

Elektronische Fahrzeugsysteme 2020

Jahresbericht: Akademisches Jahr 2019/2020

Markus Maurer, Inga Jatzkowski (Hrsg.),
Richard Schubert (Hrsg.)

Titelbild

Die Arbeitsgruppe Elektronische
Fahrzeugsysteme im Corona-Modus

Copyright: ©Mitarbeiter*innen IFR – EFS

Impressum

Copyright: ©2020

Technische Universität Braunschweig

Institut für Regelungstechnik

Prof. Dr.-Ing. Markus Maurer

Inga Jatzkowski & Richard Schubert (Hrsg.)

ISBN: 978-3-9814969-9-4

Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort	5
2	Die AG Elektronische Fahrzeugsysteme	11
2.1	Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter	11
2.2	Neue Kolleginnen und Kollegen	13
2.3	Abgänge	16
I	Lehre	19
3	Lehre	21
3.1	Übersicht	21
3.2	Neues aus der Lehre	23
3.3	Studentische Arbeiten	48
3.4	Prüfungen am Institut	50

II	Berichte aus der Forschung	51
4	Wertebasierte Verhaltensentscheidung	53
5	Automatisiertes Fahren im Mischverkehr (AFiM)	61
6	Elderly People Intersection Crossing Assist (EPICa)	67
7	Vernetzung virtualisierter Verkehrsinfrastrukturen und automatisierter Fahrfunktionen für nachhaltige Mobilitätslösungen (ViVre)	69
8	UNICARagil	73
9	SET Level 4to5	81
10	VVMethoden	85
III	Publikationen und Medienberichte	89
11	Publikationen	91
12	Die Arbeitsgruppe in den Medien	93
12.1	Radio und Fernsehen	93
12.2	Printmedien	94
12.3	Veröffentlichungen auf Internetseiten	95

1 Vorwort

von Markus Maurer

Die Corona-Pandemie hat auch uns fest im Griff. Die Gedanken zurück an das akademische Jahr 2019/20 werden geprägt von strengen Hygienekonzepten, die unseren Alltag stark verändert haben.

Als die erste Erschütterung über die Krankheit und ihre Opfer gewichen war, als sich die erste große Unsicherheit gelegt hatte, wie es weitergehen würde, hat sich unser Team darangemacht, unseren Bildungs- und Forschungsauftrag auch unter neuen erschwerten Bedingungen zu erfüllen. Schnell wurde Dankbarkeit zum neuen vorherrschenden Gefühl: Niemand aus unserem direkten Umfeld ist bis zum jetzigen Zeitpunkt, an dem ich diese Zeilen schreibe, schwer erkrankt, niemand hatte Opfer unter den nächsten Verwandten zu beklagen. Die staatliche finanzielle Grundausstattung wurde auch in der Krise überwiesen, glücklicherweise auch alle ebenfalls staatlich finanzierten Drittmittel.

In der öffentlichen Wahrnehmung wird immer wieder zu Recht darauf hingewiesen, dass die Automobilindustrie bereits vorher in die Krise geraten war. Ökonomen sprechen auch davon, dass Corona als Verstärker in der Krise wirkt. Elektrische Antriebe ersetzen zunehmend Verbrennungsmotoren, in der Automatisierung von Fahrfunktionen ist die erste Euphorie einer realistischeren Erwartung gewichen, junge Unternehmen wie Tesla oder die Google-Tochter Waymo haben zumindest in Nischen Technologieführerschaft erreicht und bedrohen damit die Geschäftsmodelle der etablierten Automobilindustrie. Beim autonomen Fahren wird Waymo inzwischen weltweit als führend bei der Entwicklung autonomer Fahrfunktionen anerkannt.

Die Krise und der damit verbundene Umbruch haben unsere Region erreicht: Eine neue Führungsriege, die in anderen Unternehmen ausgebildet und sozialisiert wurde, gestaltet die Struktur und die Kultur im Volkswagen-Konzern um. Wir hoffen, dass die Expert*innen und Führungskräfte im Unternehmen nach der Kraftanstrengung der Umstrukturierung und den damit verbundenen Reibungsverlusten gestärkt aus diesem Prozess hervorgehen und dem schwierigen Marktumfeld gewachsen sind. Aus regionaler Sicht freut uns besonders, dass auch weiterhin bei Volkswagen in Wolfsburg an autonomen Fahrzeugen geforscht und entwickelt wird.

Unser langjähriger Forschungspartner Wabco in Hannover wurde von ZF in Friedrichshafen übernommen. Auch wenn aktuell in den Medien überwiegend über Sparzwänge im ZF-Konzern berichtet wird, so wünschen wir unseren Kolleg*innen in Hannover, dass sie auch zukünftig innovative Produkte in Niedersachsen entwickeln dürfen.

Wie viele andere Unternehmen und Behörden haben auch wir zu Beginn des Jahres 2020 die Bedeutung der Pandemie für unser Institut unterschätzt. Auch wir mussten innerhalb weniger Wochen lernen, wie man in Zeiten der Seuche lehren und forschen kann.

Seit April dieses Jahres lehren wir in unseren Vorlesungen und Seminaren virtuell unter Webex und BigBlueButton. Die Kommunikation unter den Teammitgliedern funktioniert – wie auch auf der Titelseite dieses Jahresberichtes stilisiert dargestellt – überwiegend in Videokonferenzen vor Bildschirmen mit kachelgroßen Abbildungen der Kolleg*innen. Wir freuen uns, wenn Teamarbeit auch virtuell funktioniert: Miro-Boards ersetzen die Pinnwände, Studierende und wissenschaftliche Mitarbeiter*innen produzieren Podcasts für das Seminar, unser Doktorand in Ingolstadt freut sich, dass er in der internen Kommunikation nicht mehr benachteiligt ist.

Ausgefallen ist die praktische Ausbildung der Studierenden in den Laboren und bei den Abschlussarbeiten. Sollten über das Jahr 2021 hinaus weiterhin strenge Hygienevorschriften notwendig sein, so werden erhebliche zusätzliche Ressourcen benötigt, um zumindest in moderatem Umfang Studierenden experimentelles Arbeiten auch virtuell zu ermöglichen.

Unsere interne zentrale Konzeption um das „inhärente Risiko autonomer Straßenfahrzeuge“ hat sich auch im vergangenen Jahr als tragfähig für unsere Forschung erwiesen. Ein Schwerpunkt in diesem Kontext war auch in diesem Jahr neben vielfältigen technischen Aktivitäten, die in diesem Jahrbuch vorgestellt werden, die Diskussion der Risiken mit der Gesellschaft. So gehörten Diskussionen mit dem Intendanten des Bayerischen Rundfunks Ulrich Wilhelm, die Mitarbeit an einer Sendung von Bayern 2 Wissen, Diskussionen im Stiftungsrat der Daimler und Benz Stiftung und im „Forum Wissenschaft im Dialog *Autonomes Fahren auf der Anklagebank*“ im Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung (WZB) zu den wissenschaftlichen Höhepunkten unserer Arbeit. Ob wir Waymo beeinflusst haben, interne Abschätzungen zum Risiko ihrer autonomen Fahrzeuge zu publizieren, wissen wir nicht ¹. Wir begrüßen diese Publikationen auch an dieser Stelle sehr: Sie sind ein wichtiger Meilenstein im wissenschaftlichen und gesellschaftlichen Dialog zur Kommunikation des inhärenten Risikos.

Immer wichtiger wird für uns der Austausch mit den neuen Playern im Forschungsgebiet des autonomen Fahrens in den USA. Wir stellen vermehrt fest, dass unsere Beiträge besonders dort auf Resonanz stoßen und gewürdigt werden. Die teilweise sehr rigiden Geheimhaltungsabkommen mit Unternehmen in Kalifornien untersagen Publikationen unsererseits dazu ganz oder im Detail. Mein knapp vierwöchiger For-

¹<https://waymo.com/safety>

schungsaufenthalt im Herbst 2019 in Stanford bei unserem langjährigen Partner Chris Gerdes und die Gespräche mit den Unternehmen im Silicon Valley waren intensiv und lehrreich.

Unsere Kooperation mit Jason Millar von der University of Ottawa in Kanada ist in diesem Jahr Corona-bedingt nur virtuell gestartet. Wir danken Jason, dass er Nayel Salem bei seiner Masterarbeit auch virtuell aus Sicht des Technikethikers betreut hat. Nayels Aufenthalt in Ottawa ist den Reiserestriktionen im Frühjahr zum Opfer gefallen. Sobald wir wieder reisen dürfen, werden wir unsere Aktivitäten in den USA und Kanada verstärken.

Auch dieser Jahresrückblick ist wieder von Dankbarkeit geprägt. An erster Stelle steht in diesem Jahr der Dank an alle Kolleginnen, alle Kollegen und alle Studierenden in unserem Team „Elektronische Fahrzeugsysteme“. Besonders ist mir im virtuellen Arbeiten bewusst geworden, welche große Bedeutung der direkte persönliche Kontakt zu den Studierenden, den Kolleg*innen am Institut und in der weltweiten Forschungsgemeinschaft hat. Videokonferenzen können diesen Kontakt nicht vollständig ersetzen; sie haben uns aber geholfen, um auch unter strengen Hygienebedingungen weiter im Team zu arbeiten. Bedingt durch die Anforderungen der Pandemie haben Bernd Amlang als Sicherheits- (und Hygiene-) Beauftragter und Marcus Grobe mit seinem Nebenamt als IT-Beauftragter des Institutes wieder einmal gezeigt, wie „systemrelevant“ sie sind.

Ein besonderer Dank gebührt allen Lehrenden am Institut, die engagiert und klaglos in vielen Überstunden ihre Lehre virtualisiert haben, allen wissenschaftlichen Mitarbeiter*innen, den hauptamtlichen Leistungsträgern in der Lehre Marcus Grobe und Bernd Amlang, unserem Honorarprofessor Thomas Form und unserem Lehrbeauftragten Bernd Lichte. Der Carolo-Cup 2020, der gerade noch vor dem Lock-

down im Frühjahr des Jahres stattfinden konnte, lebt vom Engagement der Teams, der Sponsoren, aller Helfer*innen und Juror*innen und der Unterstützung aus vielen Bereichen der TU Braunschweig, angeführt von der Präsidentin. Einen herzlichen Dank an alle!

Wir sind glücklich darüber, dass uns die weitgehende öffentliche Förderung in Einzel- und Verbundprojekten auch unter Corona weiterhin gewährt wurde. Wir bedanken uns für das Verständnis, dass wir mit unseren Experimenten wegen der hygienebedingten betrieblichen Einschränkungen zeitlich in Verzug geraten sind, und wir bauen auf die Zusagen zur kostenneutralen Verlängerung in den Projekten. Namentlich danken wir in alphabetischer Reihenfolge für Förderung im Berichtszeitraum durch

- das Bundesministerium für Bildung und Forschung im Projekt UNICAR*agil*,
- das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur in den Projekten AfIM und ViVre,
- das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie in den Projekten Set Level4to5 und VVMethoden,
- die Daimler und Benz Stiftung im Projekt „Value-Based Decision Making“,
- das Land Niedersachsen im Projekt EPICa,
- Volkswagen in den Projekten „Umfeldwahrnehmung für automatisierte Fahrzeuge“ und „Systematische Szenariengenerierung“,
- Wabco im Projekt „Automatisierung von Arbeitsabläufen auf Betriebshöfen“.

Wir freuen uns, dass unsere Kooperationspartner aus der Industrie wieder vollständig aus der Kurzarbeit zurückgekommen sind und dass wir die Kooperationen in den genannten Verbundprojekten vertrauensvoll fortsetzen können.

Ein besonderer Dank geht auch in diesem Jahr an Veronika Krapf und Stefanie Scheffer, die unter Corona mit der zusätzlichen Herausforderung konfrontiert waren, dass die Verwaltungen der Fakultät und der Universität noch analog arbeiten, das Institut aber bis auf diese Schnittstellen bereits digitalisiert.

Gefreut hat mich, wie unbürokratisch unsere Fakultät und unsere Fakultätsgeschäftsstelle den Betrieb im Alltag unter Corona aufrechterhalten hat. Danke, Michael Kurrat, Tobias Voss, Holger Stegert, an Euch und Euer Team. Ein weiterer freundschaftlicher Dank geht an den Vizepräsidenten Forschung, Peter Hecker, der immer dann geholfen hat, wenn wir präsidiale Unterstützung benötigt haben.

Mit Aussicht auf Impfstoffe und die gewachsene Expertise in der Lehre und Forschung unter Pandemie-Bedingungen sind wir zuversichtlich ins akademische Jahr 2020/21 gestartet. Wir freuen uns auf den Kontakt mit den Studierenden, hoffentlich zunehmend auch wieder persönlich. Die öffentlich geförderten Projekte garantieren Stabilität in unseren Forschungsaktivitäten auch im kommenden Jahr. Wir sind gespannt, wie sich die deutsche Automobilindustrie entwickeln wird. Gerne leisten wir unseren Beitrag, dass heimische Unternehmen auch in Zukunft Spitzenleistungen auf dem Weg zum autonomen Fahren erbringen können.

2 Die AG Elektronische Fahrzeugsysteme

2.1 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter

Während des akademischen Jahres 2019/2020 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
Stefanie Scheffer	Assistenz
M.Sc. Susanne Ernst	Wissenschaftlerin
Leon Götz	Wissenschaftler
M.Sc. Robert Graubohm	Wissenschaftler
M.Sc. Felix Grün	Wissenschaftler
M.Sc. Inga Jatzkowski	Wissenschaftlerin
M.Sc. Till Menzel	Wissenschaftler
M.Sc. Marcus Nolte	Wissenschaftler
M.Sc. Jan Richelmann	Wissenschaftler
B.Sc. Nayel Fabian Salem	Wissenschaftler
M.Sc. Tobias Schröder	Wissenschaftler
B.Sc. Richard Schubert	Wissenschaftler
M.Sc. Markus Steimle	Wissenschaftler

Name	Aufgabenbereich
M.Sc. Dipl.-Ing. (FH) Torben Stolte	Wissenschaftler
M.Sc. Jan Timo Wendler	Wissenschaftler
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	Wissenschaftler
Dipl.-Ing. Bernd Amlang	Sicherheitsbeauftragter
Meister Andreas Rusniok	Technik
Peter Schwetge	Technik
Loris Colkos	Auszubildender Technik
Ginger Ika Jozis	Auszubildende Technik
Maximilian Jung	Auszubildender 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 drei neue Mitarbeiter und zwei neue Auszubildende in unserer Arbeitsgruppe Elektronische Fahrzeugsysteme willkommen zu heißen.

2.2.1 Nayel Fabian Salem

von Nayel Fabian Salem



Mit dem Beginn des Wintersemesters 2019/20 habe ich als Studierender die Möglichkeit bekommen, mich über die Lehrveranstaltungen hinaus mit den Aktivitäten der Arbeitsgruppe zu beschäftigen. Während der Erstellung meiner Masterarbeit konnte ich bereits erste Eindrücke darüber gewinnen, wie die wissenschaftliche Arbeit zwischen den

Kollegen funktioniert und welche Herausforderungen sie birgt.

Nach dem Abschluss meines Studiums mit dem Schwerpunkt der wer-tebasierten Entscheidungsfindung automatisierter Fahrzeuge freue ich mich auf die zukünftige Arbeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter.

2.2.2 Leon Götz

von Leon Götz



Bereits seit zwei Jahren arbeite ich als Hilfwissenschaftler in der Arbeitsgruppe Elektronische Fahrzeugsysteme. Anfang 2020 wurde mir die Möglichkeit gegeben, die Zusammenarbeit zu intensivieren und als wissenschaftlicher Nachwuchs an aktuellen Forschungsthemen mitzuarbeiten. Durch die Integration in die Gruppe konnte ich bereits viele interessante Einblicke in Fragestellungen der aktuellen Forschung und die

wissenschaftliche Arbeit an sich gewinnen. Ich beschäftige mich mit Referenzdatengenerierung und aktuell im Rahmen meiner Bachelorarbeit mit Objektdetektion und diesbezoglicher Berücksichtigung von Unsicherheiten im Kontext des automatisierten Fahrens. Ich freue mich, auch weiterhin auf einem spannenden und interessanten Arbeitsfeld in einem tollen Team arbeiten zu können!

2.2.3 Richard Schubert

von Richard Schubert

Im Rahmen meiner Bachelorarbeit am Institut für Regelungstechnik habe ich den Kontakt zur AG Elektronische Fahrzeugsysteme im Sommer 2019 geknüpft. Nach einem Praktikumssemester bei der Daimler AG nahm ich im April 2020 eine Tätigkeit als studentische Hilfskraft in der Arbeitsgruppe auf.



In meiner bisherigen Arbeit beschäftigte ich mich mit der Analyse fahrdynamischer Modelle hinsichtlich der Auswirkung von Modellunsicherheiten sowie mit der Referenzpfadplanung für automatisierte Fahrzeuge im unstrukturierten Umfeld. Als Mitglied der Forschungsgruppe freue ich mich auf eine spannende Zusammenarbeit.

2.2.4 Auszubildende

Loris Colkos



Mein Name ist Loris Colkos. Durch mein Hobby im Motorsport (Motocross) ging meine Berufswahl in den technischen Bereich. Durch einen guten Eignungstest bin ich froh darüber, dass ich im Institut für Regelungstechnik angenommen wurde. Nun freue ich mich darauf an den zukunftsorientierten Projekten mitarbeiten zu können.

Ginger Jozis



Mein Name ist Ginger Jozis. Da ich gerne im mechanischen Bereich arbeite und die neue Technologie im Institut für Regelungstechnik mich fasziniert, bin ich froh darüber, im Team zu sein. In meiner Freizeit engagiere ich mich ehrenamtlich für die Stadt Salzgitter im Bereich der Kinder- und Jugendförderung.

2.3 Abgänge

2.3.1 Jan Timo Wendler

von Markus Steimle

Nach über sechs Jahren als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Regelungstechnik hat uns Jan Timo Wendler im November 2019 verlassen, um sich neuen Aufgaben in der Industrie zu widmen.

Während seiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter bereicherte Jan Timo die Arbeit unserer Arbeitsgruppe in verschiedenen Themenbereichen. Schon im Rahmen seiner Abschlussarbeit hatte Jan Timo erste weiterführende Beiträge geliefert. Der Schwerpunkt der anschließenden Arbeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter lag im Bereich der Umfeldwahrnehmung. Dort forschte er an einer Radfahrererkennung mittels Radarsensoren. Später verschob sich sein Fokus vor allem durch

das Projekt PEGASUS in Richtung Validierung von Sensorsimulationsmodellen.

Zusätzlich hat Jan Timo wertvolle Unterstützung im Projekt Stadtpilot geleistet. Vor allem bei der Inbetriebnahme und Zulassung unserer neuesten Versuchsträgergeneration war seine Hilfe unschätzbar. Gerne denken wir an die unzähligen Stunden zurück, die wir gemeinsam in unseren Fahrzeugen verbracht haben.

Gute Zeiten misst man an schönen Erinnerungen und wir gehen fest davon aus, dass zu dem beachtlichen Berg noch viele weitere im privaten Kreise dazukommen. Jan Timo, wir danken dir für all die Freude und all den Spaß, den wir auf Dienstreisen, bei den Kaffeepausen in unserer engen Teeküche oder im Institutsalltag hatten. Danke auch für all die interessanten Diskussionen, die wir führten, und für jedes Projekt, welches wir gemeinsam bestritten. Behalte uns und deine Zeit am Institut in ebenso guter Erinnerung wie wir dich! In diesem Sinne wünschen wir dir für deine berufliche sowie private Zukunft alles erdenklich Gute. Übrigens, dein uns überlassener Teevorrat wird uns noch einige Zeit beschäftigen!

Teil I

Lehre

3 Lehre

3.1 Übersicht

Folgende Veranstaltungen haben wir im vergangenen akademischen Jahr angeboten:

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 2019/2020

Veranstaltung	Vortragende
Advanced Topics in Automotive Systems Engineering	Prof. Maurer
Elektromagnetische Verträglichkeit in der Fahrzeugtechnik	Prof. Form
Fahrerassistenzsysteme und automatisiertes Fahren	Prof. Maurer
Fahrzeugsystemtechnik	Prof. Maurer
Master-Teamprojekt	R. Graubohm
Oberseminar Elektronische Fahrzeugsysteme	Prof. Maurer

Tabelle 3.2: Veranstaltungen im Sommersemester 2020

Labor	Zeitraum
Entwurf von vernetzten eingebetteten Fahrzeugsystemen	SoSe 2020

Tabelle 3.3: Labore im akademischen Jahr 2019/2020

3.2 Neues aus der Lehre

3.2.1 Carolo-Cup 2020

von Inga Jatzkowski



Abbildung 3.1: Alle Teilnehmer und das Team des IfR

©Max Fuhrmann/TU BS

Auch in diesem Jahr fand wieder der Carolo-Cup der Technischen Universität Braunschweig in der Stadthalle in Braunschweig statt. Am 11. Februar 2020 traten 19 Teams mit ihren autonom fahrenden Modellautos im Maßstab 1:10 in zwei Wettbewerben gegeneinander an.

Teams mit weniger Erfahrung traten dabei im Carolo-Basic-Cup an, in dem die von den Fahrzeugen zu bewältigenden Aufgaben noch ver-

hältnismäßig einfach gehalten sind. Im Carolo-Master-Cup traten die erfahreneren Teams gegeneinander an und mussten teils ziemlich anspruchsvolle Aufgaben bewältigen. Dazu gehörte etwa das Einhalten einer Geschwindigkeitsbegrenzung oder der Umgang mit dynamischen Hindernissen.

Den Carolo-Basic-Cup gewann das Team WorstCase von der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg. Den Sieg des Carolo-Master-Cups fuhr das Team KITcar des Karlsruher Institut für Technologie ein. Den VDI-Sonderpreis für das leichteste Auto teilten sich das Team OSCAR und Ostfalia-Cup, deren Fahrzeuge gleich leicht waren. Wir bedanken uns bei allen Teams für die Teilnahme und für einen tollen Cup!



Abbildung 3.2: Das Setup der ags
©Tobias Schröder/TU BS

In diesem Jahr wurde das Team des Instituts für Regelungstechnik von der Wissenschaftlichen Arbeitsgemeinschaft für Studio- und Senderfragen (ags)¹ unterstützt. Die ags übernahm die Produktion des Livestreams der Veranstaltung und erntete für die professionelle Durchführung und die hervorragende Qualität des Streams viel Lob von den Online-Zuschauern. Auch wir möchten uns noch einmal herzlich bei der ags für ihren Einsatz und den fantastischen Livestream bedanken und hoffen auch zukünftig auf gute Zusammenarbeit!

¹<https://www.ags.tu-bs.de/>

3.2.2 Das CDLC-Team 2020

von Hauke Dierend

Rückblick - Carolo-Cup 2020

Die Entwicklung autonomer Modellfahrzeuge im Maßstab 1:10 stand auch 2020 wieder im Mittelpunkt der Tätigkeiten des Teams CDLC. Bis zu zwanzig Studierende aus technischen Fachrichtungen der TU Braunschweig und benachbarten Hochschulen entwickelten über das Jahr ein neues autonomes Fahrzeug – eine neue Caro. In unserem Beitrag möchten wir auf das Jahr 2020 im Team CDLC zurückblicken.

Der Carolo-Cup wird jährlich vom Institut für Regelungstechnik in der Stadthalle in Braunschweig ausgetragen und stellt das Ziel der Entwicklungsarbeit in unserem Team dar. In diesem Jahr nahmen 19 Teams aus Deutschland, Polen und Österreich teil. Wie bereits im vorherigen Jahr gab es zwei Wettbewerbe: Den Carolo-Master-Cup, in dem Teams komplexe Fahrscenarien meistern müssen, und den Carolo-Basic-Cup, in dem überwiegend neue Teams sich in vereinfachten Szenarien beweisen. Wir nahmen an Ersterem teil und mussten uns in einer Präsentation, einem Rundkurs ohne Hindernisse mit Parken und einem Rundkurs mit Hindernissen messen.

Die Wochen vor dem Cup waren (wie jedes Jahr) von langen Nächten im Teamraum mit wenig Schlaf geprägt. Eigentlich sollte bei diesem Cup bereits die Weiterentwicklung von Caro X, Caro Alpha, fahren. Aufgrund von Problemen bei der Konstruktion des Fahrzeugrahmens und dem Design neuer Motorregler entschieden wir uns Anfang Januar beim Cup mit Caro X anzutreten. So konnte die Entwicklung einer Erkennung paralleler Parkplätze, die Kombination von Vorder-



Abbildung 3.3: Das Team CDLC 2020 (Von links: Yijie Xie, Fan Song, Jan Kirsch, Robin Hapka, Jonas Mikolajczyk, Marla Grunewald, Sebastian Abel, Nora Sperling, Laurenz Borchers, Jan-Hendrik Dürkop, Hauke Dierend, Christian Bendrick, Alex Bendrick. Es fehlen: Jurek Türk, Tom Blank, Phil Hertha, Yulong Zhang, Torge Rosendahl)

und Hinterachslenkung sowie die Verbesserung des Abbiegevorgang an nicht-rechtwinkligen Kreuzungen forciert werden. Beide stellten Neuheiten im Regelwerk des Carolo-Cups dar. Während Caro X in den vorherigen Jahren immer sicher einen Parkplatz quer zur Fahrtrichtung erkennen konnte, mussten in diesem Jahr auch Parkplätze parallel zur Fahrtrichtung gefunden und ein Parkvorgang ausgeführt werden.

Die Erkennung von Parklücken war schnell geschrieben, jedoch stellte sich bald heraus, dass der Einparkvorgang zu zeitintensiv war. Nach einem Studium des Regelwerks entschieden wir uns dafür, dass Caro quer zur Fahrtrichtung in den Parallelparkplatz einparkt. Der Radstand war kleiner als die Breite einer Parklücke und so konnten wir nach ein paar Stunden des Testens erfolgreich und schnell einparken. Kreuzungen stellten in den vorherigen Cups bisher kein Problem für Caro X dar.

Durch eine Erweiterung des Regelwerks konnten erstmalig Kreuzungen mit Armen in einem Winkel von 70° bis 110° zueinander vorkommen. Der bisherige Ansatz zum Abbiegen an Kreuzungen war auf rechtwinkelige Kreuzungen begrenzt. Die neuen Anpassungen führten zu einigen Problemen im Gesamtmodell und so konnte Caro erst einige Tage vor dem Cup erstmalig eine neue Kreuzung befahren.

Der Carolo-Cup begann für uns am frühen Montagmorgen. Nach einem kurzen Frühstück im Teamraum packten wir unsere Sachen, luden sie in die Autos einiger Teammitglieder und machten uns auf den Weg zur Stadthalle. Dort angekommen begannen wir umgehend mit der Parametrierung von Caro X auf die Bedingungen in der Halle. Am Vormittag stand Caros Qualifizierung für die Wettbewerbe des nächsten Tages an. Für die erfolgreiche Qualifizierung musste Caro mindestens eine Runde auf einem kleinen Rundkurs absolvieren. Da dieser Rundkurs eine der neuen nicht-rechtwinkligen Kreuzungen beinhaltete und Caro mit diesen noch Probleme hatte, war unsere Anspannung groß. Doch Caro meisterte die Kreuzung problemlos und fuhr sogar mehrere Runden auf der Strecke. Die Anspannung bei uns ließ schlagartig nach und die Vorfreude auf den Wettkampftag begann. Wir testeten den restlichen Tag mit den anderen Teams auf den Teststrecken in der Stadthalle und optimierten die Rundenzeiten unserer Caro. In der Woche vor dem Wettbewerb hatten mehrere Medien bei uns für Interviews während des Wettkampftages angefragt und so begann der nächste Tag in der Stadthalle mit einigen Interviews.

Besonders war die Begleitung unseres Teams durch ein Kamerateam des NDRs. Diese Aufzeichnungen wurden am Abend in der Sendung *Hallo Niedersachsen* im NDR gezeigt und während des Wettbewerbs ein Teammitglied live interviewt. Das Video ist in der NDR-Mediathek verfügbar.

Während der Interviews arbeitete der restliche Teil des Teams konzentriert an der Optimierung der Rundenzeiten und dem Testen einer Vielzahl von Szenarien. Der erste der drei Wettbewerbe fand am Nachmittag statt. In einer englischsprachigen Präsentation mussten wir unser Team und die entwickelten Konzepte unseres Fahrzeugs vor einer Fachjury verteidigen. Die Präsentation wurde von zwei Teammitgliedern erfolgreich gehalten und sicherte uns den dritten Platz in dieser Disziplin. Nach der Präsentation bereiteten wir unser Carolinchen für den Wettkampf vor. Die Reifen wurden gewechselt, die Lenkstangen von Schmutz befreit und ein geladener Akku eingesteckt. Um 19 Uhr begann der Wettbewerb in den dynamischen Disziplinen. Carolinchen flitzte beim Wettkampf *Rundkurs mit Parken* über die Strecke und parkte zweimal erfolgreich in einen parallelen Parkplatz ein. Wenige Sekunden vor Schluss schoss Caro über eine Rampe, verlor die Fahrspur und krachte in eine Seitenbande. Dabei brach der Spurbel des linken Vorderrads. Eine Teilnahme am zweiten dynamischen Wettbewerb, dem *Rundkurs mit Hindernissen* schien unmöglich.

Nach einer kurzen Rücksprache mit den Schiedsrichtern erhielt das Team die Möglichkeit sein Auto innerhalb des fünfminütigen Zeitbereichs vor dem Start zu reparieren. In diesem Moment zeigte sich der starke Zusammenhalt im Team. Nach einer kurzen Absprache übernahm jedes Teammitglied eine Teilaufgabe. Ein Teil von uns rannte zu unseren Teamkoffern, um nach benötigten Ersatzteilen und Werkzeugen zu suchen. Weitere Teammitglieder studierten zusammen die Konstruktion und erstellten in kurzer Zeit einen Reparaturplan. Durch diese Teamleistung konnten wir innerhalb der fünf Minuten den gebrochenen Spurbel austauschen und das Fahrzeug in die Startbox stellen. Große Erleichterung machte sich breit, als unsere Caro aus der Startbox losfuhr und die erste lange Gerade problemlos zurücklegte.

Leider kam in der ersten Kurve die Ernüchterung. Der Spurhebel passte nicht perfekt zur Lenkung und verkantete sich. Damit war eine Weiterfahrt ausgeschlossen. Bei der Verkündung der Ergebnisse herrschte bei



Abbildung 3.4: Jonas Mikolajczyk (links) und Alex Bendrick (rechts) beim Testen der Startboxausfahrt mit Caro X

uns eine große Unsicherheit hinsichtlich unserer Platzierung. Zwar war unsere Präsentation gelungen und beim *Rundkurs mit Parken* hatten wir trotz des Unfalls das beste Ergebnis erzielt. Die anderen Teams konnten hingegen im *Rundkurs mit Hindernissen* überzeugen. Große Freude brach bei uns aus, als wir unseren Teamnamen an zweiter Stelle sahen. Wir mussten uns dem Team KITcar des KITs geschlagen geben, das im *Rundkurs mit Hindernissen* allen Teams keine Chance ließ. Nach dem Bosch-Workshop im November 2019 in Abstatt hatten wir das Team KITCar für einen Tag besucht. KITcar revanchierte sich einen Tag nach

dem Cup mit einem Besuch bei uns im Teamraum. Zusammen ließen wir die beiden Cup-Tage Revue passieren, tauschten uns über die jeweiligen Ansätze bei der Teamorganisation sowie den Fahrzeugen aus und ließen die Autos zusammen über unsere Teststrecke flitzen.

Entwicklungen

Motiviert durch das gute Abschneiden im Carolo-Cup machten wir uns bereits im März und April viele Gedanken über Verbesserungsmöglichkeiten im Team und die Entwicklung eines neuen Fahrzeuges. Die Organisationsstruktur bestand bis dato aus maximal zwei Teamleitern*innen, die aufgabenunabhängig die Verantwortung trugen. Durch die Vielzahl verschiedener Aufgaben war es für die Teamleiter*innen schwierig den Entwicklungsstand zu erfassen und bedarfsgerechte Unterstützung zu ermöglichen. Die neue Organisationsstruktur im Team besteht nun aus vier Positionen: Für die mechanische Fahrzeugkonstruktion, die Elektronik, inklusive Bussystemen und Mikrocontrollern, sowie die Softwareentwicklung auf dem Fahrzeugrechner in C++ und Python ist jeweils ein Teammitglied verantwortlich. Ein weiteres Teammitglied übernimmt die Organisation und leitet die Teamtreffen. Durch die neue Struktur konnten wir die Integration neuer Teammitglieder und die Problembehandlung einzelner Funktionen deutlich verbessern.

Das neue Fahrzeug, von uns liebevoll Caro Alpha getauft, unterscheidet sich in vielen Aspekten vom Vorgänger Caro X. Hardwarebezogen haben wir aus dem Unfall von Caro X beim Carolo-Cup wichtige Erkenntnisse gewonnen. Die Karosserie von Caro X besteht aus einem einzigen Metallrahmen, für den einzelne Metallstreben zusammengeschweißt wurden. Die Reparatur gestaltete sich hier schwierig und zeitintensiv. Zudem verformte sich der Metallrahmen durch kleinere Unfälle beim

Testen, sodass die fahrdynamischen Eigenschaften negativ beeinträchtigt wurden. Der Rahmen für Caro Alpha wird vollständig mit einem 3D-Drucker gefertigt und in drei Komponenten aufgeteilt. In der Mitte befindet sich der Hauptrahmen. Dieser bietet Platz für die Hauptplatine zum Management der Stromversorgung und Buskommunikation, den Kameramast, den Akku und den Fahrzeugrechner. Zudem besteht die Möglichkeit weitere Sensorik zu integrieren, z.B. ein 360°-2D-LiDAR, das in naher Zukunft integriert wird.

Die beiden anderen Komponenten sind baugleich und enthalten die Lenksaktorik sowie die Radnabenmotoren für eine Fahrzeugachse. Sie können mit vier Schrauben an dem Hauptrahmen angebracht werden und ermöglichen damit den Austausch beschädigter Bauteile unterhalb einer Minute. Die bisher ungeschützte Radaufhängung bei Caro X wird zukünftig durch eine stabile Karosserie geschützt. Der Hauptsensor von Caro Alpha stellt wie bereits bei Caro X die Monochrom-Kamera der Firma IDS dar. Auf ihrem Bild basiert die Erkennung der Fahrstreifen, Fahrbahnmarkierungen und Parkplätze. Da die Erkennung weißer Objektboxen im Graubild bisher kompliziert und fehleranfällig war, nutzen wir das Tiefenbild einer zweiten Kamera - einer Stereokamera der Firma Intel - zur eindeutigen Identifikation von Hindernissen auf der Strecke. Wir haben uns zudem eine weitere Kamera der Firma Intel zugelegt, die einen SLAM-Algorithmus enthält und uns hochgenaue Positionsdaten liefern kann.

Um die Lokalisierung bzw. Eigenbewegungsschätzung des Fahrzeugs zu verbessern und robuster gegenüber Störungen auslegen zu können, wurde eine kostengünstige IMU integriert. Derzeit entwickeln und testen wir neue Motorregler, die direkt an der Radaufhängung angebracht werden. Bei Caro X nahmen diese viel Platz auf dem Fahrzeugrahmen ein, der bei Caro Alpha für neue Sensoren und zukünftige Features



Abbildung 3.5: Caro Alpha

genutzt werden soll. Die Stromversorgung und CAN-Kommunikation wird über eine von uns entworfene Hauptplatine gesteuert. Die softwareseitige Fahrzeugarchitektur zur Auswertung der Kameradaten, der Erstellung eines Umfeldmodells, Analyse der Situation, Vorgabe von Handlungen und Planung kollisionsfreier Trajektorien wurde von uns komplett neu strukturiert. Für diese Neustrukturierung gab es mehrere Gründe:

- Bisher wurde das Framework ADTF der Firma Elektrobit genutzt. ADTF zeigte viele Probleme beim Debugging, ermöglichte nur eine begrenzte Visualisierung berechneter Informationen und

erschwerte die Anbindung an eine Simulationsumgebung. Daher entschieden wir uns für einen Umstieg auf das Framework ROS (Robot Operating System). Das System wird bereits von der Mehrheit der Teams beim Carolo-Cup genutzt und kann alle Schwachstellen von ADTF beseitigen. Zudem stehen eine große Anzahl an Bibliotheken von Forschungsgruppen und privaten Entwicklern zur Verfügung.

- Der Code wurde in den letzten zehn Jahren iterativ entwickelt. Die jährlichen Erweiterungen des Regelwerks führten an einigen Stellen zu kleinen Hacks, die nur für bestimmte Situationen während des Wettkampfes ausgelegt sind. Diese Hacks stellen gefährlichere Schwachstellen bei der zukünftigen Entwicklung dar und erschweren das Modellverständnis.
- Durch die iterative Entwicklung sind viele Ansätze hardgecodet. Sie erfüllen ihre Anforderungen unter den definierten Bedingungen, können aber nicht als robust oder einfach erweiterbar angesehen werden. Besonders die Situationsanalyse und Handlungsplanung wurden durch die statischen Vorgaben unübersichtlich. Die neue Struktur soll eine einfache Integration neuer Funktionen ermöglichen, ohne Änderungen an anderen Stellen im Code durchführen zu müssen.

Die Basis der neuen Struktur stellt ein Multilayer-Grid dar. Die Layer beinhalten unterschiedliche Informationen über die Umgebung und daraus abstrahierter Situationsinformationen. Erstere sind bspw. die Position statischer Objekte, die Fahrbahngrenzen oder Haltelinien. Die Situationsinformationen ergeben sich aus der Interpretation der Umgebungsinformationen. So ist z.B. die Definition von Geschwindigkeitsobergrenzen anhand der Verkehrszeichen- und Fahrbahnmarkierungserkennung möglich oder die Freigabe für eine Kreuzungseinfahrt. Alle

Informationen können als Kosten interpretiert werden, auf deren Basis die Trajektorienplanung die, im besten Fall optimale, Trajektorie zu einem Zielpunkt bzw. einer Zielkonfiguration findet. Der Trajektorienregler wird über einen MPC-Ansatz realisiert. Das Testen der Software mit ADTF beschränkte sich bisher auf das Abspielen aufgezeichneter Fahrten. Ein simulativer Test der Vorgaben von Handlungen oder die Planung von Trajektorien war damit nicht möglich. In ROS haben wir daher eine eigene Simulationsumgebung entwickelt, die das Testen jeglicher Situationen und eine schnelle Bewertung der Funktionsqualität ermöglicht und somit den Entwicklungsprozess deutlich vereinfacht.

Durch die Corona-bedingten Restriktionen hinsichtlich des Zugangs in den Testraum war es uns damit trotzdem möglich die entwickelten Funktionen zu testen. Seit März durften wir nicht mehr in unseren Team- und Testräumen arbeiten. Unsere Teamtreffen finden seitdem in einer Webkonferenz statt und die Validierung entwickelter Funktionen beschränkt sich auf simulative Tests. Wir hoffen, dass wir vor dem nächsten Carolo-Cup wieder den Zugang zu unseren Räumen erhalten und unser neues Fahrzeug fertigstellen können. Viele jährliche Veranstaltungen wurden durch die Corona-Beschränkungen abgesagt. Wir haben uns daher sehr über eine Kooperationsanfrage der Elektronischen Fahrwerksysteme GmbH (kurz EFS) aus Wolfsburg gefreut. EFS ist ein Joint Venture des VW Konzerns und der AKKA Group und entwickelt in Wolfsburg automatisierte Fahrfunktionen für die Automobilindustrie. Mitte des Jahres wurden wir zu einem ersten Kennenlernen eingeladen. Wir präsentierten unser Team, die aktuellen Arbeitsschwerpunkte und Caro X. Wir erhielten spannende Einblicke in aktuelle Themen des automatisierten Fahrens bei EFS und lernten die Mitarbeiter*innen bei Pizza kennen. Das gegenseitige Interesse war so groß, dass sich beide Seiten auf einen intensiveren Austausch in den nächsten Jahren einigten. Zukünftig haben wir die Möglichkeit mit Expert*innen ver-

schiedener Themenbereiche des automatisierten Fahrens von EFS über mögliche Entwicklungsansätze und deren Umsetzung zu diskutieren. Wir freuen uns auf die gemeinsame Zusammenarbeit!



Abbildung 3.6: Kanutour auf der Oker

3.2.3 Oberseminar

von Torben Stolte

Das Oberseminar „Elektronische Fahrzeugsysteme“ wurde im Wintersemester 2019/2020 und im Sommersemester 2020 angeboten. Das Seminar dient dem vertieften wissenschaftlichen Austausch zu aktuellen Themen aus den Forschungsfeldern der Arbeitsgruppe. Die dreistündigen Termine werden von den Vortragenden frei gestaltet. Dabei wurden bevorzugt offene Formate anstatt Frontalvorträge gewählt, 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.

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. Während das Oberseminar im Wintersemester regulär als Präsenzveranstaltung abgehalten werden konnte, war das Sommersemester geprägt von der aktuell grassierenden Pandemie. In der Hoffnung, im Spätsommer den Seminarraum des Instituts wieder in Präsenz nutzen zu können, wurde beschlossen, das Oberseminar als Blockveranstaltung in der vorlesungsfreien Zeit anzubieten. Letztendlich wurde das Oberseminar geblockt als Onlineveranstaltung durchgeführt. Auch wenn es die Präsenzvariante nicht vollständig ersetzen konnte, hat das neue Format viele Teilnehmende positiv überrascht.

Thematisch wurden die in Tabellen 3.4 und 3.5 aufgelisteten Themen intensiv diskutiert. Allen Vortragenden sei herzlich für die spannenden

Themen gedankt. Gleichzeitig gilt den Teilnehmenden Dank für die regen Diskussionsbeiträge.

Vortragende	Thema
Markus Maurer	Erfolgreiches wissenschaftliches Arbeiten
Inga Jatzkowski	Fahrmanöver – Begriffsdefinition und Ausprägungen
Jan Richelmann, Marcus Nolte, Susanne Ernst & Anysia Mayerhofer (Institut für Verkehr und Stadtbauwesen)	Zusammenhang von der Systemleistungsfähigkeit von Verkehrsnetzen und dem einzu- gehenden Risiko einzelner VerkehrsteilnehmerInnen
WiMis	Instituts-Showcase 2020
Till Menzel, Jan Richelmann	Ontologien: Szenariengenerierung und Verhaltensentscheidung
Tobias Schröder	Applying a Scenario-Based Design Approach to an Autonomous Family Vehicle
Torben Stolte & Robert Graubohm	Safety im Projekt UNICAR <i>agil</i>
Torben Stolte	Actuator Fault-Tolerant Vehicle Motion Control – A Survey
Marcus Nolte & Susanne Ernst	Toward Knowledge-Based Autonomous Vehicles – An Argument for Coherent Knowledge Representation at Design- and Runtime

Tabelle 3.4: Themen des Oberseminars im Wintersemester 2019/2020

Vortragende	Thema
Markus Maurer	Erfolgreiches wissenschaftliches Arbeiten
Robert Graubohm	Entwicklung konkreter Sicherheitsanforderungen für den IfR-Showcase: Geschwindigkeitslimit im Umfeld von Verdeckungen
Maximilian Graf (Universität Ulm)	Optimierungsbasierte Trajektorienplanung für automatisierte Fahrzeuge in strukturierten Umgebungen
Marcus Nolte	Wissens- vs. Regelbasiertes Verhalten für automatisierte Fahrzeuge – architektonische Konsequenzen
Inga Jatzkowski	Zum Fahrmanöverbegriff im Kontext automatisierter Straßenfahrzeuge
Marcus Nolte, Inga Jatzkowski & Susanne Ernst	Supporting Safe Decision Making Through Holistic System-Level Representations & Monitoring – A Summary and Taxonomy of Self-Representation Concepts for Automated Vehicles
Torben Stolte & Robert Graubohm	Freigabe UNICARagil
Tobias Schröder	Anforderungen an die funktionale Architektur eines universell gestalteten autonomen Fahrzeugs

Tabelle 3.5: Themen des Oberseminars im Sommersemester 2020

3.2.4 SummerCamp 2020

von Robert Graubohm

Aufgrund der Pandemie war eine Durchführung des im Zeitraum vom 6. bis 11. September geplanten SummerCamp 2020 leider nicht möglich. Das gesamte Organisationsteam hofft auf eine bessere Ausgangslage für eine Wiederdurchführung der beliebten Lehrveranstaltung in Gestalt eines Planspiels in naher Zukunft.

3.2.5 Vorlesung Fahrerassistenzsysteme und automatisiertes Fahren

von Susanne Ernst

Wie auch die anderen Vorlesungen des Instituts, fand dieses Jahr die Lehrveranstaltung *Fahrerassistenzsysteme und automatisiertes Fahren* coronabedingt online statt. Dies hatte keinen Einfluss auf die Prüfungsteilnehmerzahl, die mit 96 im Vergleich zum Vorjahr relativ konstant blieb. Durch das Online Format waren die sonst so lebhaften Diskussionen mit den Studierenden, von denen die Veranstaltung normalerweise lebt, zunächst deutlich verhalten. Allerdings nahm die aktive Beteiligung der Studierenden über das Semester zu, sodass am Ende kein großer Unterschied zu einer Präsenzveranstaltung zu spüren war.

Wie bereits im vorangegangenen Turnus bereicherten wissenschaftliche Mitarbeiter*innen die Vorlesung zu den bestehenden, von Prof. Maurer gehaltenen Themenschwerpunkten mit Vorträgen aus der aktuellen Forschung. Zum Thema Wahrnehmung stellte Felix Grün dieses Jahr die Umfeldwahrnehmung im Projekt Stadtpilot vor. Marcus Nolte ergänzte die Veranstaltung mit einer Einführung in die modellprädiktive Regelung als Bestandteil der Fahrentscheidung automatisierter Fahrzeuge. Zu den jeweiligen Vorlesungsinhalten fanden Übungen statt,

welche die Forschungsbeispiele unterstützten. Eine wesentliche Weiterentwicklung dieses Jahr waren diesbezüglich praktische Übungen zum Kalmanfilter und zur modellprädiktiven Regelung, bei denen die Studierenden in Matlab selbst kleine Beispiele implementierten. Hier konnte das Online Format gut genutzt werden, da die Studierenden während der Übung direkt unter Anleitung der wissenschaftlichen Mitarbeiter*innen praktische Erfahrung mit den vorgestellten Übungsinhalten machen konnten.

Mit der Zusammenführung theoretischer Inhalte und praktischer Anwendungsfälle zu hochrelevanten Fragen wurden die Studierenden näher an die (institutseigene) Forschung gerückt. Dies in Kombination mit einer interaktiven Vorlesungs- und Übungsgestaltung soll die Studierenden für die drängenden Forschungsfragen im Bereich Fahrerassistenzsysteme und automatisiertes Fahren sensibilisieren und begeistern. Das Online Format hat hier einerseits Herausforderungen an die Form der Lehrveranstaltung gestellt, auf der anderen Seite aber Möglichkeiten eröffnet, die Studierenden intensiver in die Thematik einzubinden.

3.2.6 Vorlesung Fahrzeugsystemtechnik

von Inga Jatzkowski

Auch die Fahrzeugsystemtechnik war von den Einschränkungen aufgrund der Covid19-Pandemie betroffen. Nach einem verzögerten Semesterstart fand die Vorlesung und Übung in diesem Jahr rein digital statt. Nach einer kurzen Eingewöhnungszeit wurde das digitale Format von den Studierenden gut angenommen. Das Interesse am Thema Fahrzeugsystemtechnik spiegelt sich auch in diesem Semester in den Teilnehmerzahlen wieder. Nach einem starken Anstieg der Anzahl an

teilnehmenden Studierenden in den letzten Jahren erreichte die Vorlesung mit 287 angemeldeten Studierenden eine neue Höchstzahl. Im Schnitt nahmen davon etwa 150 Studierende regelmäßig an der digitalen Veranstaltung teil.

Langfristiges Ziel ist es, die Veranstaltung zunehmend forschungsnäher zu gestalten und aktuelle Forschungsthemen in die Vorlesung einzu beziehen. Aus diesem Grund unterstützten in diesem Semester einige wissenschaftliche Mitarbeiter fachlich die Vorlesung. So stellten etwa Tobias Schröder, Torben Stolte und Susanne Ernst Nutzungsfälle aus den Projekten UNICARagil, aFAS und Stadtpilot vor, die anschließend im weiteren Verlauf der Vorlesung aufgegriffen wurden. Tobias Schröder unterstützte zudem mit einem Vortrag und einer Übung zum Anforderungsmanagement am Beispiel der Fahrzeugausprägung *autoELF* aus dem UNICARagil Projekt (Kapitel 8). Auch im weiteren Verlauf wurde die Vorlesung immer wieder durch Experten aus dem Kollegenkreis unterstützt. Robert Graubohm trug mit einem Vortrag zu agilen Entwicklungsmethoden, zu wertebasierter Entwicklung und zu Sicherheitsthemen zur Veranstaltung bei. Torben Stolte unterstützte ebenfalls im Bereich der funktionalen Sicherheit und Till Menzel im Rahmen des Themenbereichs des Testens. Durch eine interaktive Vorlesungsgestaltung wurden auch im digitalen Format die Studierenden direkt in die Erarbeitung der Vorlesungsinhalte eingebunden.

3.2.7 Master-Teamprojekt

von Robert Graubohm

Das Teamprojekt ist eine Studienleistung im Masterstudiengang *Elektronische Systeme in Fahrzeugtechnik, Luft- und Raumfahrt*. Darüber hinaus ist eine Durchführung alternativ zum Industriepraktikum in den

Masterstudiengängen der *Elektrotechnik* und *Informations-Systemtechnik* möglich. 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 *Stadt­pilot* 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 Studierende vielfach die Ergebnisse ihrer Arbeiten auch praktisch erleben.

In den beiden vergangenen Semestern wurde folgendes Thema behandelt:

- Aufbereitung gitterbasierter Umfelddarstellungen für die Trajektorienplanung

3.2.8 Seminarvorträge

von Tobias Schröder

Die Seminarvorträge werden in jedem Semester von Bachelor- und Masterstudierenden der Fakultät für Elektrotechnik, Informationstechnik und Physik abgehalten. Die Themenstellungen werden zu Beginn eines Semesters im Zuge einer Einführungsveranstaltung vergeben. Die Inhalte sind vielfältig und umfassen aktuelle Forschungsgebiete der Arbeitsgruppe für elektronische Fahrzeugsysteme. Betreut von einem wissenschaftlichen Mitarbeiter oder einer wissenschaftlichen Mitarbeiterin arbeiten die Teilnehmenden ihren Seminarvortrag im Laufe der Vorlesungszeit aus. An die vor allen Teilnehmenden der Veranstaltung gehaltenen Vorträge knüpfen sich eine Frage- und eine Feedbackrunde an. Hierdurch wird den Studierenden die Möglichkeit gegeben, Erfahrungen im Ausarbeiten und Halten wissenschaftlicher Vorträge sowie im Geben und Nehmen von Feedback zu sammeln.

Im vergangenen Jahr wurden die folgenden Vorträge gehalten:

Wintersemester 2019/2020

- Trajektorienprädiktion für autonome Fahrzeuge
- Vorstellung der Normen zur Funktionalen Sicherheit
- Wissensbasierte Anforderungsrepräsentation zur Verwendung in autonomen Systemen
- Ontologien
- Model Predictive Control - Übersicht über robuste und stochastische Ansätze
- Parametrische Freibereichsbeschreibung auf Basis von Occupancy Grids
- Autonomes Fahren

Sommersemester 2020

- SOTIF
- Unsicherheiten in der Fahrzeugtechnik
- Fähigkeitsbasierter Entwurf von automatisierten Fahrzeugen
- Die Rolle der Wissensrepräsentation für die Realisierung autonomer Fahrzeuge
- Szenarienbasierter Systementwurf
- Ampelbevorrechtigung für Einsatzfahrzeuge mittels V2X - Vorstellung Projekt „SIRENE“
- GANs

Aufgrund der Corona-Pandemie wurden die Seminarvorträge im Sommersemester 2020 erstmals vollständig in Form von Videokonferenzen gehalten.

3.2.9 Advanced Topics in Automotive Systems Engineering

von Tobias Schröder

Die englischsprachige Veranstaltung „Advanced Topics in Automotive Systems Engineering“ wird seit dem Wintersemester 2018/19 angeboten und richtet sich an Masterstudierende, sehr gute Bachelorstudierende und wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Voraussetzung für die Teilnahme sind Englischkenntnisse auf dem Niveau C1 oder oberhalb.

In den regelmäßig stattfindenden Terminen halten die Teilnehmenden einen fachlich tiefgreifenden Vortrag zu einer anfangs definierten Themenstellung. Die Studierenden werden bei der Ausarbeitung ihrer

Vorträge von jeweils einer wissenschaftlichen Mitarbeiterin oder einem wissenschaftlichen Mitarbeiter betreut. Nach einer an jeden Vortrag anknüpfenden Fragerunde geben die Teilnehmenden der Veranstaltung den Vortragenden ein ausführliches Feedback zur Vortragsweise. Darüber hinaus nimmt eine Expertin oder ein Experte des Sprachenzentrums an der Veranstaltung teil und gibt Rückmeldung zur sprachlichen Leistung während des Vortrags. Die Veranstaltung bietet sowohl Studierenden als auch wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern die Möglichkeit, unterschiedliche Kompetenzen zu verbessern. So werden nicht allein die Ausarbeitung und der Vortrag einer wissenschaftlichen Thematik praktiziert, sondern auch das Geben und Nehmen von Kritik sowie das fachliche Diskutieren auf Englisch. Die Teilnehmenden werden dadurch auf die Vorstellung von Forschungsergebnissen auf internationalen Konferenzen, aber auch auf das spätere Berufsleben vorbereitet.

Im Sommersemester 2020 wurde die Veranstaltung durch die englischsprachige Kommunikationstrainerin Linda Block unterstützt. Da aus Infektionsschutzgründen keine Präsenzveranstaltungen möglich waren, wurden in diesem Jahr anstatt der üblichen Präsenzvorträge verschiedene, virtuelle Vortragsformate gewählt. Die Präsentation wissenschaftlicher Inhalte in derartigen Formaten, aber auch deren kritische Bewertung waren für die meisten Teilnehmenden neue Erfahrungen. Besonders deutlich wurde dabei, wie herausfordernd die Erstellung eines Screen- oder Podcasts sein kann, aber auch welche Potentiale darin liegen können.

3.2.10 Industriepraktika

Im akademischen Jahr 2019/2020 wurden Industriepraktika von unserer Arbeitsgruppe bei folgenden Firmen betreut:

- Bertrandt, Tappenbeck
- Daimler AG, Böblingen
- Daimler AG, Stuttgart
- DLR, Braunschweig
- IAV GmbH, Gifhorn
- In-Tech GmbH, Wolfsburg
- ithron, Schneverdingen
- Poulina Group Holding, Ezzahra, Tunis
- Umlaut Systems GmbH, Stuttgart
- Volkswagen AG, Wolfsburg
- VW Groupservices GmbH, Wolfsburg
- Wabco GmbH, Hannover

3.3 Studentische Arbeiten

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

Entwicklung eines szenenbasierten Ansatzes für die systematische Erstellung von Fertigkeitengraphen für die Modellierung der Fertigkeiten eines automatisierten Straßenfahrzeugs, Masterarbeit, 2019

Entwicklung und Implementierung eines Ansatzes zur Aggregation von Qualitätsmetriken für die Bewertung eines Grid-basierten Umfeldmodells, Masterarbeit, 2019

Entwurf eines Softwareframeworks zur Selbstrepräsentation automatisierter Fahrzeuge mittels grafischer probabilistischer Modelle, Bachelorarbeit, 2019

Entwurf und Erprobung eines wissensbasierten Ansatzes zur Beurteilung von Befahrbarkeiten im städtischen Umfeld, Bachelorarbeit, 2019

Implementierung eines nichtlinearen und fehlertoleranten modellprädiktiven Trajektorienfolgereglers in den Versuchsträger Mobile, Masterarbeit, 2019

Untersuchung des Einflusses von Bildqualität auf eine Fahrstreifenerkennung, Masterarbeit, 2019

Untersuchung von Methoden zur Vorhersage der technischen Unfallschwere von Fahrzeugkollisionen für die Risikobewertung bei automatisierten Fahrzeugen, Masterarbeit, 2019

Entwicklung und Implementierung eines Deep-Learning-basierten Ansatzes zur Erkennung beweglicher Objekte in Lidar-Punktwolken, Masterarbeit, 2020

Entwicklung und Implementierung eines modularen Alterungsmodells für Batteriezellen in einer Hochvoltbatterie zur Analyse von Alterungsvorgängen auf Zellebene und zur Diagnose der Hochvoltbatterie während des laufenden Betriebs, Masterarbeit, 2020

Entwurf und Implementierung eines Moduls zur Repräsentation von Manövern in einem Risikoframework für automatisierte Straßenfahrzeuge, Masterarbeit, 2020

Entwurf und Implementierung von Modulen zur expliziten Darstellung und Behandlung von Verdeckungen in gitterbasierten Umfeldkarten, Bachelorarbeit, 2020

Implementierung einer fehlertoleranten Trajektorienfolgeregelung in den Versuchsträger MOBILE auf Basis analytischer Kraftallokation, Masterarbeit, 2020

Implementierung und Evaluation einer GNSS-unabhängigen Lokalisierungsmethode zur kartenrelativen Lokalisierung in einem statischen Umfeld, Bachelorarbeit, 2020

Lenkwinkelregelung mittels Antriebsmotor für Fahrzeuge mit radindividuellen Lenk- und Antriebseinheiten, Masterarbeit, 2020

3.4 Prüfungen am Institut

Im Berichtszeitraum wurden folgende Prüfungen abgelegt:

Name des Fachs	Anzahl der Prüfungen	Durchschnitts-note
Datenbussysteme	82	2,7
Elektromagnetische Verträglichkeit	196	3,2
Elektronische Fahrzeugsysteme	138	3,5
Fahrzeugsystemtechnik	125	3,4
Fahrerassistenzsysteme und automatisiertes Fahren	96	3,7
Grundlagen der Elektrotechnik	153	3,9
Hochvoltsicherheit im Kraftfahrzeug	17	1,7
Master-Teamprojekt	1	k. A.
Mathematische Methoden für elektronische Fahrzeugsysteme	5	k. A.
Advanced Topics in Automotive Systems Engineering	4	k. A.

Tabelle 3.6: Anzahl der Prüfungen im Rahmen unserer Lehrveranstaltungen

Teil II

**Berichte aus der
Forschung**

4 Wertebasierte Verhaltensentscheidung mit der Daimler und Benz Stiftung

von Susanne Ernst und Marcus Nolte

Ethische Aspekte von Verhaltensentscheidungen werden seit einigen 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 im Straßenverkehr betrachtet werden. Dabei steht vor allem die Umsetzung der sich aus der Diskussion ergebenden Ansätze in automatisierten Fahrzeugen im Fokus. Das Projekt ist eng verbunden mit den Forschungsaktivitäten auf demselben Gebiet der Arbeitsgruppe von Chris Gerdes, des Dynamic Design Labs an der Stanford University, die unter anderem durch die Daimler AG unterstützt wurde.

Sarah Thornton, ehemalige Mitarbeiterin des Dynamic Design Labs, reichte im Berichtszeitraum ihre Dissertation zum Thema „Autonomous Vehicle Motion Planning with Ethical Considerations“

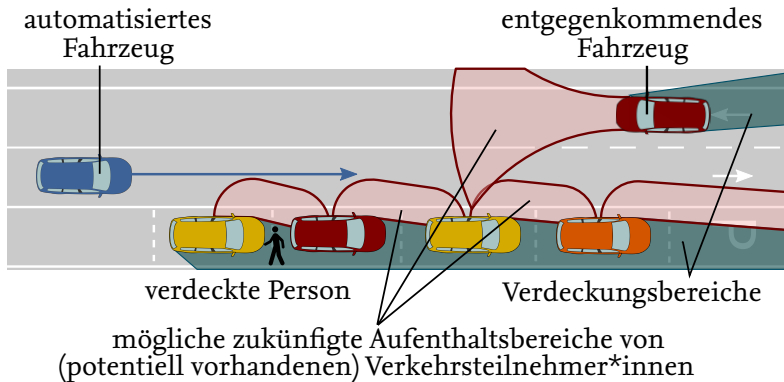


Abbildung 4.1: Beispielszenario, welches für die Diskussion zur Berücksichtigung der vorher identifizierten Werte genutzt wurde.

ein¹. Zudem soll die Zusammenarbeit zwischen Ingenieurwissenschaften und der Ethik gestärkt werden, um den interdisziplinären Dialog zu ermöglichen.

In den vergangenen Jahren wurden in unserer Arbeitsgruppe Werte identifiziert, die für die Fahrfunktion eines automatisierten Fahrzeugs relevant sind. Diese Werte betreffen das Bedürfnis nach Sicherheit, Mobilität, Komfort sowie die Beachtung der Straßenverkehrsregeln und Gesetze. Aufbauend auf der Identifikation dieser Werte lag der Fokus in diesem Jahr auf der Vorgehensweise, diese Werte in der Verhaltensentscheidung zu berücksichtigen. Dafür wurden Beispielszenarien genutzt, eines davon, unter Annahme einer städtischen Umgebung, ist in Abbildung 4.1 dargestellt. Zu sehen ist das automatisierte Fahrzeug links unten, welches eine Reihe parkender Fahrzeuge passiert. Die parken-

¹SARAH MARIE THORNTON: *Autonomous Vehicle Motion Planning with Ethical Considerations*, Stanford University, Dissertation, 2018. [online] https://stacks.stanford.edu/file/druid:xf021wy6841/ThorntonSarah_thesis_final-augmented.pdf

den Fahrzeuge verdecken die Sicht auf den Seitenstreifen, ein Fahrzeug kommt dem automatisierten Fahrzeug entgegen. Zusätzlich wird der Aktionsbereich des automatisierten Fahrzeugs durch ein entgegenkommendes Fahrzeug auf dem Nachbarfahrstreifen eingeschränkt. Eine über eine Teilstrecke durchgezogene Fahrstreifenbegrenzung verbietet dem automatisierten Fahrzeug zudem, den Fahrstreifen zu wechseln.

Das verwendete Beispielszenario zeigt in kompakter Form viele der Herausforderungen bei der Entwicklung automatisierter Fahrfunktionen. Eine zentrale Herausforderung ist der Umgang mit Unsicherheiten, sowohl im Entwicklungsprozess als auch in allen Systemteilen zur Laufzeit. Das Beispiel zeigt dies, unter anderem, anhand der eingezeichneten möglichen Aufenthaltsbereiche anderer dynamischer Objekte im Fahrzeugumfeld. Hier werden zwei Typen von Unsicherheit abgebildet: Zum Einen herrscht Unwissen über die nicht einsehbaren Bereiche des Umfelds. Theoretisch könnte aus jeder Lücke zwischen den parkenden Fahrzeugen beispielsweise ein Kind auf die Fahrbahn treten und sich im Rahmen seiner Bewegungsfähigkeiten fortbewegen. Zum Anderen kann sich das entgegenkommende Fahrzeug theoretisch im Rahmen der Fahrdynamik beliebig bewegen und in den unteren Fahrstreifen eintreten. Unter der Annahme, dass sich das automatisierte Fahrzeug bewegt, besteht im dargestellten Szenario also permanent eine theoretische Kollisionswahrscheinlichkeit (Gefährdung). Gemeinsam mit einer möglichen Verletzung eines Verkehrsteilnehmers im Falle einer solchen Kollision, ergibt sich im technischen Sinne (z.B. auch im Sinne der ISO 26262) ein Risiko.

Dieses Risiko ist zunächst unabhängig davon, ob es sich um ein technisches System oder um einen menschlichen Fahrer handelt – es handelt sich um ein dem Verkehrssystem inhärentes Risiko. Menschliche Fahrer und Fahrerinnen passieren solche Szenarien häufig, ohne ihre

Geschwindigkeit anzupassen. Für den Menschen sind die oben beschriebenen Risiken also im Sinne einer Abwägung zwischen Sicherheits- und Mobilitätsbedürfnis offensichtlich akzeptabel.

Das Beispiel zeigt aber genauso, dass auch von einem automatisierten Fahrzeug immer ein Risiko ausgeht. Auch wenn ein computergesteuertes System menschlichen Fahrenden in der Reaktionszeit überlegen ist, hängt das vom technischen System ausgehende Risiko wesentlich davon ab, in wie weit relevante Unsicherheiten im System repräsentiert werden und wie das System damit umgeht. Wie oben erwähnt, treten diese Unsicherheiten von der Auslegung eines automatisierten Fahrzeugs bis hin zum Einsatz des entwickelten Fahrzeugs im öffentlichen Straßenverkehr auf. Systemische Gründe für dieses Risiko sind beispielsweise die unvollständige und schwierige Definition von Anforderungen im Entwicklungsprozess. Funktionale Ursachen für das Risiko ergeben sich, wie am obigen Beispiel diskutiert, aus der Komplexität der vom Fahrzeug zu bewältigenden Situationen und aus den (Mess- und Prädiktions-) Unsicherheiten im Fahrzeugumfeld und im System selbst.

Ein zentraler Teil einer wertebasierten Verhaltensentscheidung für automatisierte Fahrzeuge ist die Repräsentation dieser Unsicherheiten sowie die Bewertung und Abwägung von Risiken. In dieser Hinsicht wirft das oben beschriebene Szenario u.a. folgende Fragen auf:

- Wie werden verdeckte Bereiche berücksichtigt, in denen sich potentiell Personen aufhalten können?
- Inwieweit muss mögliches Fehlverhalten der zu Fuß gehenden Person bzw. des entgegenkommenden Fahrzeugs antizipiert werden?

- Wie schnell darf ein automatisiertes Fahrzeug an den parkenden Fahrzeugen vorbeifahren?
- Darf die durchgezogene Linie bei genügend Abstand zum entgegenkommenden Fahrzeug überfahren werden, um den Abstand zu einem potentiell vorhandenen Kind zu vergrößern?

Die Abwägung zwischen Werten wie Sicherheit und Mobilität sollte unter diesen Aspekten das extern sichtbare Verhalten des automatisierten Fahrzeugs deutlich beeinflussen. Ein zentraler Punkt ist dabei zunächst die Bewertung der diskutierten Unsicherheiten: Eine maximal konservative Auslegung, die den Wert Sicherheit über allen anderen priorisiert, würde im obigen Beispiel einen Planungsraum auf Basis von Worst-Case-Vorhersagen wählen. Entsprechend würde es vor einer Verdeckung anhalten oder dem vorhergesagten Belegungsbereich eines potentiell vorhandenen Kinds ausweichen. Im Sinne einer Risikoabwägung unter dem Aspekt der Schadenreduzierung würde eine konservativ ausgelegte Verhaltensentscheidung so beispielsweise auch bei einem im Nachbarfahrstreifen entgegenkommenden Fahrzeug stoppen.

In letzter Konsequenz würde vermutlich ein Systemverhalten entstehen, dass den Verkehrsfluss im Vergleich zu menschlichen Fahrenden behindert. Bei einer höheren Gewichtung des Bedürfnisses nach Mobilität wären die Worst-Case Vorhersagen immer noch im System repräsentiert. Das System würde jedoch zur Wahl eines Planungsraums höhere (Kollisions-) Risiken zulassen und den Planungsraum somit im Vergleich zu einer konservativen Auslegung vergrößern. Schlussendlich würde ein dynamischeres Verhalten realisiert. Gleichzeitig würde von so einer optimistischeren Konfiguration natürlich ein höheres Risiko ausgehen. Die oben genannten Fragen und ihr Einfluss auf die vorgenannte Parametrisierung können allerdings immer nur situativ beantwortet werden. So würde das System vermutlich nachts in der Regel eine an-

dere Geschwindigkeit wählen als am Tag. Ebenso wären die gewählten Abstände größer, wenn eher mit dem Auftreten von zu Fuß Gehenden zu rechnen wäre, z.B. in der Nähe einer Schule. Dadurch ergeben sich eine Vielzahl von Verhaltensregeln, welche ohne den Kontext eines Szenarios nicht definiert werden können. Um diese Herausforderung zu adressieren, werden aktuell Konzepte diskutiert, die vom Entwicklungsprozess des Systems bis zur Ausführung der Algorithmen zur Laufzeit reichen. Im Fokus steht dabei die Frage, wie Werte im Entwicklungsprozess identifiziert und formuliert werden können, sodass automatisierte Fahrzeuge möglichst präzise gesellschaftlich erwünschtes Verhalten generieren.

Das Ziel ist es, die Werte explizit in der Verhaltensentscheidung zu berücksichtigen, um nachvollziehbare Entscheidungen treffen zu können. Um diesem Ziel näher zu kommen, wurde dieses Jahr die Zusammenarbeit mit der Universität Ottawa in Kanada aufgebaut. Jason Millar, Assistant Professor in Ottawa, forscht dort u.a. an der Schnittstelle zwischen Entwicklern und Entwicklerinnen technischer Systeme und der Auslegung dieser Systeme hinsichtlich einer gesellschaftlichen und ethischen Sichtweise. Als Anstoß für diese Zusammenarbeit diente dieses Jahr die Masterarbeit von Nayel Fabian Salem, bei der Anforderungen aus dem Entwicklungsprozess zu Randbedingungen der Verhaltensentscheidung zu Laufzeit abgeleitet werden sollten. Da die allgemeinen Anforderungen und die abgeleiteten Randbedingungen menschliche Werte repräsentieren, war sowohl die technische als auch die ethische Perspektive zur Betreuung der studentischen Arbeit erforderlich. In diesem Zuge ergaben sich viele neue Fragestellungen und Diskussionspunkte, die in der Zukunft weiter verfolgt werden sollen.

Dieses Jahr wurde uns nochmal sehr deutlich, dass für ein verantwortungsvolles Design automatisierter Fahrzeuge eine gesellschaftliche

Diskussion und die Zusammenarbeit von z.B. Ethikerinnen und Ethikern und Ingenieuren und Ingenieurinnen unbedingt nötig ist. Die Anforderungen müssen zusammen mit anderen Disziplinen entwickelt werden, sodass eine Basis für eine breitere gesellschaftliche Akzeptanz geschaffen wird.

5 Automatisiertes Fahren im Mischverkehr (AFiM)

von *Susanne Ernst*

Mit der Einführung des automatisierten Fahrens werden maschinell gesteuerte Systeme in den Straßenverkehr integriert werden und dort mit menschlichen Verkehrsteilnehmern interagieren. Schon heute wird der öffentliche Raum von unterschiedlichen Gruppen genutzt. So teilen sich vor allem zu Fuß gehende Personen, Fahrradfahrende 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. Daraus lässt sich die Anforderung ableiten, dass die objektive und gefühlte Verkehrssicherheit auf einem gleichwertigen oder höheren Niveau als aktuell liegen muss. Allerdings ist die Frage, wie viel besser ein automatisiertes System im Vergleich zu menschlichen Fahrer*innen sein muss, noch nicht abschließend geklärt. Gleichzeitig darf die Mobilität der Verkehrsteilnehmer*innen unter dem Gesichtspunkt der Sicherheit nicht zu stark limitiert werden.

¹BMVI: *BM Dobrindt zum Bericht der Ethik-Kommission zum automatisierten Fahren*, In: BMVI Mobilität, 20.06.2017. [online] https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/SocialMedia/Youtube/public/2017/06/BM-Dobrindt-zum-Bericht-der-Ethik-Kommission-zum-automatisierten-Fahren_vs7URCE6ulg.html, abgerufen am 15.11.2019

Das Ziel des Forschungsvorhabens ist die Untersuchung und Beurteilung der Wechselwirkung zwischen dem Risiko, welches von der Fahrfunktion automatisierter Fahrzeuge ausgeht, und der Leistungsfähigkeit von typischen innerstädtischen Verkehrsnetzen. Dem Projekt liegt die Forschungshypothese zugrunde, dass die Leistungsfähigkeit des Verkehrssystems maßgeblich von dem Risiko abhängt, das jede*r einzelne Akteur*in im Straßenverkehr auf sich nimmt.

Um Erkenntnisse über diese Wechselwirkung zu erhalten, werden unter anderem die Interaktionen zwischen zu Fuß gehenden Personen, Fahrradfahrenden und (automatisierten) Fahrzeugen im urbanen Mischverkehr analysiert. Zudem soll das Risikoerleben der Passagiere eines automatisierten Fahrzeugs erfasst werden, um damit auf ein von Menschen akzeptiertes Risikolevel aus Nutzersicht zu schließen. Die Idee, diese Zusammenhänge näher zu untersuchen, entstand aus den Diskussionen, die innerhalb des Projektes „Wertebasierte Verhaltensentscheidung“ (Kapitel 4) geführt worden sind. Es werden verschiedene Auslegungen des Fahrzeugverhaltens umgesetzt und die Wechselwirkungen mit den unterschiedlichen Verkehrsteilnehmer*innen und dem Verkehrsnetz betrachtet. 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 beteiligte sich zunächst an der Definition relevanter Szenarien. Dies beinhaltet die Betrachtung von wichtigen Knotenpunkten und Querungen sowie typische kritische Interaktionen, die grundlegendes Gefährdungspotential aufweisen. Der Fokus liegt dabei auf der Identifizierung von Szenarien für die Untersuchung der Leistungsfähigkeit des Verkehrsnetzes auf makroskaler Ebene und des subjektiven Risikos auf mikroskaler Ebene in Abhängigkeit des objektiven Risikos. Für die folgenden Untersuchungen wurde die Anpassung der im Projekt Stadtpilot genutzten Fahrfunktion an die Anforderungen der definierten Szenarien durchgeführt. Dafür wurden 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 eingebracht wird, zu variieren. Durch die Variation des Risikos wird eine Änderung der Leistungsfähigkeit des Verkehrssystems erwartet und hat damit einen direkten Einfluss auf die Mobilität jedes*jeder einzelnen Verkehrsteilnehmer*in. Dieser Zusammenhang soll zusammen mit dem Institut für Verkehr und Stadtbauwesen der TU Braunschweig in einer makroskalen Verkehrsflusssimulationsumgebung untersucht werden. Für diese Untersuchungen müssen zunächst genauere Kenntnisse über das Verhalten eines automatisierten Fahrzeugs bei unterschiedlichen Risikoleveln gewonnen werden. Dafür wurden im letzten Jahr Szenarien in einer am Institut genutzten Simulationsumgebung erstellt, die einzelne Szenarien abbildet. Diese einzelnen Szenarien, beispielsweise das Abbiegen an einer Kreuzung, werden mit unterschiedlichen Risikoparametrierungen durchfahren. Dies lässt sich beispielsweise

durch eine Variation der Fahrgeschwindigkeit oder der Sicherheitsabstände zu anderen Verkehrsteilnehmern erzielen. Die Ergebnisse werden im Anschluss zur Kalibrierung der Verkehrsflusssimulation genutzt, um eine möglichst genaue Abbildung des Fahrzeugverhaltens bei unterschiedlichen Risikoniveaus zu erhalten.

Darüber hinaus wurde die angepasste Fahrfunktion im Versuchsträger „Vehicle-in-the-Loop“ (ViL) appliziert, um das subjektive Risiko aus der Sicht der Nutzenden mit dem objektiven Risiko 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, auch Grenzsituationen mit sehr geringen Abständen und hohen Geschwindigkeiten gefahrlos in einem echten Fahrzeug mit virtueller Umgebung durchzuführen. Für eine Probandenstudie werden zwei verschiedene Szenarien untersucht. Das erste ist in Abbildung 4.1 dargestellt, bei dem das automatisierte Fahrzeug parkende Fahrzeuge passiert, während ein anderer Verkehrsteilnehmer auf dem Nachbarfahrstreifen entgegenkommt. Der Nutzer bzw. die Nutzerin soll verschiedene Auslegungen des Fahrzeugverhaltens erfahren, die durch unterschiedliche Geschwindigkeiten und Abstände zu den verdeckten Bereichen bzw. dem entgegenkommenden Fahrzeug erkennbar sind. Die verschiedenen Auslegungen werden am Ende jeweils von den Probanden und Probandinnen bewertet.

Im zweiten Szenario in Abbildung 5.1 nähert sich das automatisierte Fahrzeug einer Einmündung mit einer querenden, fahrradfahrenden Person. Da das automatisierte Fahrzeug Vorfahrt gewähren muss, soll es an einem bestimmten Punkt zum Stehen kommen. Der Proband oder die Probandin muss über einen Knopf im Innenraum des ViLs den Verzögerungsvorgang einleiten. Dabei soll der Verzögerungsvorgang einmal bei einem für den Proband oder die Probandin komfortablen

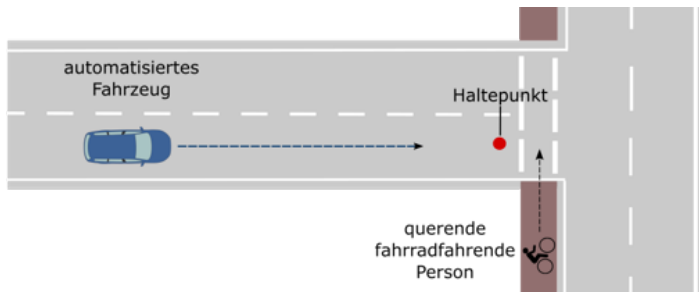


Abbildung 5.1: Zweites Szenario der Probandenstudie im ViL

Zeitpunkt eingeleitet werden und einmal zum (subjektiv) letztmöglichen Zeitpunkt. In diesem Szenario soll untersucht werden, in welchem Zeitbereich ein Bremsvorgang für den Nutzer oder die Nutzerin angenehm bzw. gerade noch toleriert wird. Variiert wird bei dieser Untersuchung die Fahrgeschwindigkeit, mit der sich das automatisierte Fahrzeug der Einmündung und der querenden Person nähert. Nachdem im letzten Berichtszeitraum die hardwareseitigen Änderungen des ViL Prüfstandes für die Durchführung der geplanten Probandenstudie abgeschlossen wurden, konzentrierte sich die Arbeit in diesem Jahr auf die softwareseitige Anpassung. Dies beinhaltet die Umsetzung der vorher identifizierten Risikoparameter in der Fahrfunktion. Die Fahrversuche sollen überprüfen, wie sich die Variation des Risikos im Realfahrzeug für einen Probanden oder eine Probandin 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.

6 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*innen prototypisch entwickelt werden. Für diese Personengruppen stellen insbesondere innerstädtische Kreuzungen eine erhebliche Herausforderung im Straßenverkehr da. Mit Hilfe von automatisierten Fahrfunktionen sollen menschliche Fahrer*innen 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 bzw. der Fahrerin 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 Projekts wurde die Fahrfunktion des automatisierten Fahrzeugs für das automatisierte Durchfahren einer Kreuzung mit Querverkehr erweitert. Der Fahrer bzw. die Fahrerin hat die Möglichkeit, die Fahraufgabe zeitweise dem entwickelten System zu übertragen. Das Fahrzeug kann den menschlichen Fahrer bzw. die menschliche Fahrerin dann zum Beispiel unterstützen, indem es bei der Anfahrt auf die Kreuzung automatisiert auf den richtigen Fahrstreifen wechselt und die Kreuzung automatisiert passiert. Im Rahmen des Projekts soll dies anhand des Vehicle-In-The-Loop Prüfstands in einer simulierten Umgebung demonstriert werden.



Abbildung 6.1: Der im Projekt eingesetzte Vehicle-In-The-Loop Versuchsträger auf dem Versuchsgelände während der Tests für eine abschließende Präsentation.

Leider hat sich die aktuelle Corona-Situation auch auf den Testbetrieb des Projekts EPICa ausgewirkt. Da während der Tests immer zwei Sicherheitsfahrer*innen im Fahrzeug sitzen müssen, musste der Testbetrieb zu Beginn des Jahres zunächst für einen längeren Zeitraum unterbrochen werden. Erst im Spätsommer konnte unter den gegebenen Hygieneauflagen der Technischen Universität Braunschweig der Versuchsbetrieb weiter fortgeführt werden. Abbildung 6.1 zeigt den Versuchsträger während der Fahrversuche im Oktober im Rahmen des Projekts.

7 Vernetzung virtualisierter Verkehrsinfrastrukturen und automatisierter Fahrfunktionen für nachhaltige Mobilitätslösungen (ViVre)

von Felix Grün, Jan Richelmann

Ziel des Projektes ViVre (Vernetzung virtualisierter Verkehrsinfrastrukturen und automatisierter Fahrfunktionen für nachhaltige Mobilitätslösungen) ist es, den Herausforderungen, welche aus den wachsenden Mobilitätsbedarf sowohl von Personen als auch von Gütern für die innerstädtische Verkehrsinfrastruktur erwachsen, mit intelligenten, emissionsarmen und nachhaltigen Mobilitätslösungen zu begegnen. Dies geschieht im Rahmen des Projektes über die Erforschung von Möglichkeiten zur Virtualisierung der Verkehrsinfrastruktur und ihrer Vernetzung mit automatisierten Fahrzeugen insbesondere an zentralen Verkehrsknotenpunkten. Einen Schwerpunkt des Projektes bilden hierbei automatisierte und vernetzte Fahrfunktionen, die im Zusammenspiel mit virtuellen Bedarfshaltestellen, welche in Echtzeit erzeugt, verlegt und wieder aufgelöst werden, individuelle Mobilitätslösungen realisieren.

Das Projekt baut hierbei auf den Erfahrungen aus dem Projekt Digitaler Knoten 4.0 auf, in welchem digitale Straßenkreuzungen als kooperative

Gesamtsysteme aus Verkehrsinfrastruktur, vernetzten, automatisierten Fahrzeugen und nicht-vernetzten Verkehrsteilnehmer*innen untersucht wurden. Der Gedanke des Zusammenspiels von Infrastruktur und automatisierten Fahrzeugen wird aus dem Digitalen Knoten 4.0 in ViVre übernommen und dort weitergeführt. Insbesondere werden Konzepte für virtuelle Haltestellen erarbeitet, im realen Straßenverkehr sowie in der Simulation umgesetzt und evaluiert.

Das Institut für Regelungstechnik bringt sich in das Projekt mit seiner Expertise im Betrieb von Versuchsträgern und der Entwicklung von Wahrnehmungsalgorithmen und Fahrfunktionen für das automatisierte Fahren ein. Insbesondere beteiligten sich Mitarbeiter des Instituts im Berichtszeitraum an der Definition von Use Cases und Anwendungen sowie bei der Ableitung von Anforderungen an die Wahrnehmung und Fahrfunktion und konnten hier ihre besonderen Erfahrungen in der fahrzeugseitigen Funktionsentwicklung einbringen. Gemeinsam mit ihren Partnern aus dem Projektkonsortium definierten sie mehrere Use Cases, welche die Projektziele zunächst in konkrete Anforderungen und schlussendlich in reale Demonstrationen überführen, und erarbeiteten eine strukturierte Beschreibung, die anschließend jedem Projektpartner zur Verfügung gestellt wurde.

Nach der Erarbeitung der Use Cases und der Ableitung der Anforderungen begannen Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik mit der Erweiterung der Wahrnehmung, der internen Szenenrepräsentation und der Fahrfunktion. Diese werden im Laufe des nächsten Jahres weiter entwickelt, um den erarbeiteten Anforderungen gerecht zu werden und innovative Funktionalitäten in einer anspruchsvollen Live-Demonstration rund um das Thema virtuelle Bedarfshaltestellen und individuelle Mobilitätslösungen zu präsentieren.

Das Projekt ViVre wird durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) mit 6,43 Millionen Euro über eine Laufzeit von 2 Jahren gefördert. Das Konsortium mit 7 Partnern aus Industrie und Wissenschaft nahm seine Arbeit im Januar 2020 auf.

8 UNICARagil

von Inga Jatzkowski, Torben Stolte, Tobias Schröder und Robert Graubohm

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 acht Universitäten sowie sechs Industriepartnern. Auf universitärer Seite sind die RWTH Aachen als Konsortialführer, die TU Braunschweig mit den Instituten für Regelungstechnik sowie für Datentechnik und Kommunikationsnetze, die TU Darmstadt, das Karlsruher Institut für Technologie, die TU München, die Universität Stuttgart, die Universität Ulm und die Universität Passau 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:

- *autoTAXI*: Automatisiertes Taxi
- *autoELF*: Automatisiertes Fahrzeug im Besitz einer Familie, das generationsübergreifenden Anforderungen gerecht wird
- *autoCARGO*: 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. Eine Skizze des Gesamtkonzepts ist in Abbildung 8.1 dargestellt.

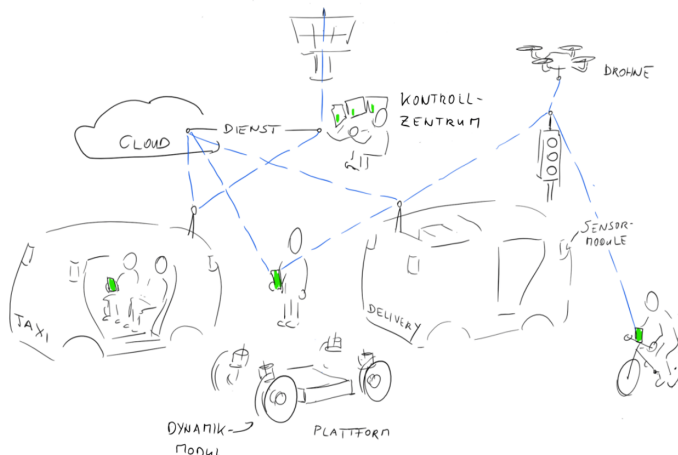


Abbildung 8.1: Skizze des Gesamtkonzepts des Projekts *UNICARagil* ©ika, Eckstein

Die Projektumfänge des Instituts für Regelungstechnik sind in zwei wesentliche Bereiche unterteilt. Der erste Bereich umfasst die Entwicklung des Fahrzeugs im Anwendungsfall *autoELF*. Im zweiten Bereich wird die **Sicherheit** der Fahrzeuge betrachtet.

Bei der *autoELF* handelt es sich um ein **automatisiertes Fahrzeug im Familienbesitz**. Bei der Konzipierung des Fahrzeugs wird das Ziel verfolgt, die selbstständige Nutzung durch Familienmitglieder zu ermöglichen, die bei der Nutzung eines konventionellen Pkw auf die Hilfe einer Begleitperson angewiesen sind. Neben Kindern umfasst dies beispielsweise ältere Personen und Personen mit körperlichen Einschränkungen. Auf diese Weise profitieren nicht allein die Passagiere von der realisierten Mobilität, sondern auch Angehörige, für die bisher erforderliche Fahrten zum Zweck der Begleitung entfallen.

Nachdem in den ersten beiden Projektjahren die konzeptionelle Ausrichtung des Fahrzeugs definiert und Entwürfe für die Gestaltung des Innenraums entwickelt wurden, konnten im Jahr 2020 viele der fahrzeugspezifischen Bauteile konstruiert und Innenraummaterialien ausgewählt werden. Gleichzeitig wurden bereits erste Innenraumkomponenten beschafft und die Vergabe wichtiger Gewerke eingeleitet.

Da das eigentliche Fahrzeug erst in einer späteren Projektphase für die Integration der anwendungsfallspezifischen Komponenten nach Braunschweig kommt, wurde die in Abbildung 8.2 dargestellte Sitzkiste realisiert. Diese bildet die den Innenraum umgebenden Aufbaustrukturen des Fahrzeugs geometrisch ab, sodass alle bedeutenden Baugruppen, wie beispielsweise die Sitzanlage oder der Unterbodenlift, vorab in der Sitzkiste montiert und in Betrieb genommen werden können. Zudem stellt die Sitzkiste aufgrund ihrer geometrischen Ähnlichkeit zur Fahrzeugstruktur ein wichtiges Hilfsmittel beim frühzeitigen Aufbau des Innenraumbordnetzes dar.

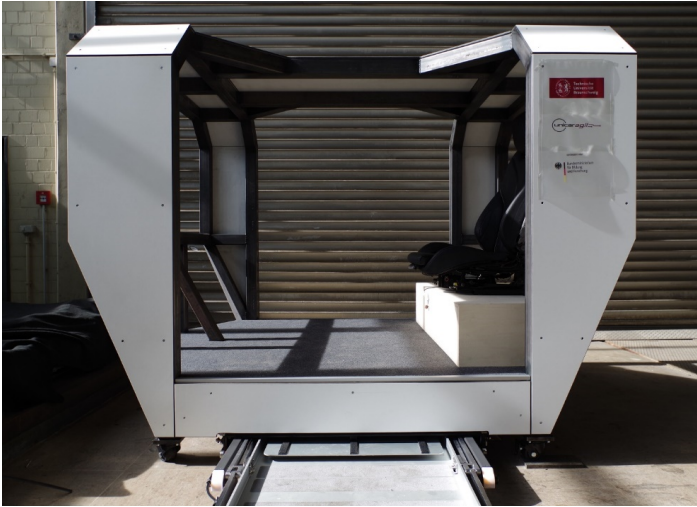


Abbildung 8.2: Sitzkiste zur Inbetriebnahme anwendungsfallspezifischer Fahrzeugkomponenten

Die endgültige Fertigstellung der Prototypen wird für das Jahr 2022 angestrebt. Währenddessen werden bereits einzelne Funktionen erprobt. Spätestens bis zum Ende des Projektes im Jahr 2022 soll die *autoELF* zusammen mit den drei anderen UNICAR*agil*-Fahrzeugen der Öffentlichkeit präsentiert werden und einen Ausblick auf den Individual- und Lieferverkehr der Zukunft geben.

Im zweiten Bereich, der **Sicherheit** der Fahrzeuge, liegt der Schwerpunkt auf der Entwicklung eines Sicherheitskonzepts für die automatisierte Fahrfunktion. Die Betrachtungen gehen aufbauend auf den Erfahrungen aus dem Projekt aFAS 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 Ver-

kehrsteilnehmer*innen, 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 wurde in Anlehnung an die ISO 26262 erstellt und wird kontinuierlich im Projektverlauf weiterentwickelt. 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 UNICARagil.

Neben der Weiterführung der Arbeiten zur Generierung eines zusammenhängenden Systemverständnisses lag im aktuellen Berichtszeitraum ein weiterer Fokus der Sicherheitsaktivitäten auf der Entwicklung

einer partnerübergreifenden Sicherheitsargumentation. Ziel dieser Aktivitäten ist, einen Rahmen zu schaffen für die Dokumentation der Sicherheitsaktivitäten, die an fast allen Standorten des Projektkonsortiums mit jedoch ganz unterschiedlichen Schwerpunkten durchgeführt werden. Neben der wissenschaftlichen Betrachtung zielen diese Aktivitäten darauf ab, einen sicheren Versuchsbetrieb mit den UNICAR*agil*-Fahrzeugen sowie vor allem eine sichere Abschlussdemonstration zu ermöglichen. Zentral ist dabei auch die Diskussion der Anforderungen an ein Freigabedokument, z. B. wie Unsicherheiten im Freigabedokument transparent dargestellt werden können.

Im Rahmen der Selbstwahrnehmung wurde im aktuellen Berichtszeitraum vornehmlich die Weiterentwicklung des Betriebsmodusmanagements vorangetrieben. Hierbei handelt es sich um eine zentrale Entscheidungsinstanz im Fahrzeug, welche einen Wechsel zwischen den verschiedenen Betriebsmodi des Fahrzeugs ermöglicht. Diese wird in Zusammenarbeit mit Kollegen der RWTH Aachen und der Universität Ulm umgesetzt. Es wurde weiter eine Formalisierung des Modellierungsprozesses der zur Erfüllung der automatisierten Fahraufgabe nötigen Fahrzeugfertigkeiten erarbeitet, welcher im Projekt eingesetzt wird. Zudem wurde in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern eine Analyse von sogenannten Wirkketten im Fahrzeug weiterverfolgt. Wirkketten beschreiben dabei die Datenverarbeitung entlang eines Pfades innerhalb des Fahrzeugs, etwa von der Datenaufnahme an der Umfeldsensorik bis zur Umsetzung einer Aktion an der Aktorik des Fahrzeugs. Entlang dieser Wirkketten sollen etwa Eigenschaften wie Latenz der Datenübertragung oder die Fortpflanzung von Unsicherheiten im System untersucht werden.

Insgesamt empfinden wir die Zusammenarbeit im Projekt als sehr eng, vertrauensvoll und konstruktiv. Aufgrund der Corona-Pandemie konn-

ten in diesem Jahr die meisten Treffen nicht persönlich stattfinden und wurden so gut wie möglich durch digitale Treffen ersetzt, siehe Tabelle 8.1. Der Wegfall persönlicher Treffen erschwerte jedoch besonders die spontanen Absprachen und kurzen klärenden Gespräche zwischen den Projektpartnern, welche sonst auf den Konsortialtreffen stattfinden.

Datum	Anlass	Teilnehmende
16.12.2019 – 19.12.2019	Konsortialtreffen in Stuttgart	Robert Graubohm, Tobias Schräder, Torben Stolte
24.03.2020 – 26.03.2020	Halbzeitevent & Konsortialtreffen (digital)	Markus Maurer, Robert Graubohm, Inga Jatzkowski, Tobias Schräder, Torben Stolte
08.06.2020 – 10.06.2020	Konsortialtreffen (digital)	Markus Maurer, Robert Graubohm, Inga Jatzkowski, Tobias Schräder, Torben Stolte
02.09.2020 – 04.09.2020	Konsortialtreffen (digital)	Markus Maurer, Robert Graubohm, Inga Jatzkowski, Tobias Schräder, Torben Stolte

Tabelle 8.1: Treffen innerhalb des Projekts UNICARagil

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

9 SET Level 4to5

von Markus Steimle

Automatisiertes Fahren ist seit einigen Jahren zentraler Bestandteil der Forschung im Automobilbereich. Dabei ist die Entwicklung von automatisierten Fahrfunktionen in den vergangenen Jahren so weit fortgeschritten, dass bereits heute für ausgewählte verkehrliche Situationen automatisierte Fahrfunktionen demonstriert werden können. Diese Demonstrationen finden allerdings unter eng definierten Bedingungen statt. Für die Freigabe beziehungsweise Markteinführung der entsprechenden Fahrzeuge sind sie deshalb nicht hinreichend. Deshalb rückt zunehmend das Thema der Absicherung automatisierter Fahrzeuge in den Fokus der Forschung und Entwicklung. So stand zum Beispiel im Forschungsprojekt PEGASUS¹, das im Jahr 2019 abgeschlossen wurde, das Testen hochautomatisierter Fahrzeugfunktionen am Anwendungsfall eines Autobahn-Chauffeurs (SAE Level 3) im Mittelpunkt. Für die Entwicklung und das Testen automatisierter Fahrzeuge sollen zukünftig insbesondere simulationsbasierte Methoden und Werkzeuge einen wertvollen Beitrag liefern.

Das Forschungsprojekt *SET Level 4to5* (Simulationsbasiertes Entwickeln und Testen von Level 4 und 5 Systemen) setzt genau an diesem Punkt an. SET Level 4to5 konzentriert sich auf simulationsbasierte Methoden und Werkzeuge, die während der Entwicklung und dem Testen automatisierter Fahrzeuge eingesetzt werden können. Als zentraler Anwendungsfall wird das automatisierte Fahren (SAE Level 4 und 5) in urbanen Räumen betrachtet. Dabei knüpft SET Level 4to5 unmittelbar an die im Projekt PEGASUS generierten Ergebnisse an. SET Level 4to5

¹<https://www.pegasusprojekt.de/de/>, abgerufen am 09.10.2020.

ist eng mit dem Projekt VVMethoden verzahnt, bei dem Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik ebenfalls beteiligt sind (siehe Kapitel 10). In VVMethoden werden eine Systematik sowie Methoden für den praxistauglichen Sicherheitsnachweis für vollautomatisierte und fahrerlose Fahrzeuge im urbanen Umfeld entwickelt. Beide Projekte gehören als Nachfolgeprojekte von PEGASUS zur „PEGASUS Projektfamilie“. Ziel der „PEGASUS Projektfamilie“ ist es, einen Gesamtansatz zur Verifikation und Validierung automatisierter Systeme zu entwickeln und zu industrialisieren.

Ziel von SET Level 4to5 ist es, numerische Simulationsmethoden weiterzuentwickeln sowie neue Mechanismen zur Modellkopplung zu konzeptionieren und umzusetzen. Des Weiteren sollen Simulationsmodelle punktuell neu entwickelt werden, die neben dem jeweiligen korrekten Verhalten auch ein zu erwartendes nicht-normatives Verhalten ausreichend valide abbilden. Ein wichtiger Aspekt dabei ist die Schaffung einer Architektur für eine universell, möglichst offen und modular einsetzbare Simulationsplattform, die in aktuelle Standardisierungsaktivitäten einfließen soll.

Die 20 Partner aus Industrie (OEMs und Zulieferer) und Wissenschaft nahmen am 01. März 2019 ihre Arbeit auf. SET Level 4to5 wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) mit 16,5 Millionen Euro über eine Laufzeit von dreieinhalb Jahren gefördert.

Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik bearbeiten in SET Level 4to5 Aufgaben mit unterschiedlichen Schwerpunkten. Die in den Projekten PEGASUS und aFAS² entwickelten Methoden und Werkzeuge zur Szenariengenerierung und Anforderungserhebung an Simulationsmodelle werden in SET Level 4to5 weiterverfolgt. Zusätzlich beschäftigen sich Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik mit der Herleitung

²<https://www.afas-online.de/projektueberblick/>, abgerufen am 09.10.2020.

und Definition von Simulationszielen und Simulationsprinzipien und leiten funktionale Anforderungen an die Simulation ab. Dabei werden unter anderem die Erfahrungen aus dem Projekt Stadtpilot berücksichtigt. Ein weiterer Beitrag des Instituts für Regelungstechnik ist eine Leistungsbeschreibung der Simulationsumgebung und ihrer Komponenten. Dadurch wird die Grundlage für eine effektive und effiziente Zusammenstellung und Kopplung von Simulationsmodellen für die Durchführung der Simulationsläufe geschaffen.

Im Berichtszeitraum hat sich ein Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik mit der Erhebung von funktionalen Anforderungen an die oben genannte Simulationsplattform beschäftigt und mit den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der beteiligten Projektpartner abgestimmt. Darauf aufbauend hat sich dieser Mitarbeiter an der Entwicklung einer entsprechenden funktionalen Architektur dieser Simulationsplattform beteiligt. Zusätzlich hat er an der Untersuchung von Methoden zur Validierung von Simulationsmodellen und der Analyse von Standards, die für SET Level 4to5 relevant sein könnten, mitgewirkt.

Weitere Schwerpunkte des Instituts für Regelungstechnik lagen auf der Definition von Referenzszenarien sowie einer abstrakten Szenariobeschreibungssprache. Hierzu hat ein Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik unterschiedliche Kreuzungen entlang des Braunschweiger Stadtrings betrachtet und hinsichtlich auftretender Verkehrselemente analysiert. Die auftretenden Verkehrselemente wurden strukturiert und eine Auswahl der Elemente in einer Domänenontologie modelliert. Die Domänenontologie soll zur automatisierten Generierung von Szenarien für die Simulation genutzt werden. Dieser Ansatz wird im nächsten Berichtszeitraum detaillierter untersucht.

10 VVMethoden

von Till Menzel

Automatisiertes Fahren ist in den letzten Jahren in den Fokus der Öffentlichkeit gerückt und ein Schwerpunkt der Forschung und Entwicklung geworden. Bei der Freigabe und Einführung vollautomatisierter und fahrerloser Fahrzeuge kommt der Absicherung eine Schlüsselrolle zu. Diese ist sowohl durch den hohen zeitlichen und finanziellen Anteil an der Wertschöpfungskette als auch durch die rechtlichen und image-technischen Auswirkungen begründet. Demzufolge werden diejenigen Automobilhersteller und Zulieferer einen Wettbewerbsvorteil haben, die den Prozess der Verifikation und Validierung zeit- und kosteneffizient im Rahmen der gesetzlichen Vorgaben als Erste beherrschen.

Das Projekt „Verifikations- und Validierungsmethoden automatisierter Fahrzeuge Level 4 und 5“ (VVMethoden) setzt bei dieser Herausforderung an. Das Projektkonsortium entwickelt eine Systematik sowie Methoden für den praxistauglichen Sicherheitsnachweis für vollautomatisierte und fahrerlose Fahrzeuge im urbanen Umfeld. VVMethoden wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) mit 26,7 Millionen Euro über eine Laufzeit von vier Jahren gefördert. Die 23 Partner aus Industrie (OEMs und Zulieferer), Wissenschaft und Prüforganisationen nahmen am 01. Juli 2019 ihre Arbeit auf.

VVMethoden setzt auf den Ergebnissen aus dem Projekt PEGASUS¹ auf. In PEGASUS wurde ein Ansatz zur szenarienbasierten Absicherung von SAE Level 3 Fahrfunktionen mit Fokus auf dem Anwendungsfall Autobahn entwickelt. Das Projekt VVMethoden erweitert die PEGASUS-Ergebnisse auf SAE Level 4 und 5 Fahrfunktionen unter Berücksichti-

¹<https://www.pegasusprojekt.de/de/>, abgerufen am 13.10.2020.

gung des Anwendungsfalls urbane Kreuzung. Des Weiteren werden in VVMethoden der Entwicklungsprozess und die Sicherheitsnachweise der Fahrfunktionen integriert betrachtet. Dies folgt dem Entwurfsprinzip „Design für Testbarkeit“ und ermöglicht es, Teilsysteme und Komponenten bereits vor der Gesamtsystemintegration zu qualifizieren. Zeitgleich wird auf diese Weise ein früher Austausch von Testfällen und Testergebnissen zwischen OEMs und Zulieferern ermöglicht.

Ein weiteres Nachfolgeprojekt von PEGASUS, an dem Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik beteiligt sind, ist das Projekt SET Level 4to5 (siehe Kapitel 9). Der Fokus von SET Level 4to5 liegt dabei auf der Entwicklung einer Simulationsplattform, die auch in VVMethoden eingesetzt wird. Sowohl SET Level 4to5 als auch VVMethoden gehören zur „PEGASUS Projektfamilie“ und pflegen einen intensiven Austausch miteinander. Ziel der „PEGASUS Projektfamilie“ ist es, einen Gesamtansatz zur Verifikation und Validierung automatisierter Systeme zu entwickeln und zu industrialisieren.

In VVMethoden haben Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik Aufgaben mit unterschiedlichen Schwerpunkten übernommen. Zum einen bringen die Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik die Erfahrungen aus den Projekten aFAS² und UNICARagil³ ein und erarbeiten eine strukturierte Beschreibung des betrachteten Entwicklungsgegenstandes. Hierzu wurde im Berichtszeitraum eine inhaltliche Struktur für die Beschreibung des Entwicklungsgegenstandes (engl. Item Definition) erarbeitet. Eine erste belastbare Version der Beschreibung des Entwicklungsgegenstandes wird aktuell unter Federführung der Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik mit den Projektpartnern abgestimmt.

²<https://www.afas-online.de/projektueberblick/>, abgerufen am 12.10.2020.

³<https://www.unicaragil.de/de/>, abgerufen am 12.10.2020.

Aufbauend auf dieser Beschreibung leiten Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik gemeinsam mit anderen Projektmitgliedern ein Sicherheitskonzept für den Entwicklungsgegenstand ab und definieren eine funktionale Systemarchitektur. Hierzu haben Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik im Berichtszeitraum Vorarbeiten zur Ableitung einer funktionalen Systemarchitektur sowie zur Definition von benötigten Systemfähigkeiten in das Projekt eingebracht. Darauf aufbauend wurden die funktionalen Blöcke der Architektur unter Berücksichtigung von Projektanforderungen gemeinsam mit den anderen Projektmitgliedern konkretisiert.

Weiterführend bringt das Institut für Regelungstechnik seinen Referenzsensorikprüfstand in das Projekt ein und erhebt und labelt Daten im Braunschweiger Stadtgebiet. Hierzu hat ein Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik im Berichtszeitraum das Sensorikkonzept des Versuchsträgers analysiert und mögliche Schwachstellen identifiziert. Aufbauend auf dieser Analyse wurde ein aktualisiertes Sensorikkonzept für Referenzdatensätze im urbanen Raum abgeleitet.

Ein weiterer Schwerpunkt des Instituts für Regelungstechnik im Projekt VVMethoden liegt auf der Erstellung und Parametrierung von Szenarien im Rahmen eines integrierten Entwicklungs- und Testprozesses. Diese Arbeiten werden im nächsten Berichtszeitraum intensiviert.

Teil III

**Publikationen und
Medienberichte**

11 Publikationen

GRAUBOHM, R.; SCHRÄDER, T.; MAURER, M.: Value Sensitive Design in the Development of Driverless Vehicles: A Case Study on an Autonomous Family Vehicle. In: *Proceedings of the Design Society: DESIGN Conference*. Cavtat, Croatia : Cambridge University Press, 2020

GRAUBOHM, R.; STOLTE, T.; BAGSCHIK, G.; MAURER, M.: Towards Efficient Hazard Identification in the Concept Phase of Driverless Vehicle Development. In: *2020 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*

KNÜPPEL, A.; JATZKOWSKI, I.; NOLTE, M.; THÜM, T.; RUNGE, T.; SCHAEFFER, I.: Skill-Based Verification of Cyber-Physical Systems. In: WEHRHEIM, H. (Hrsg.); CABOT, J. (Hrsg.): *Fundamental Approaches to Software Engineering*, Springer International Publishing (Lecture Notes in Computer Science)

NOLTE, M.; SCHUBERT, R.; REISCH, C.; MAURER, M.: Sensitivity Analysis for Vehicle Dynamics Models – An Approach to Model Quality Assessment for Automated Vehicles. In: *2020 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*

12 Die Arbeitsgruppe in den Medien

Unser Institut konnte auch im akademischen Jahr 2019/2020 wiederum ein großes Medienecho erzielen. Im Folgenden findet sich eine Auswahl von Beiträgen und Artikeln in diversen Medienformaten.

12.1 Radio und Fernsehen

Medium	Datum	Artikel
Radio Okerwelle	10.02.2020	Carolo Cup (Genauer Arbeitstitel nicht bekannt)
NDR	11.02.2020	Niedersachsen 18.00 Uhr - Carolo-Cup (Genauer Arbeitstitel nicht bekannt)
NDR	11.02.2020	Hallo Niedersachsen - Carolo-Cup Selbstfahrende Modelle flitzen um die Wette

12.2 Printmedien

Medium	Datum	Artikel
Braunschweiger Zeitung	02.10.2019	Autonomes Fahren: Freispruch mit Auflagen
Braunschweiger Zeitung	10.02.2020	21 Teams treten beim Carolo-Cup in der Stadthalle an
Wolfenbütteler Zeitung	11.02.2020	In Braunschweig messen sich High-Tech-Modellfahrzeuge
Braunschweiger Zeitung	12.02.2020	Selbst der Farbwechsel-Lack fehlt
Braunschweiger Zeitung	13.02.2020	Teams aus der Region sind erfolgreich
Braunschweiger Zeitung	15.07.2020	Vier Autos für das autonome Fahren
Braunschweiger Zeitung	21.07.2020	TU sucht Teilnehmer für Online-Videostudie

12.3 Veröffentlichungen auf Internetseiten

Medium	Datum	Artikel
Goslarsche Zeitung	05.02.2020	Finale des Carolo-Cups steigt in der Stadthalle
NDR.de	06.02.2020	Carolo:Cup: Autonomes Fahren im Miniaturformat
Braunschweiger-Zeitung.de	09.02.2020	Wolfsburger Team „e.Wolf“ will mit Mini-Boliden aufs Treppchen
Braunschweiger-Zeitung.de	11.02.2020	Carolo-Cup in Braunschweig: Modellautos fahren um 11.000 Euro
WELT ONLINE	11.02.2020	Entwickler schicken automatisierte Miniautos ins Rennen
Welt.de	11.02.2020	Carolo-Cup: Automatisierte Modellfahrzeuge kämpfen um Sieg
cellesche-zeitung.de	11.02.2020	Carolo-Cup: Automatisierte Modellfahrzeuge kämpfen um Sieg
t-online.de	11.02.2020	Team der Uni Ulm misst sich beim Carolo-Cup
Sueddeutsche.de	11.02.2020	Entwickler schicken automatisierte Miniautos ins Rennen
cellesche-zeitung.de	11.02.2020	Entwickler schicken automatisierte Miniautos ins Rennen
Braunschweiger-Zeitung.de	12.02.2020	Teams aus der Region in Braunschweig beim Carolo-Cup



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

ISBN: 978-3-9814969-9-4