnt inhärent ein Risiko inne, das sich verringern, nicht aber eliminieren lässt. Wegen der Komplexität der Aufgabe und der technischen Systeme und der erwarteten großen Zahl weltweit autonomer Straßenfahrzeuge werden Meldungen von Unfällen und Opfern von ihrer Einführung an zum Alltag gehören. Die Arbeitsgruppe Elektronische Fahrzeugsysteme

- arbeitet die Ursachen für die Risiken im Betrieb autonomer Straßenfahrzeuge wissenschaftlich heraus,
- kommuniziert diese Risiken in der Fachwelt und der interessierten Öffentlichkeit,
- forscht aktiv an Methoden und Konzepten für die Reduzierung dieser Risiken,
- erprobt die Forschung im Experiment.

Die Risiken im autonomen Fahrzeug werden überwiegend verursacht durch funktionale Ursachen, seine maschinelle Wahrnehmung, seine maschinellen Verhaltensentscheidungen, systemische Ursachen, die (unvollständige und ungeeignete) Definition von Anforderungen und (unvollständiges) Testen.“

(Markus Maurer, 14.9.2018, Regelungstechnisches Kolloquium, TU Braunschweig).

Unter dem Motto „Das inhärente Risiko autonomer Straßenfahrzeuge“ haben wir gemeinsam im Team die zitierte zentrale Konzeption

unserer Arbeitsgruppe neu formuliert. Bei ersten Vorträgen auf dem Regelungstechnischen Kolloquium in Braunschweig im September 2018, als Berichterstatter bei der EU und im Gespräch mit Unternehmensvertretern hat sich diese Konzeption als Zusammenfassung unserer Arbeiten bereits bewährt. Mein Forschungssemester im Sommer 2018 hat durch meine zusätzlichen Freiräume die Formulierung dieser Konzeption gemeinsam mit dem Team maßgeblich beschleunigt.

Diese neue Formulierung löst frühere Versuche ab, die mit autonomen Straßenfahrzeugen verbundenen Risiken argumentativ auf den Punkt zu bringen. Wichtige Meilensteine auf dem Weg dorthin waren für mich die Präsentationen auf dem Verkehrsgerichtstag 2018 in Goslar, die für diesen Zweck entstandene veröffentlichte Langfassung und das Projekt aFAS mit der Abschlusspräsentation in Frankfurt im Juni 2018 (s. Abbildung auf der Titelseite). Wir sind uns bewusst, dass wir mit unserer aktuellen Konzeption nur einen Zwischenstand formulieren. Unsere neuen Projekte UNICAR*agil*, gefördert vom BMBF, und AFIM, gefördert vom BMVI, geben uns die Möglichkeit, unsere Forschung innerhalb der Konzeption zu intensivieren.

Der Blick zurück macht dankbar für die Unterstützung, die ich von vielen Seiten erfahren habe. Mein Forschungssemester war nur möglich, weil mich viele Kolleginnen und Kollegen in diesem Zeitraum massiv unterstützt haben. Ohne Gerrit Bagschik, der die Vorlesung Fahrzeugsystemtechnik übernommen hat, hätten wir den Lehrbetrieb nicht in erforderlichem Maße aufrechterhalten können. Gerrit Bagschik, Susanne Ernst und Marcus Nolte haben als Teamsprecher und Teamsprecherin unter den wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern noch mehr Verantwortung übernommen als üblich.

Veronika Krapf und Stefanie Scheffer haben in den zwei Monaten der Abwesenheit in unserer Institutsverwaltung so selbständig gearbeitet wie sonst auch. Kollege Walter Schumacher hat ein Jahr länger als im Turnus üblich als geschäftsführender Leiter des Instituts fungiert. Kollege Harald Michalik stand freundlicherweise den Studierenden des Studiengangs ELSY für Fragen zur Verfügung. Unsere Partner in Wissenschaft und Industrie haben alle Kooperationen im Vertrauen fortgesetzt, dass ich zurückkomme, zwischendurch gute Stellvertreterinnen und Stellvertreter habe und notfalls erreichbar bin. Die Daimler und Benz Stiftung hat meinen Forschungsaufenthalt an der Stanford University auch dadurch unterstützt, dass sie einen Teil der Reisekosten übernommen hat. Chris Gerdes, Erina Dubois und alle Mitglieder des Dynamic Design Labs haben mich herzlich in Stanford aufgenommen.

Wie in den Vorjahren folgen an dieser Stelle unsere Danksagungen für die vielfältige Unterstützung unserer Forschungen:

Wir danken unseren Zuwendungsgebern, deren Förderungen unsere Mitarbeit in zahlreichen Forschungsprojekten ermöglichen. Zu nennen sind das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie im Projekt aFAS, das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur im Projekt Digitaler Knoten 4.0, die Deutsche Forschungsgemeinschaft im Projekt CCC, das Land Niedersachsen im Projekt Elderly People Intersection Crossing Assistant sowie die Daimler und Benz Stiftung im Projekt Value-Based Decision Making. Neu hinzugekommen sind dieses Jahr das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderte Projekt UNICAR*agil* sowie das vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur geförderte Projekt AFIM. Wir danken den Kollegen von Volkswagen, Audi und Wabco für die konstruktive und fruchtbare Zusammenarbeit. Wir danken dem Präsidium

und der Zentralverwaltung der Technischen Universität Braunschweig sowie der Fakultät für Elektrotechnik, Informationstechnik, Physik für die vielfältige und wertvolle Unterstützung unserer Arbeit.

Mein besonderer Dank geht an alle Lehrenden der Arbeitsgruppe: die wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, Thomas Form als Honorarprofessor und an Bernd Lichte als Lehrbeauftragten.

Allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern in der Arbeitsgruppe danke ich für die intensive und konstruktive Zusammenarbeit im vergangenen Jahr. Die bestehenden Verträge und die Rückmeldungen unserer öffentlichen und privaten Fördergeber machen mich zuversichtlich, dass wir auch im kommenden Jahr unter günstigen Rahmenbedingungen gemeinsam forschen können.

2 Die AG Elektronische Fahrzeugsysteme

2.1 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter

Während des akademischen Jahres 2017/2018 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
Prof. Dr.-Ing. Bernd Lichte	Lehrbeauftragter
Dr. phil. Veronika Krapf	Assistenz der Institutsleitung
Stefanie Scheffer	Sekretärin
M.Sc. Gerrit Bagschik	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Dipl.-Ing. Frank Dierkes	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
M.Sc. Susanne Ernst	Wissenschaftliche Mitarbeiterin
M.Sc. Robert Graubohm	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
M.Sc. Felix Grün	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
M.Sc. Inga Jatzkowski	Wissenschaftliche Mitarbeiterin
M.Sc. Till Menzel	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Dipl.-Ing. Matthias Müller	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
M.Sc. Marcus Nolte	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
M.Sc. Christopher Plachetka	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
M.Sc. Jan Richelmann	Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Name	Aufgabenbereich
M.Sc. Jens Rieken	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
M.Sc. Tobias Schröder	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
M.Sc. Markus Steimle	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
M.Sc. Dipl.-Ing. (FH) Torben Stolte	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
M.Sc. Jan Timo Wendler	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Anton Grünke	Technik

Tabelle 2.1: Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Arbeitsgruppe Elektronische Fahrzeugsysteme

Beide Gruppen am Institut werden gleichermaßen unterstützt durch:

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

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

2.2 Neue Kolleginnen und Kollegen

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

2.2.1 Felix Grün

von Felix Grün



Seit Februar 2018 bin ich als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Regelungstechnik in der Arbeitsgruppe Elektronische Fahrzeugsysteme tätig.

Aufgewachsen bin ich in einem kleinen Ort in der Nähe von Hannover, sodass es mich nach meinem Abitur am Gymnasium Andreanum in Hildesheim hinaus in den Trubel und das Leben einer Großstadt zog. München als drittgrößte Stadt Deutschlands mit seiner Lage unweit der Alpen bot viele Möglichkeiten, die TU München hatte und hat einen ausgezeichneten Ruf und so sollte die „nördlichste Stadt Italiens“ zu meiner neuen Heimat werden. Ich studierte dort Informatik und parallel BWL und schloss mein Studium mit einem Bachelor in Informatik, einem Bachelor in BWL und schließlich mit einem Master in Informatik ab.

Während dieser Zeit begann ich mich für die Frage zu interessieren, die mich bis heute nicht losgelassen hat: „Kann eine Maschine Intelligenz besitzen?“ Als Informatiker war mir klar, dass sich diese Frage an den Algorithmen entscheiden würde und so begann ich mich für maschinelles Lernen zu interessieren. Ich schrieb meine Bachelorarbeit in Informatik über „Feature Visualization and Analysis for Deep Neural Networks“, veröffentlichte ein Paper zu dem gleichen Thema, welches ich auf dem International Conference on Machine Learning (ICML) Workshop on Visualization for Deep Learning 2016 in New York vorstellen durfte, arbeitete an mehreren Veröffentlichungen im Bereich künstliche neuronale Netze zur Tumorerkennung und -segmentierung mit und schloss meinen Master in Informatik mit einer Arbeit zum Thema „Parameter Efficient Networks for Medical Image Segmentation“ ab.

Nach meinem Master suchte ich einen Lehrstuhl, der es mir ermöglichen würde, meine Forschungsinteressen weiter zu verfolgen. Mir war mehr und mehr klar geworden, dass Intelligenz eine Verkörperung, also eine Umwelt, einen „Körper“ und ein Ziel, erfordert. So suchte ich nach herausfordernden Problemen, die alle drei Faktoren beinhalteten. Fündig wurde ich schließlich im Bereich „autonomes Fahren“ am Institut für Regelungstechnik der TU Braunschweig, wo ich mich seit Anfang des Jahres mit dem Thema Umfeldwahrnehmung, insbesondere im urbanen Raum, beschäftige. Die extreme Vielfalt an Szenarien, denen man im urbanen Raum begegnet, verbunden mit der außerordentlich hohen Relevanz für die Sicherheit des Fahrzeugs und dem daraus folgenden Anspruch an die Erkennungsalgorithmen, machen die Umfeldwahrnehmung zu einem äußerst spannenden Forschungsbereich.

Ich freue mich auf die kommenden Jahre und eine interessante Zeit am Institut.

2.2.2 Christopher Plachetka

von Christopher Plachetka



Ich arbeite seit Mai 2018 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Regelungstechnik in der Arbeitsgruppe Elektronische Fahrzeugsysteme.

Aufgewachsen und zur Schule gegangen bin ich in Velpke und Umgebung – einem etwas größeren Dorf in der Nähe von Wolfsburg mit einer schönen Seenlandschaft. Schon früh entwickelte sich bei mir ein naturwissenschaftliches Interesse, welches sich in der Wahl entsprechender Leistungskurse im Abitur manifestierte und bei der Abschiedsfeier mit einer Auszeichnung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft belohnt wurde.

Über die Volkswagen AG absolvierte ich ein Studium im Praxisverbund im Bereich Elektrotechnik mit der Fachrichtung Elektromobilität, in welchem ich mein Interesse für Physik mit den Jobperspektiven eines Konzerns verbinden konnte. Während dieser Zeit entdeckte ich den Spaß an der Lehre und arbeitete über viele Semester als Tutor für die Grundlagenvorlesungen der Elektrotechnik. Gemeinsam mit Kommilitonen baute ich ein Hochspannungsnetzteil mit 100 kV zum Betrieb elektrostatisch angetriebener Flugobjekte zu Demonstrationszwecken

für die Vorlesung *Elektrische und magnetische Felder* im Rahmen eines Teamprojektes. Trotz all der Begeisterung für die Entwicklung von Algorithmen und Software: Die Blitze und der Geruch nach Ozon waren großartig.

Meine Bachelorarbeit schrieb ich bei Volkswagen über die Wetterdatenerfassung durch vernetzte Fahrzeuge. Dabei betreute mich Prof. Dr. Andreas Simon – ein ehemaliger Doktorand am Institut für Regelungstechnik, der mich auf die Möglichkeit der Promotion aufmerksam machte. Aus der Arbeit ergaben sich erfreulicherweise gleich mehrere Patente und ich erhielt eine finanzielle Förderung durch Volkswagen für das Masterstudium *Elektronische Systeme für Fahrzeugtechnik, Luft- und Raumfahrt*, welches ich mit der Bestnote abschließen konnte. Während des Masterstudiums vertiefte ich mich weiter in den automotiven Bereich sowie in das maschinelle Lernen. Beide Themengebiete konnte ich über meine Masterarbeit *Deep Learning-basierte Umfeldwahrnehmung für automatisierte Fahrzeuge* verbinden, welche durch Jens Rieken betreut wurde, einem seit diesem Jahr ehemaligen Mitarbeiter, den wir am Institut aus vielen Gründen vermissen werden. Vor dem Antritt meiner Promotionsstelle erfüllte ich mir einen Traum und schloss meinem Studium eine achtmonatige Weltreise an, um die Semesterferien nachzuholen, die ich während des dualen Studiums verpasst habe. Falls sich bei Ihnen gerade die Frage ergibt: Ich kann besonders Ankor Wat in Kambodscha, die Halong-Bay in Vietnam und Machu Picchu in Peru empfehlen.

Am Institut beschäftige ich mich mit dem Themenkomplex der Umfeldwahrnehmung für automatisierte Fahrzeuge. Insbesondere möchte ich mit meinen Tätigkeiten die Forschung im Bereich der Deep Learning-basierten Wahrnehmung des beweglichen Fahrzeugumfelds voranbringen. Zusätzlich bin ich mit einem Teil der Übungen zur Vorlesung

Grundlagen der Elektrotechnik beauftragt und appliziere gemeinsam mit meinen Kollegen aus dem Team *Stadtpilot* unsere Forschungsergebnisse auf die Versuchsträger des Instituts. Ich freue mich auf eine spannende gemeinsame Zeit.

2.2.3 Jan Richelmann

von Jan Richelmann



Seit Januar 2018 arbeite ich am Institut für Regelungstechnik in der Arbeitsgruppe Elektronische Fahrzeugsysteme. Thematisch beschäftige ich mich mit der Verhaltensentscheidung automatisierter Fahrzeuge. Dabei bin ich in die Projekte „Digitaler Knoten 4.0“ sowie „EPICa“ eingebunden.

Ursprünglich stamme ich aus einem kleinen Dorf namens Meerdorf zwischen Peine und Braunschweig. Im Jahr 2011 habe ich am Gymnasium am Silberkamp in Peine mein Abitur gemacht. Bereits während meiner Schulzeit absolvierte ich ein Praktikum in einem Institut der TU Braunschweig. Seitdem war ich fasziniert von moderner Motorentchnik und fest entschlossen, nach meinem Schulabschluss ein Studium des Maschinenbaus in Braunschweig zu beginnen.

Während meines Bachelorstudiums mit der Vertiefungsrichtung Kraftfahrzeugtechnik absolvierte ich ein halbjähriges Praktikum im Institut für Verkehrssystemtechnik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt. Dadurch entwickelte sich meine Begeisterung immer mehr in Richtung Regelungstechnik und automatisiertes Fahren, sodass ich anschließend als studentische Hilfskraft am Institut für Flugführung (IFF) anfang. Da dieses Institut für die Ortung der automatisierten Fahrzeuge des Projekts Stadtpilot verantwortlich war, bin ich dort das erste Mal mit dem Institut für Regelungstechnik in Berührung gekommen. Meine Bachelorarbeit, die sich mit dem Einsatz von Multi-GNSS Korrekturdaten im Straßenverkehr befasste, habe ich ebenfalls am IFF im Rahmen des Projekts Stadtpilot geschrieben.

Nach Abschluss meiner Bachelorarbeit war für mich klar, dass ich mit dem Bereich des automatisierten Fahrens den zu mir passenden Forschungsbereich gefunden hatte. Aus diesem Grund wechselte ich für das Masterstudium meinen Vertiefungsbereich zu Mechatronik, da ich dort die Möglichkeit hatte, auch viele Vorlesungen im Bereich der elektronischen Fahrzeugsysteme sowie der Robotik zu hören.

Um neben den Vorlesungen noch Praxiserfahrung bei der Entwicklung von autonomen Fahrzeugen zu erlangen, war ich von März 2016 bis Dezember 2017 Mitglied des Carolo-Cup Teams CDLC. Zu meinen Aufgaben gehörten vor allem die Verhaltensentscheidung und Lokalisierung des automatisierten Modellfahrzeugs „Carolinchen“. Meine Masterarbeit habe ich schließlich ebenfalls im Projekt Stadtpilot am Institut für Regelungstechnik geschrieben. Im Rahmen dieser Arbeit habe ich ein Modul für die taktische Verhaltensentscheidung eines automatisierten Fahrzeugs entwickelt und somit die Grundlagen für meine jetzige wissenschaftliche Arbeit gelegt.

2.2.4 Tobias Schröder

von Tobias Schröder



Seit August 2018 arbeite ich als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Arbeitsgruppe Elektronische Fahrzeugsysteme am Institut für Regelungstechnik.

Aufgewachsen bin ich im westfälischen Ahaus, wo ich 2011 mein Abitur machte. Schon lange vorher war für mich klar, dass ich später einmal im Bereich der Automobilentwicklung arbeiten möchte. Ich entschied mich für ein duales Studium bei Volkswagen mit einem Schwerpunkt im Bereich der Fahrzeugaufbauentwicklung, um diesem Interesse nachzugehen. Neben meiner Arbeit in einer Abteilung für die Serienentwicklung mechatronischer Fahrzeugteile engagierte ich mich im Wolfsburger Formula Student Team. Hier konnte ich viele praktische Erfahrungen in den unterschiedlichsten Ingenieursdisziplinen sammeln. Um auch mein theoretisches Wissen weiterzuentwickeln, begann ich im Jahr 2015 mit dem Masterstudiengang Kraftfahrzeugtechnik an der TU Braunschweig. Durch das am IfR ansässige Carolo-Cup Team CDLC kam ich das erste Mal intensiver mit dem Thema autonomes Fahren in Kontakt. Vor allem war ich hier für die Entwicklung und den Bau verschiedener Komponenten eines automatisch fahrenden Modellfahrzeugs zuständig.

Anfang 2018 erfuhr ich vom Projekt UNICAR*agil*, bei dem innerhalb von vier Jahren vier fahrerlose Fahrzeuge durch verschiedene Institute von sieben Universitäten prototypisch realisiert werden sollen. Die Aufgabe des IfR ist es dabei unter anderem, den Innenraum für eines dieser vier Fahrzeuge, der AUTO*elfe*, zu entwerfen. Hierbei handelt es sich um ein Fahrzeug, das sich im Besitz einer Familie befindet und diese in ihrem Alltag unterstützt. Schnell war ich von dieser Idee und der Möglichkeit, einer so vielseitigen Aufgabe nachgehen zu können, begeistert. An dieser Aufgabe reizen mich vor allem der disruptive Charakter eines solchen Fahrzeugkonzepts und die Freiheiten, die ich als Serienentwickler nicht habe.

Ich freue mich auf die Zeit, die vor mir liegt und bin sehr gespannt auf die kommenden Jahre.

2.3 Abgänge

2.3.1 Jens Rieken

von Susanne Ernst

Im August 2018 verließ uns Jens Rieken, nachdem er sechs Jahre am Institut für Regelungstechnik in unterschiedlichen Themenfeldern im Rahmen des Projekts Stadtpilot gearbeitet hatte. Angefangen mit der Szenenrepräsentation, verschob sich sein Aufgabenfeld nach einiger Zeit Richtung Umfeldwahrnehmung. Bei der Entwicklung der Algorithmen zur Sensordatenverarbeitung konnte Jens sein ganzes Können auf dem Gebiet der C++ Programmierung ausspielen. Innerhalb der letzten Jahre entstand so ein lidarbasiertes Umfeldwahrnehmungsframework, welches im Projekt Stadtpilot als Grundlage für die Fahrfunktion dient. Aber nicht nur mit stabil programmierten Softwaremodulen, auch mit Rat und Tat stand er seinen Kollegen immer zur Seite. Ob es nun bereits implementierte Funktionen waren, die von Jens bei Bedarf zur Verfügung gestellt wurden oder, das Teilen hilfreicher Tipps bei der Suche nach Fehlern im eigenen Sourcecode.

Da aber auch die schönste Zeit einmal vorübergeht, wechselte Jens Mitte dieses Jahres Richtung Volkswagen, dem Aufgabengebiet der Umfeldwahrnehmung blieb er indes treu. Hier arbeitet er weiter an lidarbasierten Umfeldwahrnehmung.

Gute Zeiten misst man an schönen Erinnerungen und diese bleiben uns erhalten. Wir danken Dir sehr für all den Spaß, den wir auf den vielen Dienstreisen oder im Kleinen bei den Kaffeepausen in unserer engen Teeküche hatten, für jede interessante Diskussion, die wir führten, jedes Projekt, welches wir zusammen bestritten.

Wir wünschen Dir Alles Gute auf deinem weiteren Weg und dass auch Du uns und Deine Zeit am Institut in guter Erinnerung behältst!

2.3.2 Matthias Müller

von Markus Steimle

Nach einem Jahr als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Regelungstechnik hat uns Matthias Müller im Februar 2018 verlassen, um sich neuen Aufgaben in der Industrie zu widmen. Bereits als Student brachte er sich mit verschiedenen Tätigkeiten im Projekt Stadtpilot ein. Während seiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter lieferte er weitere wertvolle Beiträge in der Arbeitsgruppe Elektronische Fahrzeugsysteme. Seine Hauptaufgabengebiete waren die Inbetriebnahme und Weiterentwicklung der in seiner Diplomarbeit entwickelten Trajektorienplanung und die Unterstützung beim Aufbau einer Simulationsumgebung zum Testen der automatisierten Fahrfunktion. Durch seine Arbeiten wurde die Basis für die aktuellen Tätigkeiten und Projekte am Institut für Regelungstechnik geschaffen.

Matthias, deine lautstarken Weckrufe werden wir nie vergessen! »Gesundheit!« Wir danken dir für deine Unterstützung und wünschen dir für deine berufliche sowie private Zukunft alles erdenklich Gute.

Teil I

Lehre und Ereignisse

3 Lehre

3.1 Übersicht

Im vergangenen Sommersemester haben wir nur wenige Lehrveranstaltungen angeboten, da Prof. Maurer ein Forschungssemester gewährt wurde. Im Wintersemester wurden die etablierten Lehrveranstaltungen durchgeführt:

Veranstaltung	Vortragende
Datenbussysteme	Dr. Grobe
Elektronische Fahrzeugsysteme	Prof. Form
Grundlagen der Elektrotechnik	Prof. Maurer
Hochvoltsicherheit im Kraftfahrzeug	B. Amlang
Master-Teamprojekt	R. Graubohm
Mathematische Methoden für Elektronische Fahrzeugsysteme	Prof. Lichte
Oberseminar Elektronische Fahrzeugsysteme	Prof. Maurer

Tabelle 3.1: Veranstaltungen im Wintersemester 2017/2018

Veranstaltung	Vortragende
Elektromagnetische Verträglichkeit in der Fahrzeugtechnik	Prof. Form
Fahrzeugsystemtechnik	G. Bagschik
Master-Teamprojekt	R. Graubohm

Tabelle 3.2: Veranstaltungen im Sommersemester 2018

Labor	Zeitraum
Entwurf von vernetzten eingebetteten Fahrzeugsystemen	SoSe 2018
Vernetzung und Diagnose im Kraftfahrzeug	SoSe 2018

Tabelle 3.3: Labore im akademischen Jahr 2017/2018

3.2 Neues aus der Lehre

3.2.1 Oberseminar

von *Torben Stolte*

Das Oberseminar „Elektronische Fahrzeugsysteme“ wurde im Wintersemester 2017/2018 angeboten. Im Sommersemester fand aufgrund des Forschungsfreisemesters von Prof. Maurer kein Oberseminar statt. Das Seminar dient dem vertieften wissenschaftlichen Austausch zu aktuellen Themen aus den Forschungsfeldern der Arbeitsgruppe. Die dreistündigen Termine werden von den Vortragenden frei gestaltet, wobei weniger Frontalvorträge als 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 Studierende im Masterstudium.

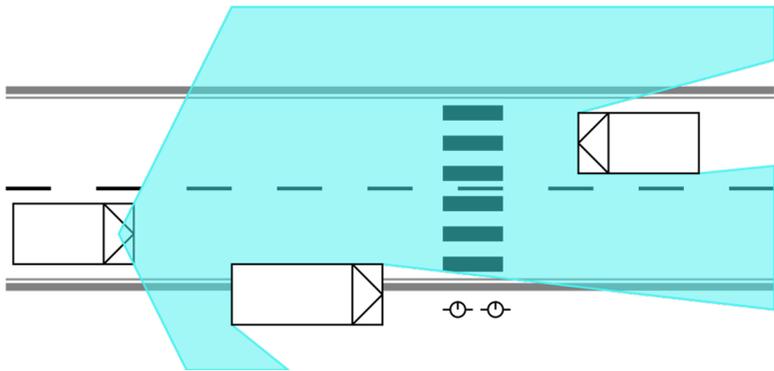


Abbildung 3.1: Beispielszenario, welches im Kontext des Oberseminars näher betrachtet wurde

Der Fokus der Vorträge im vergangenen akademischen Jahr lag auf den besonderen Herausforderungen der Fahrzeugautomatisierung, dem wissenschaftlichen Arbeiten sowie den Projekten der Arbeitsgruppe Elektronische Fahrzeugsysteme. Eine Besonderheit in diesem Durchgang war die durchgängige Behandlung der Themen anhand des in Abbildung 3.1 dargestellten Szenarios (Weiteres dazu in Kapitel 7). Dieses Vorgehen führte nach den Rückmeldungen der Teilnehmer zu einer vertieften produktiven Diskussion. Insbesondere wurde dies auch bei der letzten Veranstaltung deutlich, die von Tom Gasser und Alexander Frey von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) gestaltet wurde und spannende Diskussionen aus psychologischer und rechtlicher Perspektive auf die Fahrzeugautomatisierung mit sich brachte. Allen Vortragenden – insbesondere Tom Gasser und Alexander Frey – sei

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

Vortragende	Thema
Markus Maurer	Erfolgreiches wissenschaftliches Arbeiten
Robert Graubohm & Gerrit Bagschik	Szenarienbasierte Entwicklungsprozesse
Marcus Nolte & Torben Stolte	Bewegungsplanung und -regelung unter Berücksichtigung von Aktorikfehlern
Jens Rieken & Inga Jatzkowski	Umfeld- und Selbstwahrnehmung
Susanne Ernst, Frank Dierkes & Jan Richelmann	Herausforderungen der Verhaltensentscheidung
Tom Gasser & Alexander Frey	Psychologische und rechtliche Aspekte geltender „Bewegungsregelung“ im Straßenverkehr

Tabelle 3.4: Themen des Oberseminars im Wintersemester 2017/2018

3.2.2 SummerCamp 2018

von Robert Graubohm

Im Zeitraum vom 2. bis 7. September wurde zusammen mit Kollegen anderer Institute das SummerCamp 2018 in Schulenberg (Harz) ausgerichtet. Erstmals hatte ich in diesem Jahr die Aufgabe, das SummerCamp hauptverantwortlich zu organisieren. Zum Teilnehmerkreis zählten 21 Studierende der TU Braunschweig aus den Bereichen Elektrotechnik, Informatik und Maschinenbau und drei Studierende anderer deutscher Hochschulen. Darüber hinaus nahmen bereits zum siebten Mal Studierende des Dynamic Design Labs der Stanford University (USA) teil. Während der Durchführung der Veranstaltung wurde das

Organisationsteam zeitweise durch Prof. Form als verantwortliche Lehrperson unterstützt.

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

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

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

Ein Schwerpunkt der Veranstaltung ist die Vermittlung von praktischen Erfahrungen mit selbstorganisierter Teamarbeit in interdisziplinären und internationalen Gruppen. Die Organisatoren schaffen außerdem eine Konkurrenzsituation zwischen den Teams, indem den Teilnehmenden (Abbildung 3.2) Fortschrittsberichte anderer Gruppen bereitgestellt werden. Ergänzt wird der Ablauf durch zusätzliche Aufgaben, in denen Teams zum Beispiel innerhalb von kurzer Zeit ihren aktuellen Projektstatus präsentieren müssen.



Abbildung 3.2: Teilnehmende und Betreuer des SummerCamps 2018

Einzelne Phasen des Entwicklungsprozesses werden durch Fachvorträge eingeleitet. Diese werden entweder von Industrievertretern oder von Mitarbeitern der beteiligten Institute gehalten. Die Veranstaltung wurde in diesem Jahr durch Vorträge von Experten der Volkswagen AG,

dSPACE und Elektrobit unterstützt. Dabei werden insbesondere Aspekte der jeweiligen Prozessphasen erläutert und die im SummerCamp verwendeten Werkzeuge eingeführt.

In diesem Jahr zählten zum siebten Mal Studierende der Stanford University zum Teilnehmerkreis. Die Teilnahme der englischsprachigen Gäste hatte in den letzten Jahren das SummerCamp bereichert und die Durchführung in englischer Sprache mit sich gebracht. Die englischsprachigen Studierenden des Dynamic Design Labs wurden auf die drei Teams aufgeteilt, sodass neben der Vortrags- und Dokumentensprache Englisch auch die Notwendigkeit einer englischsprachigen Kommunikation im Team während des gesamten SummerCamps bestand.

Diese bereits etablierte Praxis wurde auch in diesem Jahr durch positive Rückmeldung aller 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.

Auf Basis des Feedbacks der Studierenden kann für das SummerCamp 2018 ein ausgesprochen positives Fazit gezogen werden. Der Dank gilt allen Referenten und unterstützenden Unternehmen, die uns Räumlichkeiten und Softwarewerkzeuge zur Verfügung gestellt haben. Ich möchte mich außerdem bei den Kollegen der beteiligten Institute für die Zusammenarbeit bedanken. Besonderer Dank gilt dem Institut für Datentechnik und Kommunikationsnetze unter Leitung von Prof. Ernst für die in diesem Jahr erstmalige Übernahme der Architekturphase des SummerCamps nach Ausscheiden des Instituts für Programmierung und Reaktive Systeme.

Zuletzt erfolgt bereits hier der Wunsch eines erfolgreichen SummerCamps 2019!

3.2.3 Stanford Students at the SummerCamp 2018

by Francis Eugene Lewis, Dana Maria Paz, and John Andrew Talbot

This year, Dana Paz, Gene Lewis, and John Talbot from Stanford University's Dynamic Design Lab had the opportunity to participate in the automotive design SummerCamp organized by TU Braunschweig. The simulation game is run by PhD candidates and supported by industry partners, who collectively bring experience from across the electromechanical engineering spectrum. Robert Graubohm was the lead organizer and did a fantastic job planning the week, welcoming us to Germany, and running an overall successful event.

Thursday before SummerCamp, Stanford students and members of TU Braunschweig's Vehicle Electronics Lab held a workshop on road vehicle automation (cf. 4.3). We had the opportunity to listen to presentations by various lab members as well as present on some of the DDL's current research topics. Professor Mauer took us out to dinner that night and we continued bonding with the students in the lab. Friday was filled with a lab tour, vehicle rides, and collaboration brainstorming. Saturday some of the students took us kayaking in Braunschweig before attending Magnifest at night. We had an absolutely fantastic time getting to know the lab. Sunday, Robert picked us up and took us to hike on the way to SummerCamp (Figure 3.3).

When we arrived at beautiful Haus Schulenberg, we met the other participants; they were friendly and inviting, and we quickly made strong connections. We were then divided up into three teams of nine and immediately immersed into the SummerCamp simulation game, where each team represented a small firm competing for a contract from a management board. The nominal task for the week was to develop a luxury vehicle comfort system by following the V-model of product



Abbildung 3.3: Gene Lewis, Dana Paz, John Talbot, and Robert Graubohm in Harz Mountains.

development, working through the stages of requirements creation, system architecture development, system implementation, component testing, integration testing, and acceptance testing. However, it was rapidly apparent that the real purpose of the simulation game was to develop team management and planning skills; success in the program depended fundamentally on being able to handle frequent status update presentations, team coordination of tasks, and occasionally changing system requirements, all while developing and implementing a real system on physical ECUs. Needless to say, SummerCamp was an intense and enlightening experience; by the end of the week, we all proudly stood together, having both tackled the technical challenge and deeply

honed our presentation, management, and teamwork skills. We would highly recommend the SummerCamp simulation game to future generations of eager young minds.

3.2.4 Vorlesung Fahrzeugsystemtechnik

von Gerrit Bagschik

Aufgrund des Forschungsfreisemesters von Prof. Maurer wurde die Vorlesung im Sommersemester 2018 von Gerrit Bagschik gelesen. Das Interesse am Thema Fahrzeugsystemtechnik spiegelt sich auch in diesem Semester wieder an den Teilnehmerzahlen. Trotz des starken Anstiegs der Anzahl an teilnehmenden Studierenden in den letzten Jahren erreichte die Vorlesung mit 140 Studierenden eine neue Höchstzahl.

Fokus dieses Durchlaufs lag auf der Überarbeitung und Vereinheitlichung des Skripts anhand der im letzten Semester eingeführten neuen Struktur der Vorlesung. Dabei ist auch der Fokus der einzelnen Semestertermine mehr auf die Motivation von Systemtechnik für automatisierte Fahrzeuge verlagert worden. Aus dem in Juli abgeschlossenen Projekt aFAS (Kapitel 6) wurde der szenarienbasierte Testprozess des Projekts näher beschrieben. Die Vorlesung zu Architekturen wurde um die Inhalte der Veröffentlichung *A System's Perspective Towards an Architecture Framework for Safe Automated Vehicles*, die auf der IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC) in November 2018 präsentiert wird, erweitert. Die Erweiterung beinhaltet ergänzend zu den funktionalen Systemarchitekturen Ansätze für mehrere Architektursichten auf ein System für interdisziplinäre Entwicklungsteams.

3.2.5 Master-Teamprojekt

von Robert Graubohm

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

In den beiden vergangenen Semestern wurden folgende Themen behandelt:

- Entwicklung eines Tools zur Bestimmung extrinsischer und intrinsischer Kameraparameter
- Angleichung der Systemarchitektur von MAX an MOBILE am Beispiel des Hinterachsmoduls

3.2.6 Seminarvorträge

von Inga Jatzkowski

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

Wintersemester 2017/2018

- Einsatz semiformaler Notationen des funktionalen Sicherheitsnachweises
- Stand der Technik: Knickwinkelschätzung in Gespannen
- Stand der Technik: Automatisiertes Valet Parking
- Stand der Forschung: Keyword-Driven Testing
- Stand der Forschung: Modellbasiertes Testen
- Modellbasierte Fehler-Diagnose in der Fahrwerksregelung
- Der Sicherheitsnachweis (Safety Case) für automatisierte Fahrzeuge
- Introspection als Konzept in der Robotik
- Verfügbare Sensormodelle für das simulative Testen von umfeldwahrnehmenden Fahrzeugsystemen
- Self-Aware Systems - Ein Blick in die Robotik und Informatik
- Aufbereitung des Waymo Safety-Reports

Sommersemester 2018

- Sichtweisen in der Systemtechnik
- Sicherheitskonzepte für Rangierassistenten und Parksyste-me ohne mitfahrenden Fahrer
- Deep Learning Ansätze zur Fahrstreifenerkennung
- Studienergebnisse zu wahrgenommenen Verantwortungsanteilen nach Unfällen in verschiedenen Automatisierungsleveln
- Stand der Forschung: Metriken zur Bewertung einer Verhaltensentscheidung automatisierter Fahrzeuge
- Integration von Werten in Entscheidungsalgorithmen
- Effiziente Pfadplanung in unstrukturiertem Umfeld
- Stand der Technik: Vorstellung aktueller Simulationsarchitekturen zum Testen automatisierter Fahrfunktionen
- Der Umgang mit Dataset Bias im Machine Learning
- Stand der Technik: Fernsteuerung für Serienfahrzeuge

3.2.7 Industriepraktika

Im akademischen Jahr 2017/2018 wurden folgende Industriepraktika von unserer Arbeitsgruppe betreut:

- Andritz Hydro GmbH, Wien (Österreich)
- Continental Systems GmbH (A.D.C. GmbH), Lindau
- Daimler AG, Stuttgart
- Electronics Research Lab - Volkswagen of America, Belmont (Kalifornien, USA)

- IAV GmbH, Gifhorn
- in-tech GmbH, Wolfsburg
- Volkswagen AG, Wolfsburg

3.3 Studentische Arbeiten

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

Entwicklung eines Frameworks zur Parametrisierung eines modellprädiktiven Bahnplanungsalgorithmus, Masterarbeit, 2017

Entwicklung eines lernbasierten Ansatzes zur Klassifizierung von Fahrbohnoberflächenbeschaffenheiten, Bachelorarbeit, 2017

Entwicklung und Umsetzung einer Methode zur Ableitung repräsentativer Diskretisierungsstufen für einen definierten Parameterraum unter Berücksichtigung statischer Zusatzinformationen, Masterarbeit, 2017

Konzeption und Implementierung einer bildbasierten semantischen Segmentierung durch künstlich neuronale Netze zur Annotation von Laserdaten, Masterarbeit, 2017

Untersuchung von Regeneinflüssen auf die LIDAR-basierte Umfeldwahrnehmung, Masterarbeit, 2017

Ableitung der Straßentopologie aus einer gitterbasierten Umfeldwahrnehmung für automatisierte Fahrzeuge, Masterarbeit, 2018

Ansätze zur Referenzierung eines mobilen 3D-Lidarsensors unter Verwendung eines Geodäsie-Lidarscanners für das automatisierte Fahren, Masterarbeit, 2018

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

Entwicklung eines Lidar-Modells für die Vorentwicklung von umfeldwahrnehmenden Fahrzeugführungssystemen, Masterarbeit, 2018

Entwicklung und Implementierung eines Frameworks zur Simulation von ungeschützten Verkehrsteilnehmern, Masterarbeit, 2018

Entwicklung und Implementierung eines Schwimmwinkelschätzers für den Versuchsträger MOBILE, Bachelorarbeit, 2018

Entwurf und Implementierung eines Algorithmus zur Gütebewertung der relativen Kalibrierung von Laserscanner und Kamera für automatisierte Fahrzeuge, Masterarbeit, 2018

Entwurf und Implementierung eines Frameworks zur Erkennung von Fahrmanövern auf der Autobahn für die Parametrisierung von Szenarien im Testprozess, Masterarbeit, 2018

Erstellung und Einsatz von Systemmodellen zur Unterstützung der Konzeptphase der Entwicklung automatisierter Fahrfunktionen, Bachelorarbeit, 2018

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

Erweiterung eines Szenenmodells um eine Routenrepräsentation basierend auf einer makro- und mesoskalen Routenplanung für ein automatisiertes Fahrzeug in urbaner Umgebung, Bachelorarbeit, 2018

Evaluation of Probabilistic and Learning-Based Models for Ability Representation of Automated Vehicles, Masterarbeit, 2018

Implementierung und Evaluierung einer wahrnehmungsbasierten Erkennung von Vorfahrtssituationen an innerstädtischen Kreuzungen für automatisierte Straßenfahrzeuge, Masterarbeit, 2018

Konzeption und Entwicklung eines Werkzeuges für die Überführung einer stichwortbasierten Straßenbeschreibung in eine Parameterraumdarstellung für das Format Open DRIVE, Masterarbeit, 2018

Konzeption und Entwicklung eines Werkzeuges für die Überführung einer stichwortbasierten Straßenbeschreibung in eine Parameterraumdarstellung für das Format Open SCENARIO, Masterarbeit, 2018

Wissensbasierte Generierung von Betriebsszenarien auf deutschen Autobahnen, Masterarbeit, 2018

3.4 Prüfungen am Institut

Im Berichtszeitraum wurden folgende Prüfungen abgelegt:

Name des Fachs	Anzahl der Prüfungen	Durchschnitts- note
Datenbussysteme	94	2,6
Elektromagnetische Verträglichkeit	23	3,0
Elektronische Fahrzeugsysteme	79	3,0
Fahrzeugsystemtechnik	105	3,0
Fahrerassistenzsysteme und automa- tisiertes Fahren	13	2,4
Grundlagen der Elektrotechnik	188	3,9
Hochvoltsicherheit im Kraftfahrzeug	17	1,7
Master-Teamprojekt	6	k. A.
Mathematische Methoden für elek- tronische Fahrzeugsysteme	2	k. A.
Oberseminar	2	k. A.

Tabelle 3.5: Anzahl der Prüfungen im Rahmen unserer Lehrveranstaltungen

4 Ereignisse

4.1 Carolo-Cup 2018

von der Pressestelle der TU Braunschweig

Schnelligkeit vor Sicherheit war die Devise des Teams KitCar aus Karlsruhe. Die Strategie ging auf, „Dr. Drift“ vom Karlsruher Institut für Technologie kam nach zwei rasanten Parcoursfahrten vor der Siegerin der letzten beiden Jahre „Carolinchen“ der TU Braunschweig und vor dem Spatz von der Universität Ulm ins Ziel.

19 Teams aus ganz Deutschland, China, Polen und der Schweiz traten mit ihren kleinen bunten Flitzern in zwei Leistungsklassen beim 11. Carolo-Cup in der Stadthalle an. Über 600 Zuschauer verfolgten jeweils zwei Parcoursfahrten der 13 Einsteigerteams und der 6 Teams in der Königsklasse des Carolo-Cups: Schnelle kurvenreiche Runden, bei denen viel Gas gegeben werden konnte, Einparken in die richtige Parklücke, Stoppschilder erkennen, Tempolimits einhalten, Überholverbote beachten und Steigungen meistern. Auch wenn einige Teams Startschwierigkeiten hatten und es zu der einen oder anderen kleinen Kollision kam, überstanden alle Fahrzeuge den Wettbewerb.

Im ersten Rundkurs lieferten sich der Vorjahressieger „Carolinchen“ von der TU Braunschweig und Dr. Drift aus Karlsruhe ein enges Kopf-an-Kopfrennen, das „Carolinchen“ das mehr auf Sicherheit setzte und souverän aus der Fahrt heraus längst- und quer einparkte, hauchdünn gewann, während sich Dr. Drift ein paar Patzer beim Parken erlaubte.



Abbildung 4.1: Über 600 Zuschauer verfolgten den Wettkampf in der Braunschweiger Stadthalle.

©TU Braunschweig, Stabstelle Presse & Kommunikation

Der Vorjahreszweite, das Löwen-Team der TU Braunschweig, verlor bereits hier mit seinem im schnittigen orangen „Scar“-Fahrzeug viele Punkte, so dass letztendlich ein Platz auf dem Treppchen knapp verfehlt wurde.

Absolut lautlos mit dem neuen Linearmotor, der auch in der Raumfahrt verwendet wird, drehte „Carolinchen“ ihre Runden. Aber beim zweiten Parcours unterlief dem CDLC-Team mit „Carolinchen“ ein folgenschwerer Fehler, der den Sieg kostete. Nachdem der Fußgänger am Zebrastrifen über die Fahrbahn gelassen wurde, mit einem Fahrspurwechsel elegant ein Hindernis überholt wurde und am Stoppschild regelkonform drei Sekunden gehalten wurde, fuhr sie zu schnell an eine Kreuzung heran, übersah so einen Abbiegepfeil und bog prompt falsch ab. Als dann noch ein Hindernis leicht touchiert wurde, war der

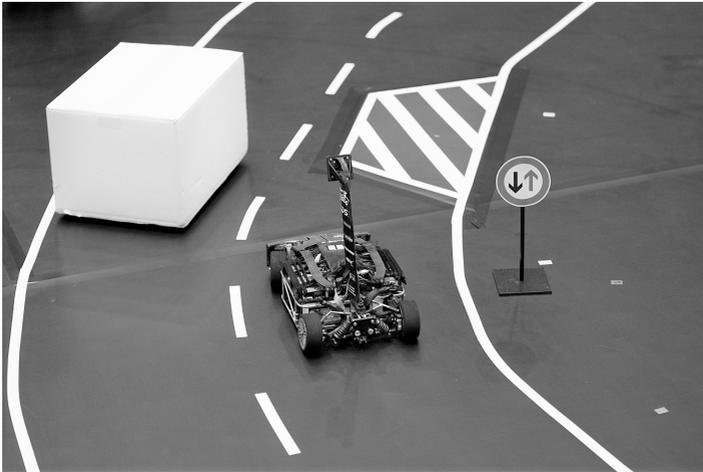


Abbildung 4.2: Hindernissen auszuweichen war für die Vorjahressiegerin „Carolinen“ kein Problem. Sie belegte in diesem Jahr den zweiten Platz.

©TU Braunschweig, Stabstelle Presse & Kommunikation

Weg für den schnellen „Dr. Drift“ frei. Das Team CDLC zeigte sich natürlich etwas enttäuscht. „Das Team aus Karlsruhe hat in diesem Jahr eine super Leistung gezeigt und war einfach einen Tick besser. Unser Ziel: Nächstes Jahr holen wir den Titel zurück“, so Torsten Vinicky vom CDLC-Team.

Insgesamt 20 der über 40 Teammitglieder aus Karlsruhe waren beim Sieg ihres Fahrzeugs in der Stadthalle dabei. Ein Jahr lang haben sie an einem völlig neuen Fahrzeug und an einem neuen Parkkonzept getüftelt und damit einen ganz großen Schritt zum Vorjahr gemacht. Bei der Entwicklung des schnittigen schwarz-grünen Designs von „Dr. Drift“ erhielten sie Unterstützung von Studierenden des Studiengangs Transportation Design aus Pforzheim. Auch abseits der Strecke wurde viel Zeit und Energie für die Wahl des Fahrzeugnamens und des neuen Logos investiert. Aber in einem ist sich das Team ganz sicher: „Wir haben einen super Teamspirit, der uns zu Höchstleistungen motiviert hat“, so Andreas Blattmann.

Auch der Spatz aus Ulm gab ordentlich Gas und konnte trotz der Geschwindigkeit immer die Spur halten, so dass es im Endergebnis für Platz drei vor den Löwen aus Braunschweig reichte.

Den Einsteigerwettbewerb gewann mit sehr großem Vorsprung „Tighty“ von der TU München. Das Fahrzeug überzeugte durch seine Schnelligkeit und konnte so die leichten Probleme beim Erkennen von Kreuzungen, über die einfach auch mal ohne Vorfahrt zu achten gefahren wurde, kompensieren. Im nächsten Jahr sind sie auf jeden Fall wieder dabei, dann aber in der Königsklasse.

Eine erstaunliche Leistung zeigte auch das Team NaN aus Hamburg. Zum dritten Mal holte sich das Team den Sonderpreis des VDI für das leichteste Fahrzeug. Nur knapp 1 Kilo brachte ihr Leichtgewicht auf



Abbildung 4.3: Das Siegerteam KITcar machte mit seinem Fahrzeug zum Vorjahr einen großen Sprung nach vorn und holte sich den Carolo-Cup.

©TU Braunschweig, Stabstelle Presse & Kommunikation

die Waage. Damit haben sie das Gewicht ihres Fahrzeugs innerhalb der letzten 2 Jahre halbieren können. Mit ihrem winzigen Computer, einer Carbonkarosserie und nur zwei Sensoren haben die vier Informatik-Studenten gezeigt, wie viel mit wenig möglich ist.

Die internationalen Gäste, die alle beim Einsteigerwettbewerb teilgenommen haben, belegten die Plätze 4 (China), 7 (Polen) und 8 (Schweiz), und freuen sich bereits auf den nächsten Wettbewerb. Sie nehmen zahlreiche Inspirationen mit, um ihre Fahrzeuge für das nächste Jahr fit zu machen.

Der Initiator des Carolo-Cups, Professor Thomas Form, freut sich über die hohe Beteiligung und die jährliche Leistungssteigerung der Teams. „Unser Konzept mit einem Einsteigerwettbewerb die Teams an die Herausforderungen heranzuführen und die alten Hasen sich mit komplexeren Verkehrssituationen in einer Leistungsklasse messen zu lassen, ist voll aufgegangen. Für die fortgeschrittenen Teams legen wir jedes Jahr noch eine Schippe an Herausforderungen drauf, die aber auch zu bewältigen sein müssen, damit sie jedes Jahr neue Fahrkonzepte entwickeln.“ Ideen für weitere Herausforderungen bei den nächsten Carolo-Cup-Wettbewerben hat Prof. Form bereits in der Schublade.

Das Preisgeld beträgt insgesamt 11.500 Euro. Der Sieger des Carolo-Cups erhält davon 4.000 Euro. Die Veranstaltung wurde organisiert vom Institut für Regelungstechnik der TU Braunschweig und von den Firmen Robert Bosch GmbH, Continental AG, Elektrobit Automotive GmbH, IAV GmbH, Streetscooter GmbH, Volkswagen AG und Wabco GmbH unterstützt.

4.2 IfR Kolloquium 2018

von Inga Jatzkowski

Am 14. September 2018 fand im Rahmen des IfR Kolloquiums das erste gemeinsame Ehemaligentreffen der Arbeitsgruppen Regelungstechnik und Elektronische Fahrzeugsysteme am Institut für Regelungstechnik statt. Insgesamt nahmen 46 ehemalige Absolventen und 23 aktuelle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter an diesem Kolloquium teil. Die ganztägige Veranstaltung eröffnete Prof. Schumacher mit einer herzlichen Begrüßung aller Teilnehmer und einem kleinen geschichtlichen Überblick des Instituts. Anschließend stellte Prof. Maurer die aktuellen Forschungsschwerpunkte der AG Elektronische Fahrzeugsysteme mit einem besonderen Fokus auf die inhärenten Risiken des automatisierten Fahrens vor. Im weiteren Verlauf der Veranstaltung wurden verschiedene Fachvorträge der Gäste und Mitarbeiter gehalten.

Herr Holtz begann mit einem Vortrag zur prädiktiven Regelung von Elektromotoren. Anschließend stellte Herr Fenker von der Firma Liebherr eine von Liebherr entwickelte vollständig integrierte elektrische Speichereinheit mit Doppelschichtkondensatoren und dessen Einsatzmöglichkeiten vor. Herr Mihalachi von der PTB präsentierte im Anschluss aktuelle Forschungen der PTB zur drohnenbasierten Antennen- und Feldstärkemessungstechnik. Nach einer kleinen Stärkung während der Mittagspause folgte ein Vortrag von Herrn Martens von Trinamic zu Embedded Motion Control, in dem die aktuellen Microcontrollerarchitekturen von Trinamic und deren praktischen Einsatzgebiete vorgestellt wurden. Im Anschluss folgte ein Vortrag von Herrn Brand von Volkswagen zum Thema Risikokontrolle und Kollisionsvermeidung von automatisierten Fahrzeugen. Hierbei stellte Herr Brand Arbeiten von Volkswagen zur Risikobewertung vor, die sowohl beim manuellen

als auch beim automatisierten Fahren einen wichtigen Beitrag zur Kollisionsvermeidung liefern können. Thematisch passend stellte Herr Ohl von Elektrobit im Anschluss einen Softwarebaukasten für die Umfeldmodellierung von automatisierten Fahrzeugen vor. Nach einer kurzen Kaffeepause präsentierte Axel Klein aktuelle Forschungsinhalte der AG Regelungstechnik zur $\Delta\Sigma$ -Signalverarbeitung in der Antriebsregelung. Abschließend referierte Marcus Nolte zur wertebasierten Verhaltensentscheidung mit Fokus auf die Auswirkungen von Unsicherheiten auf die Entscheidungsfindung und die Bewegungsplanung beim automatisierten Fahren.

Im Anschluss an die Vorträge hatten die Gäste und Belegschaft die Möglichkeit, verschiedene Exponate der beiden Arbeitsgruppen zu besichtigen. Die AG Regelungstechnik präsentierte Exponate zur $\Delta\Sigma$ -Signalverarbeitung und der verteilten Energieversorgung, sowie ein Lastenfahrrad und einen Schrittmotor. Die AG Elektronische Fahrzeugsysteme stellte die Versuchsfahrzeuge *Leonie*, *Referenzsensorik*, *Vehicle-in-the-Loop* und *MOBILE* vor. Der Referenzsensorikprüfstand *RefSens* sowie der automatisiert fahrende Versuchsträger des Stadtpilot-Projekts *Leonie* wurden am Haus der Elektrotechnik vorgestellt. Der *Vehicle-in-the-Loop* Prüfstand *ViL* und der Fahrdynamikversuchsträger *MOBILE* wurden am Campus Nord gezeigt, sodass interessierte Gäste die Möglichkeit einer Probefahrt hatten.

Den Ausklang des Kolloquiums bildete ein gemeinsames Abendessen im Gastwerk Rodizio.

4.3 Workshop mit Dynamic Design Lab Stanford

von Felix Grün

Im Rahmen des diesjährigen SummerCamps (siehe Abschnitt 3.2.2) durften wir Gene Lewis, John Talbot und Dana Paz als Gäste an unserem Institut begrüßen. Die drei Studierenden des Dynamic Design Lab von Prof. Christian Gerdes an der Universität Stanford reisten bereits einige Tage früher an, um an einem gemeinsamen Workshop unserer beiden Arbeitsgruppen teilzunehmen. Sie brachten dabei interessante Themen mit, die wir im Austausch mit unseren Aktivitäten in den folgenden Tagen intensiv diskutierten.

Am ersten Tag des gemeinsamen Workshops erhielten die amerikanischen Studierenden in der Fahrzeughalle am Bienroder Weg bei einer Vorstellung der Versuchsträger einen umfassenden Einblick in aktuelle Forschungsprojekte. Anschließend wurden am Nachmittag die Diskussionen im Seminarraum des Instituts fortgesetzt. Gene Lewis präsentierte seine Forschung zu der Rolle künstlicher Intelligenz bei der Auswahl optimaler Trajektorien für autonome Fahrzeuge, John Talbot zeigte Ideen, wie intelligente Algorithmen den Fahrer in riskanten Situationen vor einem Unfall bewahren könnten und Dana Paz schilderte Erkenntnisse, die das Dynamic Design Lab in Workshops mit verschiedensten Stakeholdern zum Thema Ethik in der Entwicklung autonomer Fahrzeuge gewonnen hat. Aus unserer Arbeitsgruppe zeigte Christopher Plachetka seine Arbeit zur Erkennung beweglicher Objekte mithilfe von Deep Learning, Marcus Nolte präsentierte seine Forschung zu modellprädiktiver Regelung, Verhaltensentscheidung und Trajektoriengenerierung und Felix Grün stellte unser Framework zur laserbasierten Umfeldwahrnehmung vor. Auf die Vorträge folgten anregende Diskussionen, die in einen geselligen Abend in einem Re-

staurant in der Nähe mündeten. Am Freitag trafen wir uns dann erneut im Institut, um die Diskussionen über die am Vortag präsentierten Ideen in kleineren Runden stärker fokussiert fortzuführen.

Der lehrreiche Austausch führte auf beiden Seiten zu neuen Ideen und wir danken Gene, John und Dana, dass sie sich die Zeit genommen haben, unser Institut zu besuchen. Die interessanten fachlichen Diskussionen und die unterschiedlichen Herangehensweisen an Probleme eröffneten neue Sichtweisen, von denen wir noch lange profitieren werden.

Teil II

**Berichte aus der
Forschung**

5 Stadtpilot

von Jan Richelmann und Markus Steimle

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

Kontinuierliche Integration Im aktuellen Berichtszeitraum wurde im Projekt Stadtpilot das Konzept der *kontinuierlichen Integration* realisiert. Dies bedeutet, dass nach jeder Änderung im Software-Repository des Projekts der Programmcode automatisch neu erstellt und ausgeführt wird, um die Entwickler (Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sowie Studierende) auf Fehler und nicht ausführbare Programmmodule aufmerksam zu machen. Dies hat sich bisher als äußerst hilfreich erwiesen. Durch die direkte Detektion von Fehlern und die Benachrichtigung des verursachenden Entwicklers, konnte die Entwicklung beschleunigt und der Abstimmungsbedarf reduziert werden.

Stadtpilot in der Simulation In diesem Berichtszeitraum wurde die Software des Stadtpilots an eine Simulationsumgebung angebunden, um die Entwickler durch simulierte Daten zu unterstützen und Testfälle simulativ durchzuführen. Die Entwickler haben seitdem die Möglichkeit, Algorithmen (gefahrlos) im Büro auszuführen und zu testen, bevor diese im realen Fahrzeug erprobt werden, da benötigte Daten von der Simulation bereitgestellt werden. Dadurch konnte ein Teil der Entwicklungsarbeit ohne direkten Zugriff auf einen Versuchsträger und ohne den Aufwand einer Fahrt in realer Umgebung durchgeführt werden. Zusätzlich können Studierende ihre Arbeit eigenständig testen und müssen nicht mehr auf Mitarbeiterinnen oder Mitarbeiter und ein freies Fahrzeug warten. Beides reduziert die Entwicklungszeit und den Entwicklungsaufwand.

Erstellung von Karten für die Simulation Um eine möglichst hohe Aussagekraft der in der Simulation erzielten Ergebnisse zu erhalten, sollten für die Durchführung von Szenarien in der Simulation Strecken genutzt werden, die auch mit dem realen Fahrzeug befahren werden. Im Idealfall kann die Topologie der realen Infrastruktur identisch abgebildet werden. Die Herausforderung im Projekt Stadtpilot ist, dass der logische Aufbau des Straßennetzes sowohl in der Kontextmodellierung, die in der automatisierten Fahrfunktion genutzt wird, als auch in dem von der Simulation genutzten Format OpenDRIVE¹ vorliegen muss. Für diesen Zweck wurden während des Berichtszeitraums am Institut für Regelungstechnik eine Reihe von Werkzeugen entwickelt. Anhand des Beispiels des Verkehrsübungsplatzes Braunschweig² soll dieser Prozess im Folgenden beschrieben werden.

¹www.opendrive.org, abgerufen am 17.09.2018.

²www.vp-bs.de, abgerufen am 17.09.2018.



Abbildung 5.1: Darstellung des Reflektanzgitters des Verkehrsübungsplatzes

Der erste Schritt bei der Erstellung einer Karte für die Simulation ist die Modellierung des Straßennetzes in dem vom Projekt Stadtpilot genutzten Format. Hierfür werden hochgenaue Luftbilder des Gebiets, in dem sich die Strecke befindet, verwendet. Diese sind aktuell jedoch nur für den Braunschweiger Stadtring und nicht für den Verkehrsübungsplatz vorhanden. Um dennoch Karten von Gebieten erstellen zu können, von denen keine Luftbilder verfügbar sind, wurde ein Programm entwickelt, welches die Bodendaten des mithilfe eines Laserscanners erstellten Reflektanzgitters des Versuchsträgers Leonie extrahiert.³ Diese Bodendaten enthalten alle für die Erstellung der Karte nötigen Informationen und können nahezu äquivalent zu den eigentlich genutzten Luftbildern verwendet werden. Abbildung 5.1 zeigt beispielhaft das Reflektanzgitter des Verkehrsübungsplatzes.

³Dieses Fahrzeug ist mit einem Velodyne HDL-64-S2 ausgestattet.

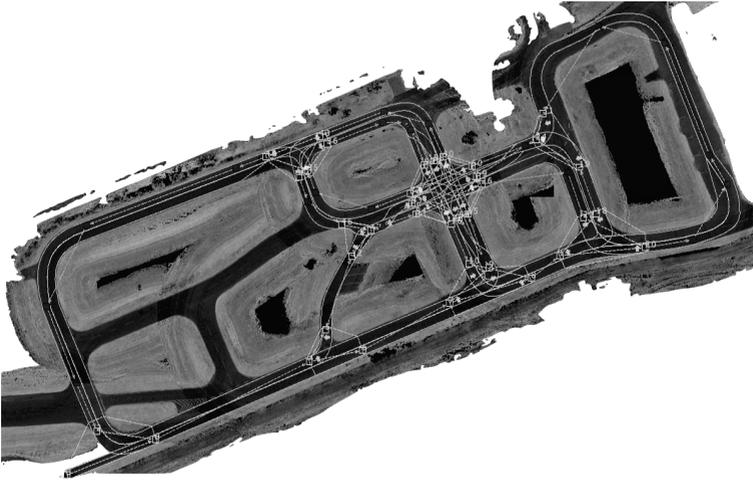


Abbildung 5.2: Manuell erstellte hochgenaue Karte des Verkehrsübungsplatzes

Da in den Bodendaten des Laserscans die Fahrbahnmarkierungen deutlich zu erkennen sind und die Laserpunkte über die hochgenaue Position des Versuchsträgers⁴ georeferenziert sind, ist es möglich, mithilfe dieser Daten im nächsten Schritt eine hochgenaue Karte zu erstellen. Diese ist für den Verkehrsübungsplatz in Abbildung 5.2 dargestellt.

Aus der erstellten Karte lässt sich das in Abbildung 5.3 gezeigte Kontextmodell des Verkehrsübungsplatzes exportieren. Damit sind nach diesem Schritt alle für die Fahrfunktion benötigten Kartendaten vorhanden. Mit diesen lässt sich mittels eines am Institut für Regelungstechnik entwickelten Konverters die für die Simulation benötigte Karte im OpenDRIVE-Format erzeugen. Abbildung 5.4a zeigt eine Szene auf der konvertierten Karte in der Simulationsumgebung. Abbildung 5.4b zeigt die zugehörige reale Kreuzung auf dem Verkehrsübungsplatz, die von einer Kamera des Versuchsträgers Leonie aufgenommen wurde.

⁴Die Position des Versuchsträgers wurde mittels einer iMAR iTrace-F200 bestimmt.

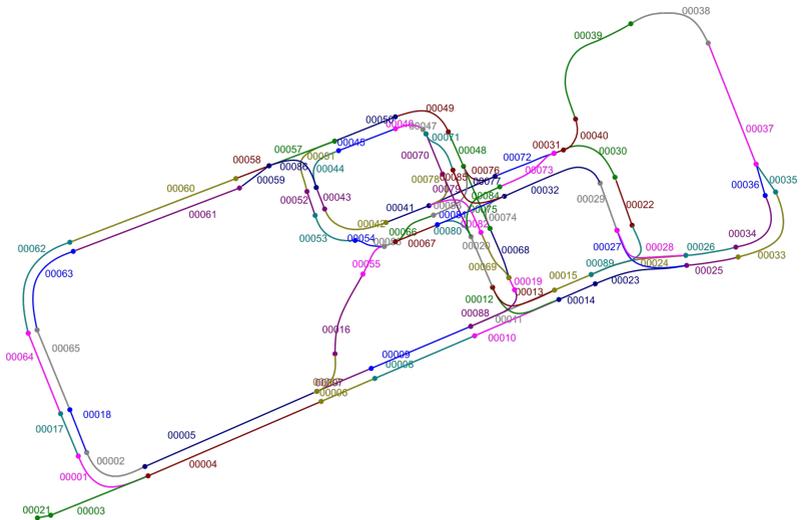


Abbildung 5.3: Kontextmodellierung des Verkehrsübungsplatzes im Format des Projekts StadtPilot



(a) Simulierte Umwelt



(b) Reale Umwelt

Abbildung 5.4: Darstellung einer Szene auf der erzeugten Karte in der Simulationsumgebung (a) mit der zugehörigen realen Kreuzung des Verkehrsübungsplatzes, aufgenommen von einer Kamera des Versuchsträgers Leonie (b)

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

von Markus Steimle & Torben Stolte

Arbeitsstellen kürzerer Dauer auf Seitenstreifen von Autobahnen (z. B. die Mahd des Seitenstreifens, das Säubern von Leitpfählen und das Kehren des Seitenstreifens) stellen für die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Straßenbetriebsdiensts ein besonderes Unfallrisiko dar. Im Vergleich zu anderen Berufszweigen ist die Wahrscheinlichkeit, an einem Unfall beteiligt zu sein, für die Mitarbeiterin oder den Mitarbeiter in dem Fahrzeug, das die Arbeitsstelle gegen den fließenden Verkehr absichert, rund 13-mal höher. Ziel des im Juli 2018 abgeschlossenen Projekts *Automatisch fahrerlos fahrendes Absicherungsfahrzeug für Arbeitsstellen auf Autobahnen* (aFAS) war es daher, ein Absicherungsfahrzeug zu entwickeln, das in der Lage ist, eine Arbeitsstelle kürzerer Dauer auf dem Seitenstreifen einer Autobahn automatisiert und ohne menschliche Überwachung abzusichern.

Die Projektziele umfassen Aspekte sowohl aus Perspektive des Straßenbetriebsdiensts als auch zur Forschung im Bereich der Fahrzeugautomatisierung. Aus Sicht des Straßenbetriebsdiensts war es das Ziel, die Sicherheit für die Straßenbetriebsdienstmitarbeiterinnen und -mitarbeiter zu erhöhen, die bisher während der Durchführung der

Arbeitsstelle im Absicherungsfahrzeug Platz nehmen. Aus Sicht der Forschung zum automatisierten Fahren sollte anhand eines definierten Anwendungsfalls erstmals der vollautomatisierte Betrieb eines Fahrzeugs im öffentlichen Straßenverkehr in Deutschland demonstriert werden. Das Projekt mit einer Laufzeit von vier Jahren (August 2014 bis Juli 2018) wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie mit insgesamt ca. 3,4 Mio. Euro gefördert und gemeinsam mit den vier Industriepartnern MAN, WABCO, ZF TRW und Bosch Automotive Steering sowie dem Straßenbetriebsdienst des Landes Hessen „Hessen Mobil“, der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) und der Hochschule Karlsruhe durchgeführt.

Aus Forschungsperspektive lag ein besonderer Schwerpunkt des Projekts auf den Sicherheitsbetrachtungen für den automatisierten Betrieb des Fahrzeugs auf dem Seitenstreifen. Im Rahmen des Projekts wurden am Institut für Regelungstechnik die Sicherheitsbetrachtungen für die Gesamtfahrzeugebene durchgeführt sowie die Sicherheitsaktivitäten aller Partner koordiniert. In den vorherigen Jahresberichten konnte an dieser Stelle vor allem von Aktivitäten aus der Konzeptphase eines Entwicklungsprozesses berichtet werden, die in Anlehnung an die Norm ISO 26262 erfolgten. Zum Projektende hingegen konzentrierten sich die Aktivitäten auf die Systemverifikation und Sicherheitsvalidierung.

Dazu wurde das im letzten Berichtszeitraum begonnene Testkonzept zur Systemverifikation im Kontext der funktionalen Sicherheit finalisiert. Auf Basis dieses Testkonzepts wurde die Testspezifikation erstellt und somit relevante Testfälle abgeleitet, die mit den Projektpartnern diskutiert wurden. Wie im vorherigen Jahresbericht berichtet, konnte eine Durchführung der Testfälle in der Simulation aufgrund fehlender validierter Simulationsmodelle nicht angewendet werden, weshalb eine Durchführung in Fahrversuchen erforderlich war. Die notwendi-

gen Testfälle wurden deshalb auf einem gesperrten Autobahnabschnitt sowie der Strecke für die Demonstrationsfahrt, die im Rahmen der nachfolgend beschriebenen Schlussveranstaltung abgehalten wurde, durchgeführt. Dies stellte einen wichtigen Schritt zur Freigabe der fahrerlosen Demonstrationsfahrt im Projekt dar.

Das Highlight zum Ende des Projekts war die Abschlussveranstaltung in Frankfurt am 20. Juni 2018. Vor zahlreichen interessierten Gästen aus unterschiedlichen Bereichen wurden die Ergebnisse des Projekts aus Sicht aller Projektbeteiligten präsentiert. Höhepunkt war die Demonstration des fahrerlosen Betriebs eines Absicherungsfahrzeugs auf dem Seitenstreifen der vielbefahrenen Autobahn A3 in der Nähe des Frankfurter Flughafens. Ein Video kann unter dem in Abbildung 6.1 angegebenen Link aufgerufen werden.



https://youtu.be/8BUWjRs3n_w

Abbildung 6.1: Link zum Youtube-Video der fahrerlosen Fahrt auf der A3 während der aFAS-Abschlussveranstaltung

Mit der Demonstration konnte die Erreichung des wesentlichen Projektziels, des unbemannten Betriebs eines Absicherungsfahrzeugs als Sicherheitsgewinn für die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Straßenbetriebsdiensts, gezeigt werden. Gleichzeitig wurde deutlich, dass sich das Fahrzeug in die Abläufe eines Straßenbetriebsdiensts integrieren lässt, da die Demonstration allein von Mitarbeitern von Hessen Mobil durchgeführt wurde. Entsprechend positiv war die Resonanz aus

den Reihen der anwesenden Straßenbetreiber und deren Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter.

Ein weiteres Projektziel, der vollautomatisierte Betrieb im öffentlichen Straßenverkehr, wurde knapp nicht erreicht, weil eine Sicherheitsanforderung, die Ermittlung der relativen Position des AFA zur linken Seitenstreifenmarkierung, mit der im Projekt verfügbaren Wahrnehmungstechnologie nicht in der notwendigen Sicherheitsintegrität realisiert werden konnte. In der Abschlussdemonstration wurde der fahrerlose Betrieb deshalb aus dem vorausfahrenden Arbeitsfahrzeug überwacht. Von dort hätte durch Betätigen eines Notaus eine Bremsung in den Stillstand angefordert werden können. Nichtsdestotrotz wurde ein umfassendes Sicherheitskonzept für den fahrerlosen Betrieb ohne Überwacher entwickelt und durch ein externes Review durch den TÜV Süd begutachtet, sodass alle Projektpartner von dessen Eignung für den öffentlichen Straßenverkehr überzeugt sind.

Das Projekt aFAS hatte einen großen Einfluss auf die Erforschung automatisierter Fahrzeuge am Institut für Regelungstechnik. Aufbauend auf Erfahrungen zur Funktionalen Sicherheit rund um den Versuchsträger MOBILE (siehe Kapitel 17) hat sich die Sicherheit der Fahrzeugautomatisierung im Laufe der vier Projektjahre als neuer Forschungsschwerpunkt der Arbeitsgruppe Elektronische Fahrzeugsysteme herausgebildet. Dies spiegelt sich in Folgeprojekten wie UNICAR*agil* (siehe Kapitel 13) und insbesondere in der Lehre wieder, in der aFAS als Beispiel zur Diskussion der aktuellen Herausforderungen der Fahrzeugautomatisierung mehrfach aufgegriffen wird.

Abschließend möchten wir allen Projektbeteiligten und dem Projektträger TÜV Rheinland für die konstruktive und erfolgreiche Zusammenarbeit in den vergangenen vier Jahren sowie dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie für die Projektförderung danken.

7 Wertebasierte Verhaltensentscheidung mit der Daimler und Benz Stiftung

von Susanne Ernst

Ethische Aspekte von Verhaltensentscheidungen wurden und werden in den letzten Jahren verstärkt diskutiert, da sie für automatisierte Fahrzeuge über die technologischen Aspekte hinaus eine wichtige Rolle für die gesellschaftliche Akzeptanz spielen.

Gefördert durch die Daimler und Benz Stiftung wurde das Projekt *Wertebasierte Verhaltensentscheidung* im Mai 2016 gestartet, um ethische Aspekte der Verhaltensentscheidung zu untersuchen. Während in der Öffentlichkeit vor allem sogenannte *Dilemmasituationen* mit unvermeidlichem Personenschaden diskutiert wurden, soll in diesem Projekt der Einfluss von ethischen Fragestellungen auf alltägliche Verhaltensentscheidungen betrachtet werden. Das Projekt ist eng verbunden mit den Forschungsaktivitäten auf demselben Gebiet der Arbeitsgruppe von Chris Gerdes, des Dynamic Design Labs an der Stanford University. Diese Gruppe wird unter anderem durch die Daimler AG unterstützt. Zudem soll die Zusammenarbeit zwischen Ingenieuren und Philosophen gestärkt werden, um den interdisziplinären Dialog zu ermöglichen. In diesem Kontext ist vor allem die Ethics and Emerging Sciences Group der California Polytechnic State University San Luis Obispo von Patrick Lin vertreten.

Nachdem im letzten akademischen Jahr in unserer Arbeitsgruppe relevante Werte und dazugehörige Metriken identifiziert wurden, die Einfluss auf Verhaltensentscheidungen haben und bei diesen berücksichtigt werden müssen, schloss sich dieses Jahr eine vertiefte theoretische Diskussion im Rahmen des Oberseminars an. Dabei wurde im Verlauf des Wintersemesters ein Beispielszenario betrachtet, welches unterschiedliche Fragestellungen in diesem Zusammenhang adressiert. In Abbildung 7.1 ist dieses Szenario schematisch dargestellt. Von links nähert sich ein automatisiertes Fahrzeug einem innerstädtischen Fußgängerüberweg. Der relevante Bereich für die Erkennung möglicher Fußgänger mit Querungsabsicht ist durch ein parkendes Fahrzeug verdeckt und schränkt somit das Sichtfeld des Wahrnehmungssystems ein (blau). Ein Ausweichmanöver auf den anderen Fahrstreifen wäre in einer Gefahrensituation nur bedingt möglich, da ein Fahrzeug von rechts auf dem Nachbarfahrstreifen entgegenkommt. Abhängig von den Eingangsdaten und der Auslegung der Verhaltensentscheidung geht das System über die Manöverauswahl mehr oder weniger Risiko im Straßenverkehr ein.

In diesem speziellen Szenario lassen sich so beispielsweise die folgenden Fragen formulieren:

- Wie schnell darf sich ein automatisiertes Fahrzeug diesem Überweg annähern, wenn im nicht sichtbaren Bereich Fußgänger queren wollen?
- Wie entscheidet ein Algorithmus, wenn sich zusätzlich ein entgegenkommendes Fahrzeug auf dem Nachbarfahrstreifen befindet?

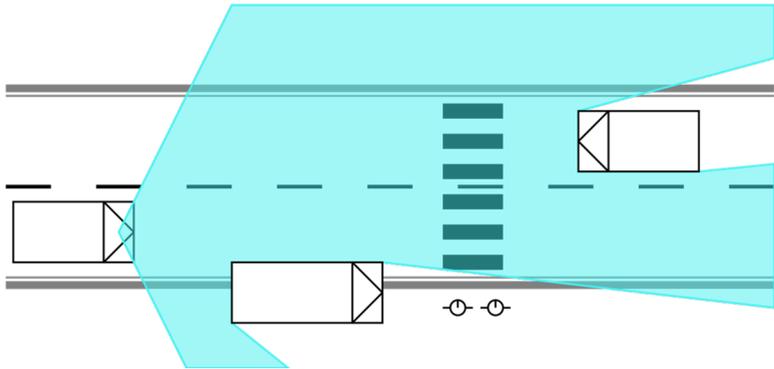


Abbildung 7.1: Beispielszenario, welches im Kontext des Oberseminars näher betrachtet wurde

Bei allgemeinerer Diskussion dieser Aspekte ergeben sich im Hinblick auf die Projektinhalte Fragen, die sich unter anderem auf Unsicherheiten in der Modellierung der Umwelt beziehen:

- Wie werden Unsicherheiten in der Wahrnehmung repräsentiert, die sich einerseits aus Verdeckungen (d. h. fehlenden Informationen) und andererseits aus den stochastischen Abweichungen der Sensormessungen ergeben?
- Wie können diese Unsicherheiten in den Verhaltensentscheidungsalgorithmen berücksichtigt werden?

Basierend auf diesen Betrachtungen wurde im aktuellen Berichtszeitraum begonnen, das Szenario in einer Simulationsumgebung zu implementieren. Dabei liegt der Fokus speziell auf der Repräsentation, der Quantifizierung und der Variation des Risikos. Entsprechende Risikometriken, die Gegenstand aktueller Forschung sind, müssen zu diesem Zweck aus dem Modell des Fahrzeugumfelds berechnet werden. Für die Variation des Risikos in der Verhaltensentscheidung werden dann

Parameter identifiziert, die das externe Verhalten des automatisierten Fahrzeugs beeinflussen können. Abschließend soll das resultierende Verhalten bewertet und verglichen werden.

Zusätzlich zu den theoretischen Untersuchungen wurde eine neu implementierte Verhaltensentscheidung in die Simulationsumgebung integriert. Aktuell werden Anpassungen vorgenommen, um das Framework für die Verhaltensentscheidung modularer und somit für die Entwicklung nachhaltiger zu gestalten.

8 Kooperation mit der AUDI AG – Umfeldrepräsentation und Ver- haltensplanung für automatisier- te Fahrfunktionen

von Frank Dierkes

Das Institut für Regelungstechnik kooperiert seit vielen Jahren mit der Vorentwicklung für automatisierte Fahrfunktionen der AUDI AG. Aktuell werden im Rahmen der Kooperation primär das Verstehen von Verkehrsszenen und die darauf aufbauende Handlungsplanung für automatisierte Fahrzeuge untersucht. Im aktuellen Berichtszeitraum lag der Schwerpunkt auf der Entwicklung von Algorithmen zur Konstruktion von Fahrbahn- und Fahrstreifenhypothesen als Teil des Szenenverständnisses, insbesondere als Basis für die Wahl eines Fahrkorridors.

Die Besonderheit der untersuchten Ansätze liegt in der durchgängigen und expliziten Repräsentation der systeminternen Unsicherheit über das Verständnis der Fahrstreifen in der aktuellen Verkehrsszene. Diese Unsicherheit wird in Form mehrerer konkurrierender und potentiell widersprüchlicher Fahrbahnhypothesen modelliert. In Straßenabschnitten, in denen Fahrbahnmarkierungen vorhanden sind und in denen die Interpretation der Fahrbahnmarkierungen eindeutig ist, genügen einfache Regeln, um die Fahrstreifen und damit die Grundlage für das Verständnis der gesamten Verkehrsszene abzuleiten. Diese

Bedingungen sind jedoch nicht immer gegeben: in Baustellen gelten zwar die temporären Markierungen, sie heben aber nicht automatisch die Gültigkeit aller regulären Markierungen auf; alte Markierungen sind nicht gründlich entfernt worden und können nicht pauschal ignoriert werden, da es sich ebenfalls um abgenutzte, aber weiterhin gültige Markierungen handeln könnte; und wurde eine Fahrbahndecke neu aufgetragen, können selbst auf Autobahnen kurzzeitig Markierungen fehlen.

In diesen Szenarien kann die Gültigkeit von Markierungen und das Verständnis der Fahrstreifen aus dem Kontext aller Markierungen und sonstiger Leitelemente (Bordsteine, Leitplanken, etc.) sowie dem Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer abgeleitet werden. Diese besonderen und fordernden Fälle können selbst für menschliche Fahrer nicht in jedem Fall eindeutig auflösbar sein. Bei aktuellen maschinellen Wahrnehmungssystemen muss zudem davon ausgegangen werden, dass es zu Fehldetektionen kommen kann. Insbesondere die Möglichkeit falsch-negativer Detektionen, das heißt, dass tatsächlich vorhandene Elemente der Straßeninfrastruktur nicht vom System wahrgenommen werden, erhöht die Komplexität der Problemstellung erheblich. Bei der Konstruktion der Fahrbahn- und Fahrstreifenhypothese genügt es nicht, nur Kombinationen wahrgenommener Elemente hinsichtlich ihrer Plausibilität zu bewerten, sondern es müssen auch nicht wahrgenommene, aber möglicherweise vorhandene Elemente berücksichtigt werden.

Im Berichtszeitraum wurden in diesem Zusammenhang insbesondere zwei Aspekte weiterentwickelt. Zum einen wurden Algorithmen untersucht, die in einer gegebenen Menge beliebig angeordneter Linienzüge, die in diesem Kontext unter anderem Fahrstreifenmarkierungen, Leitplankenverläufe oder die Fahrwege anderer Fahrzeuge repräsentieren können, parallele Abschnitte nebenläufiger Linienzüge identifizieren.

Die sich daraus ergebende Struktur dient dann als Basis für die Konstruktion von Fahrstreifen- und Fahrbahnhypothesen. Im Bereich der algorithmischen Geometrie wurden zu dieser Art der Problemstellung bislang keine Ansätze veröffentlicht. Besonders herausfordernd sind hier die Anforderungen an die Echtzeitfähigkeit bei gleichzeitiger Korrektheit und Robustheit der geometrischen Algorithmen.

Zum anderen wurden Ansätze untersucht, um auf Basis der ermittelten geometrischen Beziehungen unter den wahrgenommenen Straßeninfrastrukturelementen Fahrstreifen- und Fahrbahnhypothesen zu konstruieren. Dazu werden abschnittsweise die wahrgenommenen Elemente mit einer Datenbank bekannter und typischer Fahrbahnquerschnitte abgeglichen. Der Abgleich mit Mustern vollständiger Fahrbahnquerschnitte stellt eine Möglichkeit dar, die Plausibilität und Gültigkeit einzelner wahrgenommener Leitelemente im Kontext aller wahrgenommener Leitelemente zu bewerten. Infolge dessen ist es möglich, die Bedeutung bestimmter Bereiche der Fahrbahn abzuleiten, einzelne Markierungen als nicht relevant einzuordnen und zusätzlich Hypothesen über nicht wahrgenommene Elemente aufzustellen. Die Besonderheit gegenüber Ansätzen aus dem Stand der Technik liegt darin, dass es hier nicht das Ziel ist, die zutreffende Fahrbahnhypothese zu schätzen, sondern eine Menge an Fahrbahnhypothesen zu erzeugen, die neben möglicherweise als wahrscheinlicher eingeschätzten Hypothesen auch die zutreffende Fahrbahnhypothese enthält.

Dieser Ansatz soll dazu beitragen, dass die Anforderungen an Wahrnehmungssysteme für automatisierte Fahrzeuge verringert werden können, indem bestimmte Unsicherheiten beim Verständnis einer Verkehrsszene toleriert werden können. Ein Ansatz, wie sichere Fahrkorridore aus solch einer Multi-Hypothesen-Repräsentation abgeleitet werden

können, wird im November 2018 auf der IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC) veröffentlicht werden.

9 Kooperation mit Volkswagen AG – Umfeldwahrnehmung für automatisierte Fahrzeuge

von Felix Grün und Christopher Plachetka

Als Schlüsseltechnologie zur Realisierung automatisierter Fahrfunktionen kommt der Umfeldwahrnehmung eine besondere Bedeutung zu. Insbesondere das komplexe, unstrukturierte Umfeld in urbanen und suburbanen Bereichen mit seiner großen Heterogenität an Verkehrsteilnehmern, seiner Vielfalt möglicher Szenarien und seiner schwer zu interpretierenden Straßentopologie stellt die Erkennungsalgorithmen vor große Herausforderungen.

Um die sichere Bewegung automatisierter Fahrzeuge unter diesen anspruchsvollen Bedingungen zu ermöglichen, werden im Rahmen einer Kooperation mit der Volkswagen AG Methoden zur Erkennung, Klassifizierung und Verfolgung beweglicher Objekten im innerstädtischen Bereich erforscht. Das Ziel der Zusammenarbeit ist es, Algorithmen zur möglichst vollständigen Erfassung und Repräsentation des beweglichen Fahrzeugumfelds basierend auf den räumlich und zeitlich fusionierten Daten mehrerer 3D-Laserscanner zu entwickeln. Hierzu werden geometrische Eigenschaften mit durch Deep Learning gewonnenen semantischen Informationen verschmolzen, um die möglichst verlässliche Erkennung aller Verkehrsteilnehmer zu ermöglichen. Dies erlaubt es dem Fahrzeug, die Stärken von lernenden und regelbasierten

Ansätzen zu nutzen, um kontinuierlich ein lückenarmes Abbild des Fahrzeugumfelds zu generieren.

10 Kooperation mit WABCO – Automatisierung von Arbeitsabläufen auf Betriebshöfen

von Robert Graubohm

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

Erste Datenaufnahmen in der relevanten Betriebshofumgebung erfolgten durch den Versuchsträger *Leonie* aus dem Forschungsprojekt *Stadt-pilot* (siehe Kapitel 5). Dabei wurden zusätzliche Umfeldsensoren zwecks anschließender qualitativer Analyse rückseitig an dem Forschungsfahrzeug angebracht (siehe Abbildung 10.1). Ziel der Analyse war das Auf-



Abbildung 10.1: Einsatz des *Stadtpilot*-Versuchsträgers für die Datenaufnahme

zeigen aufgabenspezifisch erforderlicher Sensormerkmale insbesondere hinsichtlich Auflösung und Reichweite. Vor der Ausstattung des Nutzfahrzeugversuchsträgers mit 3D-Sensorik wurden auf Basis der aufgezeichneten Daten außerdem bereits Wahrnehmungsalgorithmen entwickelt.

Die Ergebnisse dieser Arbeit werden aktuell für die Erprobung eines Anfahrscenarios in einem Versuchsfahrzeug eingesetzt. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf der stabilen Detektion aufgabenspezifisch relevanter Objekte als Eingabewert für eine Verhaltensplanung. Exemplarisch ist in Abbildung 10.2 die Erkennung anzufahrender Objekte während eines Fahrmanövers dargestellt.

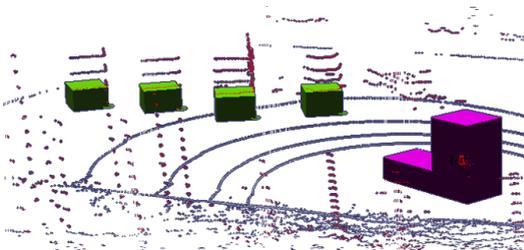


Abbildung 10.2: Wiedergabe erkannter Objekte in der Fahrzeugumgebung

Im Zuge der Zusammenarbeit werden auch verschiedene Konfigurationen hinsichtlich Anzahl, Position und Orientierung von 3D-Sensorik auf Nutzfahrzeugen evaluiert. Die praxisnahe Untersuchung verschiedener Sensorikausstattung erlaubt Aussagen über die Erfüllung spezifischer Anforderungen durch unterschiedliche Systemlösungen.

11 Digitaler Knoten 4.0

von Susanne Ernst

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

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

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



Abbildung 11.1: Versuchsträger des Instituts für Regelungstechnik, die im Digitalen Knoten 4.0 an einer Demonstrationsfahrt teilnehmen. Von links nach rechts: Leonie, Referenzsensorik ("RefSens") und Vehicle-in-the-Loop ("ViL")

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

Konzepte und Methoden zum Datenaustausch, die Entwicklung von kooperativen, vernetzten Fahrzeugfunktionen und mögliche Optimierungsstrategien des Verkehrs werden zusammen mit den Projektpartnern aus der Industrie (Volkswagen, AVL Software and Functions, OFFIS, TRANSVER, NordSys, OECON) und den Forschungseinrichtungen des DLR und der Technischen Universität Braunschweig betrachtet.

Das Institut für Regelungstechnik beteiligt sich hier unter anderem an der Szenariendefinition und der Ableitung der daraus resultierenden Anforderungen, der Entwicklung von Kooperationskonzepten und stellt seine Versuchsträger mit angepasster Umfeldwahrnehmung und der im Projekt Stadtpilot genutzten Fahrfunktion zur Verfügung. Die entwickelten Ansätze werden praktisch umgesetzt und in abschließen-

den Demonstrationen an ausgewählten Kreuzungen in Braunschweig gezeigt.

Das Institut für Regelungstechnik nimmt in diesem Zusammenhang Mitte nächsten Jahres mit den Versuchsträgern Leonie, ViL und RefSens (Abbildung 11.1) an einer Demonstrationsfahrt teil, bei der ein Anwendungsfall im Realverkehr gezeigt werden soll. Dafür wurden die Versuchsträger dieses Jahr mit Kommunikationsmodulen der NordSys ausgestattet und die externen relevanten Informationen über diese Schnittstelle in das Softwareframework der Versuchsträger eingebunden. Im weiteren Projektverlauf wird die Verarbeitung und Interpretation dieser von extern erhaltenen Daten überprüft und getestet. Außerdem wird die bestehende Umfeldwahrnehmung des Projekts Stadtpilot im Hinblick auf das reale Kreuzungsszenario analysiert und potentielle Anpassungen identifiziert und durchgeführt.

Neben den praktischen Arbeiten an den Versuchsträgern wurden theoretische Ansätze wie Konzepte zur Repräsentation der benötigten funktionalen Module automatisierter Fahrzeuge und der Infrastruktur bei der Umsetzung von Kooperation an einer innerstädtischen Kreuzung diskutiert und entwickelt.

12 Elderly People Intersection Crossing Assist (EPICa)

von Jan Richelmann

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

Innerhalb des Projekts werden Funktionen entwickelt, die dem Fahrer unterschiedliche Unterstützungsgrade zur Verfügung stellen. Diese reichen von einer automatisierten Fahrstreifenwahl bei der Anfahrt auf eine Kreuzung bis hin zum automatisierten Linksabbiegen bei Gegenverkehr. Im Verlauf des letzten Jahres wurde die Fahrfunktion des automatisierten Fahrzeugs für das automatisierte Durchfahren einer durch eine Lichtsignalanlage gesteuerten Kreuzung erweitert. Der Fahrer hat die Möglichkeit, die Fahraufgabe zeitweise dem entwickelten System zu übertragen. Das Fahrzeug kann anschließend den menschlichen Fahrer zum Beispiel unterstützen, indem es bei der Anfahrt auf die Kreuzung automatisiert auf den richtigen Fahrstreifen wechselt.



Abbildung 12.1: Vehicle-in-the-Loop Versuchsträger des Instituts für Regelungstechnik

Die innerhalb dieses Projekts entwickelte Fahrfunktion soll abschließend in einer Demonstration unter Nutzung des Vehicle-in-the-Loop Versuchsträgers (Abbildung 12.1) gezeigt werden. Um bereits in der derzeitigen Entwicklungsphase das System testen zu können, wurde ein Ausschnitt des Braunschweiger Stadtrings, mittels des in Kapitel 5 im Kontext des Projekts Stadtpilot beschriebenen Verfahrens, in eine Simulationsumgebung überführt. Die so erzeugte Karte kann außerdem zu einer Demonstration des Systems im Vehicle-in-the-Loop genutzt werden.

Bereits dieses Jahr wurde dieses Versuchsfahrzeug auf der „Digital / Analogue“¹ Messe in Hildesheim ausgestellt. Die zahlreichen zu dieser Veranstaltung erschienenen Lehrer, Schüler sowie Unternehmensver-

¹www.digital-analogue.de, abgerufen am 17.09.2018.

treter aber auch Privatpersonen ließen sich begeistert die Funktion des Fahrzeugs und den Einsatz im Projekt sowie die Idee des Projekts EPICa vorstellen.

13 UNICARagil

von Inga Jatzkowski und Torben Stolte

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

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

- AUTOfaxi: Automatisiertes Taxi
- AUTOfelke: Automatisiertes Fahrzeug im Besitz einer Familie, das generationsübergreifenden Anforderungen gerecht wird
- AUTOfelker: Lieferfahrzeug inklusive der notwendigen Handhabungstechnik, das automatisiert Pakete ausliefert

- **AUTOshuttle**: Automatisiertes Fahrzeug für den Personennahverkehr

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

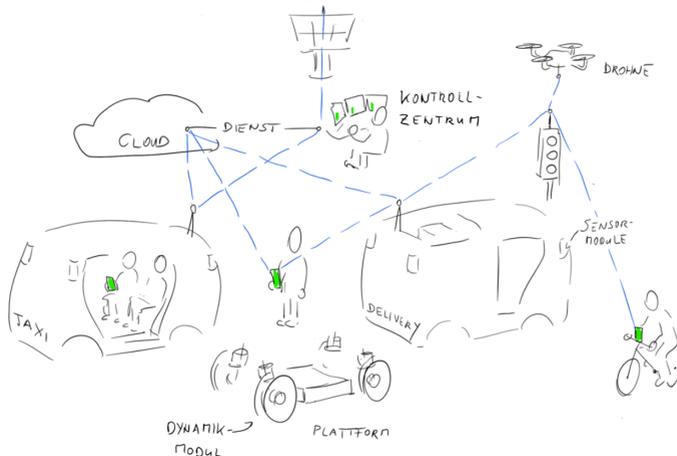


Abbildung 13.1: Skizze des Gesamtkonzepts des Projekts UNICARagil ©ika, Eckstein

Die Projektumfänge des Instituts für Regelungstechnik sind in zwei wesentliche Bereiche unterteilt. Der erste Bereich umfasst die Entwicklung des Fahrzeugs im Anwendungsfall *AUTOelfe*. Da die *AUTOelfe* als automatisiertes Fahrzeug im Familienbesitz konzipiert ist, ergibt sich die Anforderung, dass alle Familienmitglieder (Kinder, Eltern, Großeltern) die *AUTOelfe* gleichermaßen nutzen können. Ziel ist somit die Entwicklung eines generationsübergreifenden Nutzungskonzepts für dieses Fahrzeug, welches die besonderen Bedürfnisse unterschiedlicher Lebensphasen berücksichtigt. Hierzu gehört etwa die Mitnahme von Kinderwagen, Fahrrad, Rollator oder Rollstuhl. Damit eröffnen sich den Familienmitgliedern im Vergleich zu heute neue Möglichkeiten der Mobilität. So können die Eltern während der Fahrt zur Arbeit persönliche Dinge erledigen. Die Kinder und Großeltern sind gleichzeitig nicht mehr auf die Hilfestellung anderer Personen angewiesen, um ihr Mobilitätsbedürfnis zu erfüllen. Neben einer möglichst nahtlosen Integration des Fahrzeugs in den Alltag der Familie liegt deshalb ein besonderer Fokus auf dem Fahrzeugzugang und der Innenraumgestaltung.

Der zweite am Institut für Regelungstechnik betrachtete Bereich ist die Sicherheit der Fahrzeuge. Der Schwerpunkt liegt auf der Entwicklung eines Sicherheitskonzepts für die automatisierte Fahrfunktion. Die Betrachtungen gehen aufbauend auf den Erfahrungen aus dem Projekt *aFAS* (siehe Kapitel 6) über den Fokus der „funktionalen Sicherheit“ der ISO 26262 hinaus. Zentrale Herausforderungen liegen in den inhärenten Unsicherheiten des automatisierten Fahrens, die aus der Umfeldwahrnehmung, der Prädiktion des Verhaltens anderer Verkehrsteilnehmer, unvollständigen Anforderungen sowie einer begrenzten Testtiefe stammen. Einen wesentlichen Beitrag zum geplanten Sicherheitskonzept liefert die Selbstwahrnehmung, in der über eine Aggregation von Qualitätsmaßen der einzelnen Systemkomponenten

die aktuellen Fähigkeiten des Fahrzeugs ermittelt werden sollen. Diese kann anschließend von anderen Systemkomponenten genutzt werden, um das Fahrzeugverhalten an die aktuellen Fähigkeiten des Fahrzeugs anzupassen.

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

Nachdem im Jahr 2018 bereits grundlegende Entscheidungen über die Gestaltung des Fahrzeugs getroffen wurden, soll im kommenden Jahr die Ausgestaltung des Fahrzeugs vorangetrieben werden. Die Fertigstellung der Hardware wird für das Jahr 2021 angestrebt. Daran schließt sich eine Erprobungsphase an. Spätestens bis zum Ende des Projektes Anfang 2022 soll die AUTO*elfe* zusammen mit den drei anderen UNICAR*agil*-Fahrzeugen der Öffentlichkeit präsentiert werden und dieser einen Ausblick auf den Individualverkehr der Zukunft geben.

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

14 Automatisiertes Fahren im Mischverkehr (AFiM)

von Susanne Ernst

Mit der Einführung des automatisierten Fahrens werden maschinell gesteuerte Systeme in den Straßenverkehr eingebracht und dort mit menschlichen Verkehrsteilnehmern interagieren. Des Weiteren wird der öffentliche Raum schon jetzt von unterschiedlichen Gruppen genutzt, so teilen sich vor allem Fußgänger, Fahrradfahrer und Fahrzeuge die Straßen und Wege in städtischer Umgebung. Automatisierte Fahrzeuge müssen sich in diesen Mischverkehr harmonisch einfügen und in komplexen Szenarien relevante Randbedingungen berücksichtigen. Laut dem Bericht der Ethikkommission¹ ist die Technologie des automatisierten Fahrens unter anderem nur einzuführen, wenn die Schäden im Vergleich zu der aktuellen menschlichen Fahrleistung im Sinne einer positiven Risikobilanz verringert werden. Mit dieser Anforderung müssen die objektive und gefühlte Verkehrssicherheit auf einem gleichwertigen oder höheren Niveau als aktuell liegen. Gleichzeitig darf die Mobilität der Verkehrsteilnehmer unter dem Gesichtspunkt der Sicherheit nicht zu stark limitiert werden.

Das Ziel des Forschungsvorhabens ist die Untersuchung und Beurteilung der Wechselwirkung zwischen dem Risiko der Fahrfunktion automatisierter Fahrzeuge und der Leistungsfähigkeit von typischen

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

innerstädtischen Verkehrsnetzen. Dazu werden die Interaktionen zwischen Fußgängern, Radfahrern und automatisierten Fahrzeugen im urbanen Mischverkehr analysiert. Gefördert vom Bundesministerium für Verkehr und Infrastruktur (BMVI) und in Zusammenarbeit mit Instituten der Technischen Universität Braunschweig und der Leibniz Universität Hannover werden im Projektzeitraum drei Teilaufgaben betrachtet, die folgende Herausforderungen adressieren:

1. Modellierung von Mischverkehr mit Integration einer automatisierten Fahrfunktion.
2. Adaption einer Fahrfunktion eines automatisierten Fahrzeugs zur Variation des resultierenden Risikos.
3. Analyse und Bewertung von unterschiedlichen Risikograden im Hinblick auf die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems Straßenverkehr.

Das Institut für Regelungstechnik beteiligt sich zunächst an der Definition und Untersuchung relevanter Szenarien. Dies beinhaltet die Betrachtung von wichtigen Knotenpunkten und Querungen sowie typische kritische Interaktionen, die grundlegendes Gefährdungspotential aufweisen. Basierend auf den definierten Szenarien werden anschließend Daten mit Hilfe des Referenzsensorikprüfstands aufgenommen und aufbereitet, um diese im späteren Projektverlauf in einer Simulationsumgebung nutzbar zu machen.

Zudem wird die im Projekt Stadtpilot genutzte Fahrfunktion an die Anforderungen der definierten Szenarien angepasst. Dafür werden unter anderem Parameter in der Fahrfunktion identifiziert und implementiert, die Einfluss auf das von der Fahrfunktion ausgehende Risiko haben. Diese Parameter werden im Anschluss genutzt, um das Risiko, welches durch das automatisierte Fahrzeug in das Verkehrssystem

eingebraucht wird, zu variieren. Durch die Variation des Risikos wird eine Änderung der Leistungsfähigkeit des Verkehrssystems erwartet. Dieser Zusammenhang soll zusammen mit dem Institut für Verkehr und Stadtbauwesen der TU Braunschweig in einer mikroskopischen Simulationsumgebung untersucht werden.

Die Fahrfunktion wird anschließend im Versuchsträger "Vehicle-in-the-loop" (ViL) appliziert, um das subjektive Risiko aus der Sicht der Nutzer mit dem objektiven Risiko der Analysen zu vergleichen. Dies geschieht mit dem Hintergrund, dass ein programmiertes Verhalten von einer Person an Bord des ViL-Fahrzeugs erlebt und bewertet werden kann. Das ViL-Fahrzeug bietet die Möglichkeit, dies gefahrlos in einem echten Fahrzeug mit virtueller Umgebung durchzuführen. Die Fahrversuche sollen verifizieren, wie sich die Variation des in der Simulation ermittelten Risikos im Realfahrzeug anfühlt und Rückschlüsse auf einen aus Sicht der Insassen akzeptablen Grenzwert erbringen. Um diesen ergonomischen Aspekt mit der notwendigen Expertise zu beleuchten, werden diese Untersuchungen in Zusammenarbeit mit dem Institut für Ingenieur- und Verkehrspsychologie der TU Braunschweig durchgeführt.

15 Szenarienbasierter Test- und Freigabeprozess

von Till Menzel

Bei aktuell am Markt erhältlichen Fahrzeugführungssystemen ist die Fahrerin bzw. der Fahrer für die Überwachung der Systeme und somit für die Fahraufgabe verantwortlich. Mit steigendem Automatisierungsgrad wird diese Verantwortung zukünftig an die Fahrfunktion übergeben, sodass der Fahrer bzw. die Fahrerin (zeitweise vollständig) von der Überwachung des Systems entbunden wird. Für die Freigabe hochautomatisierter Fahrfunktionen legt dieser Prinzipienwandel einen Vergleich der Güte menschlicher Fahrerinnen bzw. Fahrer und automatisierter Fahrzeugführungssysteme nahe. Zu diesem Zweck werden Metriken und Methoden zur Bestimmung der Güte benötigt, die hochautomatisierte Fahrfunktionen erfüllen müssen.

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

Die dargestellten Herausforderungen lassen sich in zwei Forschungsfragen zusammenfassen:

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

Aufbauend auf den Vorarbeiten von Fabian Schuldt verfolgt das Institut für Regelungstechnik einen szenarienbasierten Test- und Freigabeprozess. Hierbei sollen auftretende Betriebsszenarien einer Fahrfunktion mit unterschiedlichen Datenquellen, wie Feldstudien oder Expertenwissen, identifiziert und dokumentiert werden. Die identifizierten Szenarien werden als Grundlage für den Test sowie den Vergleich der Güte der Fahrfunktion mit der menschlichen Leistungsfähigkeit herangezogen.

Mit den Forschungsergebnissen unterstützt das Institut für Regelungstechnik im Rahmen von bilateralen Beauftragungen der Volkswagen AG, der AUDI AG sowie der Robert Bosch GmbH drei Kooperationspartner aus dem PEGASUS¹-Konsortium. Das Institut für Regelungstechnik hat dadurch die Möglichkeit, zusammen mit den bilateralen Projektpartnern einen Beitrag zu einem herstellerübergreifenden einheitlichen Prozess für die Freigabe automatisierter Fahrfunktionen zu leisten und prototypisch als Werkzeugkette umzusetzen.

Der Schwerpunkt der Arbeiten des Instituts für Regelungstechnik lag im Berichtszeitraum auf einer automatisierten wissensbasierten Szenariengenerierung, der Zuordnung von Testfällen auf unterschiedliche Prüfstände sowie der Validierung von Sensormodellen für den simulativen Test.

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

Für die szenarienbasierte Freigabe automatisierter Fahrfunktionen müssen die Szenarien von Beginn des Entwicklungsprozesses dokumentiert und während des Prozesses nachvollziehbar detailliert und variiert werden. In aktuell eingesetzten Entwicklungsprozessen, wie dem Entwicklungsprozess der Norm ISO 26262, können in einigen Prozessschritten szenarienbasierte Sichtweisen genutzt werden, um die geforderten Arbeitsergebnisse zu erstellen. Hierzu hat das Institut für Regelungstechnik Anforderungen an die Darstellungsform von Szenarien für die unterschiedlichen Prozessschritte der Norm ISO 26262 abgeleitet. Auf Basis der Anforderungen hat das Institut für Regelungstechnik einen Prozess erarbeitet, wie Szenarien entlang des Entwicklungsprozesses in unterschiedlichen Beschreibungsformen definiert, detailliert und konkretisiert werden können. Die erarbeiteten Methoden entlang der identifizierten Abstraktionsebenen hat das Institut für Regelungstechnik prototypisch umgesetzt.

Bei einer „klassischen“ Szenariengenerierung auf Basis von Expertenwissen können keine Aussagen über die Vollständigkeit der identifizierten Szenarien getroffen werden. Daher hat das Institut für Regelungstechnik einen Ansatz entwickelt, Expertenwissen zu formalisieren und den Erstellungsprozess auf Basis dieses modellierten Wissens zu automatisieren. Dieses Vorgehen hat die Vorteile, dass alle Annahmen über das Einsatzgebiet des Fahrzeugführungssystems explizit modelliert werden und die Vollständigkeit der erstellten Szenarien (zumindest) gegenüber dem modellierten Wissen ermittelt werden kann.

Die auf diese Weise erstellten Szenarien sind sprachlich beschrieben und werden im Schritt der Szenariendetaillierung in eine Parameter-raumdarstellung überführt. Die Parameterraumdarstellung modelliert den Aufbau und Ablauf des Szenarios auf Parameterebene. Hierzu werden die Variablen des Szenarios sowie die Abhängigkeiten zwischen den

Variablen dokumentiert. Ausgehend von der Parameterraumdarstellung werden die Szenarien in die für die Simulation genutzten Formate OpenDRIVE² und OpenSCENARIO³ konvertiert. Mithilfe dieses Ansatzes konnte das Institut für Regelungstechnik automatisiert über 100.000 in der Simulation ausführbare Szenarien für deutsche Autobahnen mit nachvollziehbarem Inhalt generieren.

Die Parameterraumdarstellung soll im Projekt PEGASUS zusätzlich mit statistischen Verteilungen der Parameter hinterlegt werden. Hierfür hat das Institut für Regelungstechnik ein Format abgestimmt, das die für den simulativen Test genutzten Formate OpenDRIVE und OpenSCENARIO um eine Parameterraumdarstellung sowie eine statistische Beschreibung der Parameterverteilungen erweitert. Diese Darstellung dient als Ausgangspunkt für die Testfallvariation und bietet stochastischen Verfahren eine Datengrundlage, um eine repräsentative Menge an Testfällen aus jedem Szenario abzuleiten.

Für die Ableitung von repräsentativen Testfällen wurde ein Werkzeug implementiert, das Szenarien im spezifizierten Format einlesen und den modellierten Parameterraum inklusive statistischer Verteilungen visualisieren kann. Über eine grafische Benutzeroberfläche können Testfälle manuell und automatisiert erzeugt und in die Formate für die Simulation exportiert werden. Dieses Werkzeug ermöglicht somit eine umfangreiche Variation der im vorherigen Prozessschritt erstellten Szenarien.

Die generierten Testfälle müssen anschließend den Prüfständen, auf denen sie durchgeführt werden sollen, zugewiesen werden. Je nach Anforderungen des Testfalles (beispielsweise eine im Bereich von 0 m/s^2 bis 3 m/s^2 valide abzubildende Querdynamik) müssen Prüfstandskonfi-

²<http://www.opendrive.org>, abgerufen am 17.09.2018.

³<http://www.openscenario.org>, abgerufen am 17.09.2018.

gurationen ermittelt und hinsichtlich ihrer Effizienz bewertet werden. Hierzu hat das Institut für Regelungstechnik einen Ansatz zur Klassifikation von Anforderungen der Testfälle an Prüfständen sowie einen Ansatz zur Zuordnung von Testfällen zu Prüfständen erarbeitet.

Prüfstände können sowohl reale als auch simulative Komponenten beinhalten. Damit die Simulation im Rahmen der Freigabe hochautomatisierter Fahrzeugführungssysteme eingesetzt werden kann, muss eine Validierung der eingesetzten Simulationsmodelle durchgeführt werden. Ziel der Validierung ist es, nachzuweisen, dass die Modelle die Realität für den Einsatzzweck geeignet abbilden. Dieser Nachweis ist nur unter der Berücksichtigung der Betriebsszenarien möglich.

Das Institut für Regelungstechnik hat sich im Rahmen von PEGASUS auf Ansätze zur Validierung von Sensormodellen fokussiert. Dazu wurde im Projekt bei der Identifikation von Anforderungen an Sensormodelle sowie der Identifikation von Anforderungen und technischen Herausforderungen an einen Validierungsprozess für Sensormodelle mitgewirkt.

16 Controlling Concurrent Change (CCC)

von Marcus Nolte

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

¹<http://www.ccc-project.org>

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

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

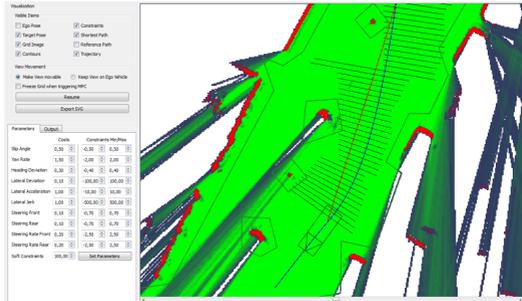


Abbildung 16.1: Bild aus dem erstellten Modul zur Trajektorienplanung

Im vergangenen Berichtszeitraum lag der Schwerpunkt auf der Realisierung eines Trajektorienplanungs- und regelungsframeworks für die Realisierung des Anwendungsfalls „automatisiertes Ausweichen“ (siehe Abbildung 16.1). Basierend auf den im *Stadtpilot* entwickelten Umfeldwahrnehmungsalgorithmen, wurden ausgewählte Elemente, vor allem zur Wahrnehmung des statischen Umfelds, aus der ADTF-basierten *Stadtpilot*-Verarbeitungskette in die Genode-OS-basierte² Projekt-Middleware portiert. So können die von den anderen Projektpartnern entwickelten Rekonfigurationsmechanismen in einem aktuellen Umfeldwahrnehmungssystem demonstriert werden.

Gleichzeitig wurde von den Projektpartnern ein Monitoring-Framework entwickelt, das eine effiziente Schnittstelle auf Middleware-Ebene bereitstellt, um die Systemleistung während des Betriebs überwachen zu können. Zu diesem Zweck wurden vergangenen Berichtszeitraum Verfahren zur Qualitätsüberwachung von Kamerabildern (speziell Überblendung) und der Trajektorienregelung evaluiert. Ziel bis zum Projektende im März 2019 ist hier die Integration der Überwachungsalgorithmen in das oben erwähnte Monitoring-Framework.

²<https://www.genode.org>

Ende März 2019 sollen die Projektergebnisse im Rahmen eines Workshops auf der *Design, Automation and Test in Europe (DATE)* präsentiert werden.

17 MOBILE

von Robert Graubohm

Im Rahmen des Projekts MOBILE wurde am Institut für Regelungstechnik ein vollelektrischer und vollständig über By-Wire-Systeme kontrollierter Fahrzeugprototyp aufgebaut. Das Fahrzeug MOBILE (siehe Abbildung 17.1) dient als leistungsfähige Versuchsplattform zur Erprobung elektronischer Fahrzeugsysteme und vollelektrischer Antriebskonzepte. Ein weiteres Ziel des Projekts ist die Ausbildung von Studierenden im Bereich Elektromobilität mit Schwerpunkt bei der Hochvoltsicherheit in elektrischen Fahrzeugen.



Abbildung 17.1: Versuchsträger MOBILE

Das Aktorikkonzept des Versuchsträgers bietet besondere Freiheitsgrade. Jedes Rad des Fahrzeugs verfügt über einen elektrischen Einzelradantrieb, eine elektrische Einzelradlenkung sowie eine elektromecha-

nische Bremse. Die dafür benötigte By-Wire-Ansteuerung wird über einen FlexRay-Backbone realisiert, das die wesentlichen Steuergeräte im Fahrzeug verbindet. Lokal werden hauptsächlich CAN-Busse eingesetzt. Die verwendeten Steuergeräte sind Eigenentwicklungen und können mit Hilfe einer modellbasierten Werkzeugkette programmiert werden. Daher ist die gesamte Software im Fahrzeug bekannt.

Im Berichtszeitraum wurden Maßnahmen zur Erhöhung der Robustheit des Fahrzeugs im Versuchsbetrieb getroffen. So erfolgte die Integration elektromechanischer Bremsen einer neuen Generation an den Vorderrädern des Fahrzeugs. Das Bremssystem der Vorderachse und seine Ansteuerung weisen dadurch wesentliche Merkmale eines Fail-Operational-Systems auf:

- dreifach redundante Abfrage des Bremspedals,
- redundante FlexRay-Kommunikation des Bremssignals an Steuergerät der Vorderachse,
- parallele redundante CAN-Schnittstellen je Bremse,
- zweifach redundante Spannungsversorgung je Bremse und
- mögliche Nutzung eines PWM-Signals zwischen Bremspedal und Bremsen als zusätzliche Rückfallebene

Darüber hinaus wurde die Leistungselektronik der Lenkantriebe ausgetauscht, um die maximale Dauerstrommenge zu erhöhen. Zuvor erfolgte eine Strombegrenzung, die situativ die darstellbaren Lenkkräfte unter ein notwendiges Maß reduzierte.

Außerdem konnte die nach Ergänzung von Inertialsensoren und Umfeldsensoren erforderlich gewordene Anpassung der Spannungsverteilung im Fahrzeug weitestgehend abgeschlossen werden. Eine zentral positionierte Bedieneinheit erlaubt nun das individuelle Zuschalten

von Systemen wie Sensorik oder Funktionsrechner. Insgesamt wurde durch die neuen Maßnahmen ein umfassender Fahreinsatz des Versuchsträgers im vergangenen Jahr ermöglicht.

Im Hinblick auf das Ziel eines automatisierten Betriebs des Versuchsträgers erfolgte eine Integration einer dSPACE MicroAutoBox II. Die Implementierung einer Längs- und Querregelung für ein überaktuiertes Fahrzeug ist aktueller Entwicklungsgegenstand. Aus Vorarbeiten steht ein Fahrdynamikmodell für die Simulation des Fahrverhaltens von MOBILE zur Verfügung. Durch studentische Beiträge erfolgte im vergangenen Jahr beispielsweise eine Modellidentifikation des Fahrzeugs. Außerdem wurde das Fahrzeugmodell in die Simulationsumgebung CarMaker von IPG Automotive eingebunden.

Die Möglichkeit, in Zukunft automatisierte Manöver mit MOBILE darzustellen, führte zu einer Erweiterung der Gefährdungsbeurteilung für den Versuchsbetrieb. Ergebnisse hiervon wurden in Teilen in einem angepassten Sicherheitskonzept erfasst und umgesetzt. Beispielsweise wurde die Funktionalität der Mensch-Maschine-Schnittstelle erweitert, um das Übersteuern der automatisierten Fahrzeugführung durch einen Menschen zu ermöglichen.

In Zukunft soll der Ladeprozess der Energiespeicher weiterentwickelt werden. Insbesondere ist eine Anpassung der Schnittstelle der Batteriesensoren vorgesehen, die sicherstellt, aktuelle Daten individueller Zellen während des Ladevorgangs berücksichtigen zu können. Des Weiteren ist die Vorbereitung der Abschlussdemonstration des Projekts Controlling Concurrent Change (siehe Kapitel 16) durch den Versuchsträger im nächsten Jahr von besonderer Bedeutung.

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 (Kapitel 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.

Im aktuellen Berichtszeitraum wurden größere Umbauten am Versuchsträger durchgeführt. Nachdem die Antriebstopologie von MAX vor einiger Zeit bereits auf Einzelradantrieb umgebaut wurde, war es das Ziel, nun auch die Steuergerätearchitektur an die des Versuchsträgers MOBILE anzupassen. Zu diesem Zweck wurden die bisher als Steuergeräte verwendeten Evaluationsboards durch die auch in MOBILE verwendeten, selbst entwickelten Steuergeräteplatinen ersetzt. Gleichzeitig wurde die Achsmodulstruktur des Realversuchsträgers übernommen (ein zentrales Steuergerät für jede Achse, ein Steuergerät zur Auswertung von Nutzereingriffen, vgl. Abbildung 18.1). Aktuell ist eine studentische Arbeit damit befasst, die Spannungsversorgung und die Signalleitun-



Abbildung 18.1: Überarbeitetes Achsmodul mit Steuergeräteplatine (oben im Bild) und Motorreglern (unten im Bild)

gen entsprechend anzupassen, sowie die nötigen Anpassungen in der Steuergeräte-Software vorzunehmen.

Zusätzlich zum Umbau der Steuergeräte wurden die vorhandenen Gleichstrommotoren durch bürstenlose Außenläufer für mehr verfügbares Drehmoment ausgetauscht und die entsprechende Leistungselektronik in Betrieb genommen.

Teil III

**Publikationen und
Medienberichte**

19 Publikationen

19.1 Artikel in Fachzeitschriften, Konferenzbeiträge mit Review und Buchkapitel

BAGSCHIK, G.; MENZEL, T.; KÖRNER, C.; MAURER, M.: Wissensbasierte Szenariengenerierung für Betriebsszenarien auf deutschen Autobahnen. In: 12. *Workshop Fahrerassistenzsysteme und automatisiertes Fahren* Bd. 12. Deutschland : Uni-DAS e.V., 2018

BAGSCHIK, G.; MENZEL, T.; MAURER, M.: Ontology Based Scene Creation for the Development of Automated Vehicles. In: 2018 *IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*. China : IEEE, 2018

GRAUBOHM, R.; STOLTE, T.; BAGSCHIK, G.; RESCHKA, A.; MAURER, M.: Systematic Design of Automated Driving Functions Considering Functional Safety Aspects. In: 8. *Tagung Fahrerassistenz*. Deutschland : Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik mit TÜV SÜD Akademie, 2017

HAMAD, M.; NOLTE, M.; PREVELAKIS, V.: A Framework for Policy Based Secure Intra Vehicle Communication. In: 2017 *IEEE Vehicular Networking Conference (VNC)*. Italien : IEEE, 2017

MAURER, M.: Hochautomatisiertes und Vollautomatisiertes Fahren. In: 56. *Deutscher Verkehrsgerichtstag*. Deutschland : Deutsche Akademie für Verkehrswissenschaft - e.V., 2018

MENZEL, T.; BAGSCHIK, G.; ISENSEE, L.; SCHOMBURG, A.; MAURER, M.: Detaillierung einer stichwortbasierten Szenariobeschreibung für die Durchführung in der Simulation am Beispiel von Szenarien auf deutschen Autobahnen. In: *12. Workshop Fahrerassistenzsysteme und automatisiertes Fahren* Bd. 12. Deutschland : Uni-DAS e.V., 2018

MENZEL, T.; BAGSCHIK, G.; MAURER, M.: Scenarios for Development, Test and Validation of Automated Vehicles. In: *2018 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*. China : IEEE, 2018

NOLTE, M.; BAGSCHIK, G.; JATZKOWSKI, T.; RESCHKA, A.; MAURER, M.: Towards a Skill- And Ability-Based Development Process for Self-Aware Automated Road Vehicles. In: *2017 IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*. Japan : IEEE, 2017

NOLTE, M.; FORM, T.; ERNST, S.; GRAUBOHM, R.; MAURER, M.: The Carolo-Cup - Involving Students with Automated Driving. In: *12th European Workshop on Microelectronics Education (EWME)*. Deutschland : IEEE, 2018

NOLTE, M.; GRAUBOHM, R.; FORM, T.; MAURER, M.: Carolo-Cup — Zehn Jahre automatisiertes Fahren im Maßstab 1:10. In: *Sonderprojekte ATZ/MTZ 22* (2017)

SCHLATOW, J.; NOLTE, M.; MÖSTL, M.; JATZKOWSKI, I.; ERNST, R.; MAURER, M.: Towards Model-Based Integration of Component-Based Automotive Software Systems. In: *Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON17)*. China : IEEE, 2017

STEIMLE, M.; BAGSCHIK, G.; MENZEL, T.; WENDLER, J. T.; MAURER, M.: Anwendung eines Grundvokabulars für den szenarienbasierten Testansatz automatisierter Fahrfunktionen anhand eines Beispiels. In: *AAET - Automatisiertes und vernetztes Fahren*. Deutschland : ITS Niedersachsen, 2018

STEIMLE, M.; BAGSCHIK, G.; MENZEL, T.; WENDLER, J. T.; MAURER, M.:
Ein Beitrag zur Terminologie für den szenarienbasierten Testansatz
automatisierter Fahrfunktionen. In: *AAET - Automatisiertes und ver-
netztes Fahren*. Deutschland : ITS Niedersachsen, 2018

20 Die Arbeitsgruppe in den Medien

Unser Institut konnte auch im akademischen Jahr 2017/2018 wiederum ein großes Medienecho erzielen. Im Folgenden findet sich eine Auswahl von Beiträgen und Artikeln in diversen Medienformaten.

20.1 Radio und Fernsehen

Medium	Datum	Artikel
NDR	24.01.2018	Niedersachsen 18.00: Verkehrsgerichtstag: Wer haftet beim „automatisierten Fahren“?
NDR	24.01.2018	Hallo Niedersachsen: Verkehrsgerichtstag: Wer haftet beim „automatisierten Fahren“?

20.2 Printmedien

Medium	Datum	Artikel
Braunschweiger Zeitung, Frankfurter Rundschau	05.01.2018	Der lange Weg zum autonomen Fahren - Was passiert 2018?
Aller-Zeitung, Göttinger Tageblatt, Peiner Allgemeine Zeitung, Wolfsburger Allgemeine	06.01.2018	Land will Vorreiter beim autonomen Fahren sein
Delmenhorster Kreisblatt, Neue Osnabrücker Zeitung, Ostfriesische Zeitung	06.01.2018	Vollautomatisch in die Parklücke
Bremer Nachrichten	06.01.2018	Niedersachsen will Vorreiter sein Testfeld für autonomes Fahren
Wilhelmshavener Zeitung, Nordwest Zeitung, Ostfriesen-Zeitung, Generalanzeiger (Rhauderfehn)	06.01.2018	Auf 280 Kilometern autonomes Fahren
Neue Presse	06.01.2018	Niedersachsen gibt Gas
Wolfsburger Allgemeine	25.01.2018	Hände weg vom Steuer
Göttinger Tageblatt, Hannoversche Allgemeine Zeitung, Hildesheimer Allgemeine Zeitung, Dresdener Neueste Nachrichten, Leipziger Volkszeitung, Lübecker Nachrichten, Märkische Allgemeine, Eichsfelder Tageblatt, Ostsee Zeitung	25.01.2018	Hände weg vom Steuer
Frankfurter Allgemeine	21.03.2018	Aufmerksame Fahrer schlagen den Roboter noch
Frankfurter Allgemeine Sonntagszeitung	25.03.2018	Tod durch Roboterauto

Medium	Datum	Artikel
Aachener Nachrichten	27.04.2018	Die Zukunft des Verkehrs, ganz neu gedacht
Mittelbayerische Zeitung	30.04.2018	Mobilität ganz neu gedacht

20.3 Veröffentlichungen auf Internetseiten

Medium	Datum	Artikel
HAZ.de, Berliner-Zeitung.de, Focus Online	05.01.2018	Der lange Weg zum autonomen Fahren - Was passiert 2018?
Carit.de	25.01.2018	Autonomes Fahren braucht klare Regeln
Dresdner Neueste Nachrichten	25.01.2018	Das kann das Auto ganz alleine
News38.de	22.06.2018	Geister-LKW soll Bauarbeiter sichern



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

ISBN: 978-3-9814969-7-0