



Elektronische Fahrzeugsysteme 2022

Jahresbericht: Akademisches Jahr 2021/2022

Markus Maurer

Marvin Loba (Hrsg.)

Die TU Braunschweig bekennt sich zu einem verantwortungsvollen Umgang mit Ressourcen. Der Jahresbericht wurde klimaneutral produziert.

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier.

Titelbild

Fahrzeug *autoELF* aus dem Projekt
UNICAR*agil* wird in Braunschweig abgeladen

Copyright: © UNICAR*agil*, Tobias Schröder

Impressum

Druck: ROCO Druck GmbH, Wolfenbüttel

Copyright: © 2022

Technische Universität Braunschweig

Institut für Regelungstechnik

Prof. Dr.-Ing. Markus Maurer

Marvin Loba (Hrsg.)

ISBN: 978-3-9823341-1-0

Inhaltsverzeichnis

Preface	5
Vorwort	9
1 Die AG Elektronische Fahrzeugsysteme	13
1.1 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter	13
1.2 Neue Kolleginnen und Kollegen	15
1.3 Abgänge	20
I Lehre und Ereignisse	25
2 Lehre	27
2.1 Übersicht	27
2.2 Neues aus der Lehre	29
2.3 Studentische Arbeiten	39
2.4 Prüfungen am Institut	41
3 Forschungsaufenthalte unserer Gruppe	43
4 Kolloquium „Elektronische Fahrzeugsysteme“	51
5 Carolo-Cup 2022	53

II	Berichte aus der Forschung	59
6	ATLAS-L4	61
7	Forschungsbedarf Teleoperation	69
8	Forschungspartnerschaft mit CRAiEDL (uOttawa)	71
9	SET Level	75
10	UNICARagil	81
11	ViVre	91
12	Kooperation mit der Volkswagen AG	97
13	VVMethoden	101
14	Wertebasierte Verhaltensentscheidung	107
15	Ensuring and Validating Safety for Automated Vehicles	111
16	Abgeschlossene Promotionen	115
16.1	Dissertation Gerrit Bagschik	115
III	Publikationen und Medienberichte	121
17	Publikationen	123
18	Die Arbeitsgruppe in den Medien	127

Preface

von Markus Maurer

As every year, I write this preface as the final contribution – having read the articles in the main part of our annual report thoroughly. Looking back to the academic year 2021/2022, a feeling of deep gratitude contrasts with the adverse working conditions these days.

For more than two and a half years, Covid-19 has drastically changed our forms of collaboration. For more than half a year now, a war has been raging in Eastern Europe that many of us had no longer thought possible. At the beginning of winter, we are encouraged to increase our energy saving. Yet, we wonder whether enough energy will be available. Nevertheless, at this moment gratitude for what we have achieved prevails, coupled with confidence that we will find ways to respond to the challenges ahead.

Boosted by the crises mentioned above as well as the climate crisis, a radical change is under way in the automotive industry with a technological paradigm shift from the combustion engine to the electric drive. How does this environment affect the research and development in the field of automated and autonomous driving? Which players will dominate these systems in the future and bring them into series production? Will companies like Waymo, with their superior development budgets, dominate these topics in the long run in a similar way Google dominates search or Amazon online retail? How will business models of (German) vehicle manufacturers change? Will they end up as first-tier suppliers for large mobility providers, without any contact to the end customers?

We are convinced that our research will make a significant contribution to the development and acceptance of autonomous road vehicles. It remains to be seen whether our research will be taken up more quickly in Germany or in the USA. The formulation of our core message that the inherent risk of autonomous road vehicles requires new development methods for ensuring safety is gaining in conciseness and in acceptance among experts and society. Thus, we are involved in the further development of the prevailing methods in the field of systems engineering, especially in the projects VVMMethods (chapter 13) and Set Level (chapter 9), both funded by the German Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action (BMWK). In addition, we provide another framework for the development of autonomous road vehicles with value-based design, which we formulate together with Chris Gerdes from Stanford University. The project is funded by the Daimler and Benz Foundation and by Ford, formerly also by Daimler AG. In addition to the work on the runtime system and the development space, we are preparing increasingly larger activities in the area of risk communication with the public and its participation in the development process (article “Value-based behavioral decision-making”, cf. chapter 14, also in the AUTOftech.agil project, funded by the German Federal Ministry of Education and Research, BMBF). We are pleased about the growing interest in our work on the part of the Federal Highway Research Institute (BAST) and the Federal Ministry for Digital and Transport (BMDV).

The confidence in the competence of our work is particularly evident in new projects. Thus, we are especially grateful to MAN AG as consortium leader, especially to Walter Schwertberger and Sebastian Völl as project leaders and to the BMWK as funding body, that we can extend our research on the safety of autonomous vehicles in the project ATLAS-L4 (chapter 6). The ongoing efforts of our partners at RWTH Aachen University led by Lutz Eckstein, academic partners from many universities,

and the generous support of the BMBF enable us to compensate for the efficiency losses under Covid-19 in the UNICARagil project. Thanks to a cost increasing (!) generous project extension it will be possible to develop the platforms further with the aim of a final public demonstration of their capabilities (chapter 10). With AUTOtech.agil, a follow-up project has already been approved and started, again under Aachen management and BMBF funding. Without cost-neutral extension of the ViVre project by the BMDV, the successful demonstration of automated driving capabilities in May 2022 by the consortium partners would not have been possible (chapter 11). This brief summary of research highlights confirms the obvious assumption that experimental research was affected particularly by the pandemic sanitary conditions.

The pandemic has also afflicted our students. It is dismaying to hear how they were driven into growing isolation and, in some cases, depression. Our efforts in online teaching could only partially remedy this situation as shown by declining enrollment in online courses and increasingly poor exam results. After the initial enthusiasm about online teaching – “it really works!” – we therefore need to concede the importance of personal contact between learners and teachers and also among learners. Many people were not born to learn alone in front of a computer.

In the organizing team, we jointly look back with gratitude on (up to) 15 years of fruitful collaboration at the Carolo Cup. Thanks go to its initiator and long-time motor Thomas Form, all the teams that sent their vehicles into the competition, the judges and sponsors who all made the Carolo-Cup so special. Even in the pandemic, organizers and active participants have persevered for two years and held a virtual Cup (chapter 5). We would be very happy to see a new team of organizers and to support the handover actively.

The work on model vehicles is continuing at our institute in the “Seminar and Practical Course Model Vehicle Construction”, which Bernd Amlang, our workshop master Andreas Rusniok and Tobias Schröder have conceived and already conducted successfully twice (subsection 2.2.1).

Increasingly, our Oberseminar is developing into an academic highlight of the semester, where our students can experience virtual discussions at a high international level (subsection 2.2.2).

The team of the Department of Vehicle Electronics wishes you and your family a Merry Christmas and a happy New Year.

Vorwort

von Markus Maurer

Wie in jedem Jahr entsteht dieses Vorwort als letzter Beitrag – nach der ausführlichen Lektüre der Artikel im Hauptteil des Jahresberichts. In diesem Jahr kontrastiert die aufsteigende tiefe Dankbarkeit im Rückblick auf das akademische Jahr 2021/2022 besonders mit den teils widrigen Rahmenbedingungen, unter denen diese Arbeiten entstanden sind.

Seit mehr als zweieinhalb Jahren hat Covid-19 unsere Formen der Zusammenarbeit drastisch verändert. Seit mehr als einem halben Jahr tobt im Osten Europas ein Krieg, den viele von uns heute nicht mehr für möglich gehalten hatten. Zu Beginn des Winters sind wir alle zum Energiesparen aufgerufen und fragen uns doch, ob die Energie auch im Winter ausreichend zur Verfügung stehen wird. Und dennoch überwiegt in diesem Moment die Dankbarkeit für das Erreichte gepaart mit der Zuversicht, dass wir auch auf die anstehenden Herausforderungen Antworten finden werden.

Die genannten Krisen verstärken neben der Klimakrise einen Umbruch in der Automobilindustrie mit technologischem Paradigmenwechsel vom Verbrennungsmotor zum elektrischen Antrieb. Wie wirkt sich dieses Umfeld auf die Forschungs- und Entwicklungslandschaft im Themenfeld des automatisierten und autonomen Fahrens aus? Welche Player werden in Zukunft diese Systeme beherrschen und in Serie bringen? Werden Unternehmen wie Waymo mit ihren überlegenen Entwicklungsbudgets diese Themen langfristig ähnlich dominieren wie heute Google die Suche im Netz oder Amazon den Online-Handel? Wie werden sich die Geschäftsmodelle der (deutschen) Fahrzeughersteller

dadurch ändern? Rücken sie in die zweite Reihe und werden Zulieferer für große Mobilitätsanbieter, ohne Kontakt zum Endkunden?

Wir sind überzeugt, dass wir mit unseren Forschungsarbeiten einen deutlichen Beitrag zur Entwicklung und zur Akzeptanz autonomer Straßenfahrzeuge leisten. Unentschieden ist auch bei unserer Forschung, ob sie schneller in Deutschland oder in den USA aufgegriffen wird. Die Formulierung unserer Kernbotschaft, dass das inhärente Risiko autonomer Straßenfahrzeuge neue Entwicklungs- und Absicherungsmethoden erfordert, gewinnt an Prägnanz und auch an Akzeptanz in Fachwelt und Gesellschaft. So engagieren wir uns in der Weiterentwicklung der in der Fachwelt vorherrschenden Methoden aus dem Bereich der Systemtechnik (engl. Systems Engineering), hier besonders in den Projekten VVMethoden (Kapitel 13) und Set Level (Kapitel 9), beide gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Daneben stellen wir mit der wertebasierten Entwicklung (engl. Value-Based Design) einen weiteren Rahmen für die Entwicklung autonomer Straßenfahrzeuge, den wir gemeinsam mit Chris Gerdes von der Stanford University formulieren – gefördert von der Daimler und Benz Stiftung und von Ford, früher auch von der Daimler AG. Neben den Arbeiten am Laufzeitsystem und zur Entwicklungszeit bereiten wir zunehmend größere Aktivitäten im Bereich der Risikokommunikation mit der Öffentlichkeit und der Partizipation in der Entwicklung vor (Artikel „Wertebasierte Verhaltensentscheidung“, siehe Kapitel 14, auch im Projekt AUTOftech.agil, gefördert vom Bundesministeriums für Bildung und Forschung, BMBF). Wir freuen uns über das wachsende Interesse an unseren Arbeiten seitens der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) und des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV).

Das Vertrauen in die Kompetenz unserer Arbeit zeigt sich besonders in neuen Aufträgen. So danken wir besonders der MAN AG als Konsortialführer, dort speziell Walter Schwertberger und Sebastian Völl als Projektleiter und dem BMWK als Fördergeber, dass wir unsere Forschungen zur Sicherheit autonomer Fahrzeuge im Projekt ATLAS-L4 (Kapitel 6) an neuen Herausforderungen präzisieren und erweitern können. Das unermüdliche Bemühen unserer Partner an der RWTH Aachen um Lutz Eckstein, der akademischen Partner von vielen Universitäten und die großzügige Unterstützung des BMBF ermöglichen, dass wir die Effizienzverluste unter Covid-19 im Projekt UNICARagil im Rahmen einer kostenerhöhenden (!) großzügigen Projektverlängerung ausgleichen und die Plattformen bis zur öffentlichen Demonstration ihrer Fähigkeiten weiterentwickeln können (Kapitel 10). Mit AUTOtech.agil wurde hier bereits ein Nachfolgeprojekt, ebenfalls unter Aachener Leitung und Förderung des BMBF, bewilligt und gestartet. Ohne kostenneutrale Verlängerung durch das BMDV wäre die erfolgreiche Demonstration automatisierter Fahrfähigkeiten der Konsortialpartner im Projekt ViVre im Mai 2022 nicht möglich gewesen (Kapitel 11). Diese kurze Zusammenfassung der Höhepunkte in der Forschung bestätigt die naheliegende Vermutung, dass experimentelle Forschung durch die pandemischen Hygienebedingungen besonders beeinträchtigt war.

Leidtragende der Pandemie waren auch unsere Studierenden. Es bestürzt zu hören, wie die Pandemie unsere Studierenden in wachsende Vereinsamung und teilweise auch in Depressionen getrieben hat. Unsere Bemühungen in der Online-Lehre konnten hier nur teilweise Abhilfe schaffen. Davon zeugen auch abnehmende Teilnehmerzahlen in den Online-Kursen und zunehmend schlechte Prüfungsergebnisse. Nach der anfänglichen Begeisterung über die Online-Lehre – „das funktioniert ja wirklich!“ – merken wir daher, wie wichtig der persönliche Kontakt zwischen Lernenden und Lehrenden und auch unter den Ler-

nenden ist. Für das Lernen alleine vor dem Computer sind viele nicht geboren.

Im Organisationsteam eint uns der Rückblick in Dankbarkeit auf (bis zu) 15 Jahre erfüllende Mitarbeit am Carolo-Cup. Der Dank geht an den Initiator des Cups und langjährigen Motor Thomas Form, alle Teams, die ihre Fahrzeuge in den Wettbewerb geschickt haben, die Schiedsrichter*innen und Sponsoren, die diesen Cup möglich gemacht haben. Selbst in der Pandemie haben Organisator*innen und Aktive zwei Jahre durchgehalten und einen virtuellen Cup durchgeführt (Kapitel 5). Wir würden uns sehr über ein neues Organisator*innen-Team freuen und gerne auch aktiv bei der Übergabe unterstützen.

Die Arbeit an Modellfahrzeugen wird an unserem Institut auch im „Seminar und Praktikum Modellfahrzeugbau“ fortgesetzt werden, das Bernd Amlang, unser Werkstattmeister Andreas Rusniok und Tobias Schröder konzipiert und bereits zweimal erfolgreich durchgeführt haben (Unterabschnitt 2.2.1).

Immer mehr zu einem akademischen Höhepunkt im Semester entwickelt sich unser Oberseminar, bei dem unsere Studierenden virtuell Diskussionen auf hohem internationalen Niveau erleben können (Unterabschnitt 2.2.2).

Das Team der Arbeitsgruppe Elektronische Fahrzeugsysteme wünscht Ihnen und Ihren Angehörigen ein frohes Fest und ein gutes Jahr 2023.

1 Die AG Elektronische Fahrzeugsysteme

1.1 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter

Während des akademischen Jahres 2021/2022 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
B.Eng. Niklas Braun	Wissenschaftler
B.Sc. Leon Götz	Wissenschaftler
M.Sc. Leon Johann Brettin	Wissenschaftler
M.Sc. Robert Graubohm	Wissenschaftler
M.Sc. Felix Grün	Wissenschaftler
M.Sc. Inga Jatzkowski	Wissenschaftlerin
M.Sc. Marvin Loba	Wissenschaftler
M.Sc. Till Menzel	Wissenschaftler
M.Sc. Marcus Nolte	Wissenschaftler
M.Sc. Nayel Fabian Salem	Wissenschaftler
M.Sc. Tobias Schröder	Wissenschaftler
M.Sc. Richard Schubert	Wissenschaftler
M.Sc. Markus Steimle	Wissenschaftler
M.Sc. Dipl.-Ing. (FH) Torben Stolte	Wissenschaftler

Anton Grünke	Technik
--------------	---------

Tabelle 1.1: Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Arbeitsgruppe Elektronische
Fahrzeugsysteme

Beide Gruppen am Institut werden gleichermaßen unterstützt durch:

Name	Aufgabenbereich
Dr.-Ing. Marcus Grobe	Wissenschaftler
Dr. phil. Veronika Krapf	Assistenz
Stefanie Scheffer	Assistenz
Dipl.-Ing. Bernd Amlang	Sicherheitsbeauftragter
Meister Andreas Rusniok	Technik
Peter Schwetge	Technik
Loris Colkos	Auszubildender Technik
Ginger Ika Jozis	Auszubildende Technik

Tabelle 1.2: Gemeinsame Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der beiden
Arbeitsgruppen des Instituts für Regelungstechnik

1.2 Neue Kolleginnen und Kollegen

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

1.2.1 Leon Johann Brettin

von Leon Johann Brettin



Ich bin im Dezember 2021 als neues Mitglied dem Institut für Regelungstechnik beigetreten. Vor der Zeit hier am Institut habe ich Informatik, erst im Bachelor an der Ostfalia Hochschule für Angewandte Wissenschaften und dann im Master an der TU Braunschweig studiert. In der ersten Jahreshälfte habe ich zusammen mit Felix im Bereich der Perzeption für das *Vivre*-Projekt gearbeitet. Ab der zweiten Jahreshälfte habe ich dann meinen Schwerpunkt in der Teleoperation und der Mensch-Maschine Interaktion gefunden. Zur Zeit arbeite ich in folgenden Projekten:

- Im *UNICARagil* Projekt arbeite ich mit Tobias zusammen an dem Innenraum der autoElf, der nächstes Jahr im Mai 2023 auf der Abschlussdemonstration vorgestellt werden soll.
- Als Mitglied der Gruppe *Forschungsbedarf Teleoperation* der BAST werden gemeinsam wissenschaftliche Fragestellungen für zukünftige Forschungsprojekte im Bereich der Teleoperation erarbeitet.
- In *Atlas-L4* bringe ich meine Gedanken zur Architektur eines automatisierten LKW's ein.

In der Lehre war ich in folgenden Bereichen tätig:

- Zu Beginn meiner Arbeitszeit habe ich die Lehre für die Vorlesung *Fahrzeugsystemtechnik* mit begleitet und war bei der Erarbeitung der Klausur mit beteiligt.
- Ab dem Sommersemester 2022 bin ich für die Vorlesung *Automatisierte Straßenfahrzeuge: von der Assistenz zur Autonomie* verantwortlich. Hier habe ich die Vorlesungen mit begleitet, habe Übungen zum Thema Bayes-Grundlagen und dem Systementwurf gehalten und bei der Konzipierung der Klausur geholfen.
- Für die Vorlesung *Grundlagen der Elektrotechnik* war ich für das Thema der Gleichstromnetze verantwortlich und habe hier auch die großen Übungen zu gehalten und die Klausuraufgabe mit entworfen.
- Im *Oberseminar* bin ich mit Richard und Marvin für die Einführung in das Wissenschaftliche Arbeiten für die Studierenden verantwortlich.
- Im *Oberseminar* und in den *Advanced Topics* konnte ich außerdem Themen zu meiner Forschung vorstellen und diskutieren.

- Im *Teamprojekt*, bei den *Seminarvorträgen*, bei einer *Bachelor-* und einer *Masterarbeit* durfte ich Studierende bei ihren Themen betreuen.

1.2.2 Marvin Loba

von Marvin Loba



Seit Beginn des Jahres 2022 arbeite ich als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Regelungstechnik (IfR) in der Arbeitsgruppe „Elektronische Fahrzeugsysteme“.

Als der derzeit einzig gebürtiger Braunschweiger unter den Kollegen war der Sprung für mich nicht allzu weit. An der TU Braunschweig studierte ich Wirtschaftsingenieurwesen Elektrotechnik im Bachelor. Ich schloss den Master im Studiengang Elektromobilität an, der sich für mich als idealer Kompromiss aus Inhalten aus den Masterstudiengängen Elektrotechnik und Maschinenbau mit der Vertiefungsrichtung Fahrzeugtechnik darstellte. Die Entscheidung, meine akademische Laufbahn im Anschluss an meinen Masterabschluss an der TU Braunschweig weiter zu verfolgen, entsprang jedoch nicht einer übermäßigen Heimatverbundenheit – wie sich nun vielleicht vermuten lässt. Vielmehr konnte ich mich nicht mehr vom Institut lösen, nachdem ich

infolge diverser thematischer Ausflüge an andere Institute im Rahmen von HiWi-Tätigkeiten und meiner Bachelorarbeit im Jahr 2020 über Arbeiten in dem Projekt UNICAR*agil* den Weg an das IfR fand.

Getrieben durch meine Interessen im Bereich der Fahrdynamik ergab sich eine Masterarbeit, in der ich Potentiale der Überaktuierung unseres Versuchsträgers MOBILE in der Simulation untersuchte. Konkret beschäftigte ich mit Ansätzen für die Modellierung des Reifenverhaltens innerhalb einer fehlertoleranten modellprädiktiven Regelung der horizontalen Fahrzeugbewegung. Im Laufe der Arbeit wuchs der Wunsch, der Tiefbohrung aufgeworfener Fragestellungen noch mehr Zeit einräumen zu können. Zudem trug der Spaß am wissenschaftlichen Diskurs, der maßgeblich durch die hervorragende Betreuung von Abschlussarbeit und HiWi-Tätigkeit durch unseren ehemaligen Kollegen Torben Stolte befördert wurde, maßgeblich zu der Entscheidung bei, weiterhin am Institut tätig bleiben zu wollen.

Inhaltlich setze ich mich aktuell mit der Frage auseinander, wie ein hinreichend geringes Risikoniveau für alle relevanten Stakeholder beim Inverkehrbringen automatisierter Straßenfahrzeuge strukturiert und nachvollziehbar argumentiert werden kann. Bezüglich Konzept und Argumentation der Sicherheit der entwickelten Systeme leiste ich Beiträge in den Forschungsprojekten UNICAR*agil*, ATLAS-L4 sowie in einer Kooperation mit der Volkswagen AG. Parallel dazu gehe ich ebenfalls meinem Forschungsinteresse im Bereich der Fahrdynamikregelung nach.

Am Institut betreue ich die Veranstaltung „Oberseminar Elektronische Fahrzeugsysteme“ (Unterabschnitt 2.2.2). Zudem halte ich die Übungen mit dem Schwerpunkt der Wechselstromrechnung für die Lehrveranstaltung „Grundlagen der Elektrotechnik“ im Sommersemester. Im

Wintersemester betreue ich weiterhin Übungen im Rahmen der Vorlesung „Fahrzeugsystemtechnik“.

1.2.3 Richard Schubert

von *Richard Schubert*



Im Jahr 2020 trat ich dem Institut für Regelungstechnik über den Science Track als studentische Hilfskraft bei. Ausgehend von meiner Masterarbeit, die ich in Kooperation mit der französischen Universität *Mines ParisTech* verfasste, ergab sich für mich eine Brücke zwischen den Bereichen der Modellanalyse und der Selbstwahrnehmung automatisierter Fahrzeuge, durch die ich neue Ideen für meine zukünftige wissenschaftliche Arbeit entwickelte. Am Ende des Jahres 2021 schloss ich mein Masterstudium ab und trat der Arbeitsgruppe als wissenschaftlicher Mitarbeiter im Februar 2022 bei. Seitdem beschäftige ich mich eingehender mit dem Themenkomplex der Selbstwahrnehmung. In den Projekten *UNICARagil* und *ATLAS-L4* unterstütze ich sowohl die Arbeiten der Gruppe zur Berücksichtigung der Eigenschaft der Selbstwahrnehmung zum Zeitpunkt des Systementwurfs als auch die Implementierung von Laufzeitmechanismen zur Selbstüberwachung. Meinen

Forschungsschwerpunkt konnte ich im Rahmen der Formate „Advanced Topics for Automotive Systems Engineering“ und „Oberseminar Elektronische Fahrzeugsysteme“ mit den Teilnehmenden diskutieren. Im Lehrangebot des Instituts bin ich abwechselnd als Assistent in den Vorlesungen „Grundlagen der Regelungstechnik“ und „Erweiterte Methoden der Regelungstechnik“ tätig. Im Rahmen des Oberseminars präsentiere ich zusammen mit meinen Kollegen Leon Brettin und Marvin Loba eine Einführung in das wissenschaftliche Arbeiten für Studierende.

1.3 Abgänge

1.3.1 Torben Stolte

von Marcus Nolte

Neulich beim Blick auf meinen eigenen Inventarisierungsaufkleber ist mir mal wieder bewusst geworden, dass seit Anfang des Jahres ein anderes Stück Institutsinventar fehlt: Torben hat sich ausinventarisiert und ist in den Bestand eines großen Automobilherstellers der Region übergegangen. Wenn jemand so lange dabei war, wie unser, inzwischen ehemaliger, Kollege Torben, dann lassen sich seine Verdienste kaum vollständig aufzählen. Zahlreiche Industriebeauftragungen, aFAS, CCC, UNICAR*agil*, sowie diverse Anträge, die es nicht ganz bis zur Förderung geschafft haben, sind nur ein Teil dessen, zu dem Torben beigetragen hat. Und da ich die Ehre habe, diesen Text zu verfassen, möchte ich Dir deswegen an dieser Stelle nur kurz stellvertretend für die Kolleginnen und Kollegen der Projekte (und Antragskonsortien) danken, in denen Du aktiv warst.

Ich möchte Dir persönlich viel mehr für die gemeinsamen Arbeiten an unserem postapokalyptischen Gitter-Buggy MOBILE danken. Für die Außenstehenden: Torben kam in grauer Vorzeit an unser Institut und folgte dem Lockruf unseres Kollegen Peter Bergmiller als HiWi und Abschlussarbeiter. Die Überlieferungen sind hier unvollständig, aber ich könnte mir vorstellen, dass Peter Torben mit dem Ausblick auf eine Reihe von anstehenden Elektronikarbeiten in seine Fänge locken konnte. Der Anfang war also gemacht – Torben war mit dem MOBILE-Virus infiziert und verbrachte folgerichtig seine Masterarbeit am Dynamic Design Lab (DDL) an der Stanford University bei Prof. Chris Gerdes (siehe auch Abschnitt 3.2). Gemeinsam mit seinem Peer Avinash Balachandran forschte Torben dort „drüben“ an der Umsetzung eines Force-Feedback-Systems für MOBILEs Schwesterfahrzeug X₁, mit dem Ziel, die Algorithmen später in MOBILE zu überführen. Nach Peters Wechsel in die Wirtschaft übernahm Torben dann die Verantwortung für MOBILE (und Peters HiWi-Herde). Als ich ans Institut kam, entwickelte sich dann gewissermaßen, und etwas übertrieben gesagt, eine gemeinsame (vielleicht auch gegenseitige) Hassliebe: Auf der einen Seite Torben und ich, auf der anderen Seite MOBILE. Es folgten: Die Hochvolterschulung, das Re-Design des Balancing-Systems I, das Re-Design des HV-Systems, der Einbau des Wahrnehmungssystems, das Re-Design des Balancing-Systems II, Aufräumaktionen in der Steuergeräte-Software, das Re-Design des Balancing-Systems III und bestimmt noch einige weitere Aktionen und Hardware-Arbeiten, die ich hier vergessen habe. Achja, und nebenbei kümmerte Torben sich noch um die Konzeptentwicklung für den fehlertoleranten Regler - quasi als „Hobby“. Kurzum: Torben, ich möchte Dir für so manche tage- (wochen-?)lange Fehlersuche danken, ohne die wir die Demonstrationsfahrten im Projekt CCC wohl hätten vergessen können, für viele fachliche Diskussionen an der Schnittstelle zwischen Trajektorienplanung und -regelung und auch

für viele kollegiale Späße. Die Fahrten mit MOBILE haben am Ende auf jeden Fall für so manche späte Stunde entschädigt und ich bin mir sicher, dass die Kolleginnen und Kollegen zusätzlich noch so manche UNICAR-Geschichte auspacken könnten.

Insgesamt hat Torben in seiner Zeit am Institut einige Titel gesammelt: Fachkraft für Arbeiten an HV-Systemen unter Spannung, Master of Fault-Tolerant Control, FuSi-Experte, Methusalem. Fehlt nur noch der Dr.-Ing. in der Sammlung – auf dass es kein Porscheabschlussbericht wird. Spaß beiseite, wir wünschen Dir alles, alles Gute für den weiteren Karriereweg. Aber glaub nur nicht, dass Du uns so schnell los wirst.

1.3.2 Inga Jatzkowski

von Tobias Schröder

Von 2017 bis Ende 2021 hat Inga Jatzkowski als wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Arbeitsgruppe für Elektronische Fahrzeugsysteme gearbeitet. In den ersten Jahren wirkte sie im Projekt Controlling Concurrent Change (CCC) mit. Hierbei ging es darum, Herausforderungen selbständiger Software-Updates in einer offen vernetzten Welt zu untersuchen. Außerdem wirkte Inga von Beginn an im Projekt UNICAR*agil* mit. Sie leitete dabei das Arbeitspaket zu funktionaler Sicherheit, Selbstwahrnehmung und Diagnose. Hierbei brachte sie viele ihrer Ideen in das im kommenden Jahr endende Projekt ein.

Den meisten Studierenden war Inga vor allem aus der Vorlesung Fahrzeugsystemtechnik bekannt, die sie über mehrere Jahre aktiv betreute und mitentwickelte. Darüber hinaus betreute Inga zahlreiche Abschlussarbeiten, die sich auf die Selbstwahrnehmung automatisierter Fahrzeuge fokussierten.

Für Kollegen war Inga oft eine wichtige Ratgeberin und immer wieder für einen Spaß zu haben. Wir haben Inga als eine Naturliebhaberin kennengelernt, die uns gerne mit selbstgebackenen Leckereien eine Freude bereitete. Gelegentlich brachte sie uns auch Ergebnisse ihrer 3D-Druckaktivitäten mit. Unvergessen ist beispielsweise eine mit Süßigkeiten befüllbare Apparatur, die sich nur mit äußerstem Geschick und einer Menge Geduld öffnen ließ.

Zum Ende des Jahres 2021 hat Inga die Arbeitsgruppe verlassen, um sich neuen beruflichen Herausforderungen zu widmen. Dabei wünschen wir ihr alles Gute.

Teil I

Lehre und Ereignisse

2 Lehre

2.1 Übersicht

Folgende Veranstaltungen haben wir im vergangenen akademischen Jahr angeboten:

Veranstaltung	Vortragende
Datenbussysteme	Dr. Grobe
Elektronische Fahrzeugsysteme	Prof. Form
Grundlagen der Elektrotechnik 1	Prof. Maurer
Fahrzeugsystemtechnik	Prof. Maurer
Hochvoltsicherheit im Kraftfahrzeug	B. Amlang
Teamprojekt	R. Graubohm
Seminar und Praktikum Modellfahrzeugbau	Prof. Maurer
Oberseminar Elektronische Fahrzeugsysteme	Prof. Maurer

Tabelle 2.1: Veranstaltungen im Wintersemester 2021/2022

Veranstaltung	Vortragende
Advanced Topics in Automotive Systems Engineering	Prof. Maurer
Elektromagnetische Verträglichkeit in der Fahrzeugtechnik	Prof. Form
Automatisierte Straßenfahrzeuge: von der Assistenz zur Autonomie	Prof. Maurer
Grundlagen der Elektrotechnik 2	Prof. Maurer
Teamprojekt	R. Graubohm
Seminar und Praktikum Modellfahrzeugbau	Prof. Maurer
Oberseminar Elektronische Fahrzeugsysteme	Prof. Maurer

Tabelle 2.2: Veranstaltungen im Sommersemester 2022

Labor	Zeitraum
Test automatisierter Fahrfunktionen in der Simulation	SoSe 2022

Tabelle 2.3: Labore im akademischen Jahr 2021/2022

2.2 Neues aus der Lehre

2.2.1 Seminar und Praktikum Modellfahrzeugbau

von Tobias Schröder

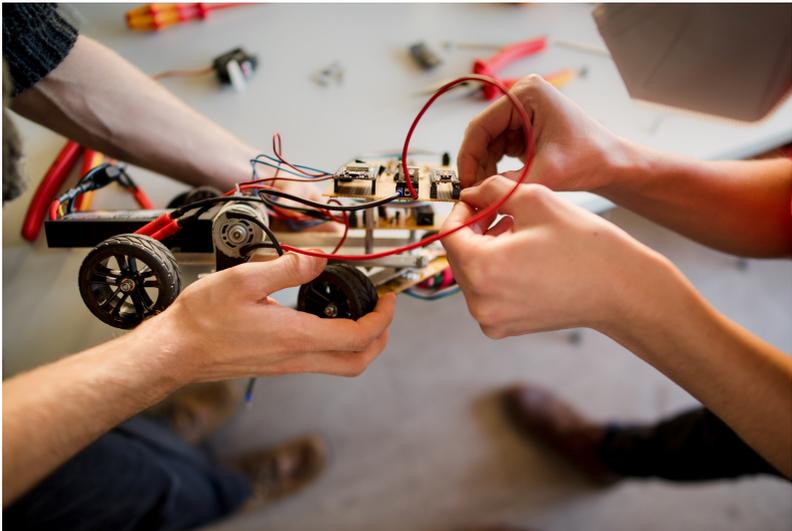


Abbildung 2.1: Fertigstellung des Modellfahrzeugs im Januar 2022

Seit dem Wintersemester 21/22 bietet die Arbeitsgruppe für elektronische Fahrzeugsysteme die Veranstaltung Seminar und Praktikum Modellfahrzeugbau an. Die Veranstaltung wurde mit dem Ziel gestartet, Studierenden in frühen Semestern Einblicke in handwerkliche Tätigkeiten zu ermöglichen und sie erste Erfahrungen mit der Konzipierung, Entwicklung und Realisierung technischer Systeme sammeln zu lassen. Gleichzeitig wird den Studierenden die Möglichkeit gegeben, selbstorganisiert in einem Team eine umfangreiche Aufgabe über einen längeren Zeitraum zu lösen.

In kleineren Gruppen entwerfen die Teilnehmenden nach kurzer Erläuterung theoretischer Grundlagen weitgehend selbstständig ein Modellfahrzeug mit vorgegebenen Funktionen. Hierzu sind neben den zeitlichen Rahmenbedingungen auch die verfügbaren Ressourcen und Herstellungsverfahren zu beachten. Die Realisierung der Modellfahrzeuge erfolgt in den Laborräumen des Instituts sowie der mechanischen Werkstatt. In einer abschließenden Veranstaltung stellen die Teilnehmenden ihre Arbeitsschritte und Ergebnisse vor.

Planmäßig findet die Veranstaltung im Sommersemester statt. Aufgrund pandemiebedingter Unsicherheiten wurde die für das Sommersemester 2021 geplante Veranstaltung in das darauffolgende Wintersemester verlegt, sodass die Veranstaltung im zurückliegenden Jahr ausnahmsweise sowohl im Winter- als auch im Sommersemester stattfand. Die beiden erstmaligen Durchgänge erfolgten mit jeweils einer Gruppe. In beiden Semestern hatten die Teilnehmenden die Aufgabe, ein Fahrzeug realisieren, das einem Leitdraht folgt. In beiden Fällen konnte diese Aufgabe, nicht zuletzt aufgrund der großen Motivation der Teilnehmenden, erfolgreich gelöst werden.

2.2.2 Oberseminar

von Marvin Loba

Das Oberseminar „Elektronische Fahrzeugsysteme“ wurde im Wintersemester 2021/2022 und im Sommersemester 2022 angeboten. Im vergangenen Jahr fand das Seminar in beiden Semestern als fünftägige Blockveranstaltung statt. In beiden Semestern wurde die Veranstaltung virtuell ausgerichtet und hielt neben Einblicken in das wissenschaftliche Arbeiten für die anwesenden Masterstudierenden spannende Beiträge renommierter Vortragender aus der ganzen Welt bereit.

Das Seminar dient dem vertieften wissenschaftlichen Austausch zu aktuellen Themen aus den Forschungsfeldern der Arbeitsgruppe. Im Vordergrund steht dabei das Bestreben, ein Format als Plattform für lebhaft Diskussionen zu gestalten, die einen möglichst interdisziplinär geprägten Charakter aufweisen können.

Neben einem breit über Deutschland gestreuten Teilnehmerkreis verschiedener Industriepartner sowie unterschiedlicher Lehrstühle erlaubte das virtuelle Setup eine rege internationale Beteiligung aus China, Kanada und den USA. Wiederkehrende Teilnehmer sind dabei unter anderem die Forschungsgruppen von Chris Gerdes (Stanford University, USA), Jason Millar (University of Ottawa, Kanada) und Krzysztof Czarnecki (University of Waterloo, Kanada). Zudem wurde der Teilnehmerkreis im letzten Jahr um Kolleg*innen aus den Gruppen von Hong Wang (Tsinghua University, China) sowie Martin Törngren (KTH Royal Institute of Technology, Stockholm) erweitert.

Thematisch wurden die in Tabellen 2.4 und 2.5 aufgelisteten Themen intensiv diskutiert. Allen Vortragenden sei herzlich für ihre Beteiligung gedankt. Gleichzeitig gilt sämtlichen Teilnehmenden Dank für die lebhaften und erkenntnisreichen Diskussionsbeiträge. Wir freuen uns bereits, zahlreiche bekannte Gesichter auch im nächsten akademischen Jahr begrüßen zu dürfen.

Vortragende	Thema
Leon Johann Brettin, Marvin Loba und Richard Schubert	Contributions to Scientific Writing
Nayel Fabian Salem	Sicherheit und Risiko – ein Beitrag zur Bedeutung grundlegender Begriffe
Friederike Hendriks (TU Braunschweig)	Das Verhältnis von Risiko und Vertrauen in der Wissenschaftskommunikation

Vortragende	Thema
Torsten Fleischer (Karlsruher Institut für Technologien (KIT))	Warum „sicher sein“ nicht genügt: Einsichten aus der empirischen Forschung zur sozialen Akzeptanz des automatisierten Fahrens
Marion Jungbluth (Verbraucherzentrale Bun- desverband)	Ein Beitrag zur rechtlichen Perspektive auf Risiken automatisierter Fahrzeuge
Alle Teilnehmenden	Dialog mit der Gesellschaft – Risiken autonomer Fahrzeuge im öffentlichen Straßenverkehr
Krzysztof Czarnecki (University of Waterloo)	Assuring Machine-Learning Based Perception Functions as Part of an ADS
Markus Maurer, Leon Johann Brettin, Felix Grün, Richard Schubert	Self-Perception, Self-Awareness and Self-Monitoring
Jürgen Pannek (TU Braunschweig)	Integral Problems – The Issue of “We Know What We Mean”
Marcus Nolte	“Maneuvers”
Tom Gasser (Bundesanstalt für Straßen- wesen (BASt))	The Role of “Technical Supervisor” for Level 4 Driving in Germany
Klaus Bengler (TU München)	Technical Monitoring and Teleoperation: Focusing on Ergonomics
Hong Wang (Tsinghua University)	SOTIF Solution for Autonomous Platooning
Jason Millar (University of Ottawa)	Political and Ethical Issues Arising from ADAS

Tabelle 2.4: Themen des Oberseminars im Wintersemester 2021/2022

Vortragende	Thema
Leon Johann Brettin, Mar- vin Loba und Richard Schubert	Contributions to Scientific Writing
Hong Wang (Tsinghua University)	Artificial Intelligence Health Monitor in SOTIF Guarantee System
Richard Schubert	Capability Monitoring for Automated Vehicles

Vortragende	Thema
Leon Johann Brettin, Nayel Fabian Salem, Markus Maurer	Technical Supervision and Teloperation: Terminology, Motivation, Challenges
Niklas Braun	Supporting Scenario-Based Validation of Automated Driving Systems in Simulation Using Design Contracts
Rodrigo Queiroz (University of Waterloo)	Scenario Modelling and Execution for Simulation Testing of Automated Driving Systems
Björn Klamann (TU Darmstadt)	Approaches for the Modular Safety Approval of Automated Vehicles
Stefan Ackermann (TU Darmstadt)	Safe Halt as Fail-safe Concept for Automated Driving Systems
Krzysztof Czarnecki (University of Waterloo)	Why ML-Based Perception Can't be Trusted (and How to Fix it)
Chris Gerdes (University of Stanford)	What Legal Responsibilities Do Automated Vehicles Have to Avoid Crashes and How Do We Implement These Technically?
Tom Gasser (Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST))	Contribution to the Legal Concept of Risk and Safety - Discussing the Differentiation from an Engineering Perspective
Marcus Nolte	Towards a Holistic Safety Assurance Argumentation: Combining Analytical and Empirical Methods
Steven Shladover (University of California, Berkeley)	Achieving Credible Safety Assurance of Automated Driving Systems (ADS)

Tabelle 2.5: Themen des Oberseminars im Sommersemester 2022

2.2.3 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 weiteren Masterstudiengängen der *Fakultät für Elektrotechnik, Informationstechnik, Physik* 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 Teamprojekt Aufgabenstellungen aus den Forschungsthemen *Automatisiertes Fahren, Fahrdynamik* und *Fahrzeugsystemtechnik* bearbeitet. Darüber hinaus ist die Absolvierung des Teamprojekts im Zuge fortgesetzter Mitarbeit in einer studentischen Initiative dieser Felder möglich. Inhalt und Ausrichtung der Themen werden in jedem Semester an den aktuellen Arbeitsstand aktueller Projekte des Instituts 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 häufig Versuchsträger entwickelt und betrieben werden, können Studierende vielfach die Ergebnisse ihrer Arbeiten auch praktisch erleben.

In den beiden vergangenen Semestern wurden folgende Themen behandelt:

- Implementierung einer grafischen Benutzerschnittstelle für die Arbeit mit Ontologien
- Gestaltung und Implementierung von Touchscreen-Monitoren für ein fahrer*innenloses Konzeptfahrzeug in UNICARagil

2.2.4 Seminarvorträge

von Tobias Schröder

Die Seminarvorträge werden in jedem Semester von Bachelor- und Masterstudierenden der Fakultät für Elektrotechnik, Informationstechnik und Physik gehalten. 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 2021/2022

- Entwurf eines robusten Reglers nach dem Kharitonov-Theorem
- Sicherheitskonzept eines automatischen fahrer*innenlosen Parksystems
- Explainability Methods for Convolutional Neural Networks

Sommersemester 2022

- Gewährleistung der Sicherheit des maschinellen Lernens zur Erkennung von Fußgängern an Fußgängerüberwegen

- Gewährleistungsprozesse für Systemsicherheit autonomer Fahrzeuge
- Aktuelle Absicherungsaktivitäten automatisierter Fahrzeuge - eine Übersicht
- Maßnahmen zur Erhöhung von Vertrauen in vollautomatisiert fahrende Straßenfahrzeuge

Nachdem die Seminarvorträge seit Beginn der Pandemie virtuell stattgefunden hatten, wurden die Seminarvorträge ab dem Sommersemester 2022 wieder vor Ort im Institut gehalten.

2.2.5 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 Mitarbeiter*innen. 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 einem*einer wissenschaftlichen Mitarbeiter*in betreut. Nach einer an jeden Vortrag anknüpfenden Fragerunde geben die Teilnehmenden der Veranstaltung den Vortragenden ein ausführliches Feedback zur Vortragsweise. Darüber hinaus nimmt ein*e Expert*in des Sprachenzentrums an der Veranstaltung teil und gibt Rückmeldung zur sprachlichen Leistung während des Vortrags. Die Veranstaltung bietet sowohl Studierenden als auch wissenschaftlichen Mitarbeiter*innen 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. Wie bereits in den Vorjahren wurde die Veranstaltung im Sommersemester 2022 durch die englischsprachige Kommunikationstrainerin Linda Block unterstützt. Um auch internationale Teilnehmer*innen involvieren zu können, wurden auch 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. Da in den letzten beiden Jahren virtuelle Formate bei wissenschaftlichen Konferenzen weite Verbreitung fanden, ermöglicht diese neue Form der Advanced Topics zudem eine sehr effektive Vorbereitung auf die Vorstellung neuer Inhalte vor einem internationalen Publikum.

2.2.6 Industriepraktika

Im akademischen Jahr 2021/2022 wurden Industriepraktika von unserer Arbeitsgruppe bei folgenden Firmen betreut:

- ASAP Engineering GmbH, Gaimersheim
- Audi (China) Enterprise Management Co., Ltd., Peking
- IAV GmbH, Gifhorn
- Mobility Asia, Peking
- Müller Elektronik, Salzkotten
- Pilz GmbH & Co. KG, Ostfildern
- Robast Robotics Assistant GmbH, Hamburg
- Robert Bosch GmbH, Hildesheim
- Robert Bosch (China) Investment Ltd., Shanghai
- Siemens Mobility GmbH, Braunschweig
- Siemens Mobility GmbH, Braunschweig
- Stadler Signalling GmbH, Braunschweig
- TU Braunschweig (IfR), Braunschweig (*Ersatzleistung*)
- Volkswagen AG, Braunschweig

2.3 Studentische Arbeiten

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

Erarbeitung und Aufbereitung von Methoden aus dem Bereich der Unsicherheitsanalyse und Analyse der Anwendbarkeit dieser im Automotive Kontext, Bachelorarbeit, 2021

Implementierung einer Toolkette zur vergleichenden Evaluation von Trajektorienplanern für automatisierte Fahrzeuge, Bachelorarbeit, 2021

Kontextbasierte Sensitivitätsanalyse für ein nicht-lineares Zweispurmodell basierend auf Elementen der Operational Design Domain, Masterarbeit, 2021

Portierung einer nichtlinearen und fehlertoleranten modellprädiktiven Regelung der horizontalen Fahrzeugbewegung in das acados Toolkit, Masterarbeit, 2021

Anforderung und Konzept zur Validierung eines autonomen Familienfahrzeugs, Masterarbeit, 2022

Entwicklung eines komponentenbezogenen Ansatzes für die systematische Gefährdungsidentifikation im Kontext der Erprobung und Demonstration von Fahrzeugprototypen im Forschungsprojekt UNICARagil, Masterarbeit, 2022

Entwicklung eines Nutzerprofils für die Adaption eines autonomen Familienfahrzeugs, Bachelorarbeit, 2022

Generierung von Referenztrajektorien aus openDRIVE-Karten für die Untersuchung fehlertoleranter Fahrdynamikregelungsansätze für automatisierte Fahrzeuge, Bachelorarbeit, 2022

Integration eines Hardware-in-the-Loop-Aufbaus mit IPG CarMaker, Bachelorarbeit, 2022

Konzeption und Implementierung eines Werkzeuges für die Überführung einer ontologiebasierten Straßenbeschreibung in das Format Open DRIVE, Bachelorarbeit, 2022

Simulationsbasierte Evaluierung einer Sicherheitsstrategie zur Durchführung von Fahrdemonstrationen im Forschungsprojekt UNICARagil, Masterarbeit, 2022

Untersuchung des Einflusses einer modellprädiktiven Radmomentenverteilung auf eine fehlertolerante Bewegungsregelung automatisierter Fahrzeuge, Masterarbeit, 2022

2.4 Prüfungen am Institut

Im Berichtszeitraum wurden folgende Prüfungen abgelegt:

Name des Fachs	Anzahl der Prüfungen	Durchschnitts-note
Datenbussysteme	113	3,8
Elektromagnetische Verträglichkeit	67	3,7
Elektronische Fahrzeugsysteme	121	3,7
Fahrzeugsystemtechnik	56	3,3
Automatisierte Straßenfahrzeuge: Von der Assistenz zur Autonomie	73	3,4
Grundlagen der Elektrotechnik	83	4,4
Hochvoltsicherheit im Kraftfahrzeug	17	1,7
Teamprojekt	5	k. A.
Advanced Topics in Automotive Systems Engineering	4	k. A.
Test automatisierter Fahrfunktionen in der Simulation	9	k. A.

Tabelle 2.6: Anzahl der Prüfungen im Rahmen unserer Lehrveranstaltungen

3 Forschungsaufenthalte unserer Gruppe

3.1 Kooperation mit dem KTH Royal Institute of Technology – Contract-Based Design

von Niklas Braun

Im Rahmen des Science Tracks am Institut für Regelungstechnik beschäftige ich mich seit 2021 mit automatisierten Fahrsystemen. Aktuell setze ich mich mit der virtuellen Erprobung solcher Systeme in der Simulation auseinander. Mein Fokus liegt dabei auf den Fragen, wie eine hinreichende Validität von Simulationsmodellen sichergestellt werden kann und wie dies den Nutzen szenarienbasierter Testmethoden unterstützen kann.

Um dieses Themenfeld in meiner Masterarbeit zu bearbeiten, wurde mir ein Aufenthalt am KTH Royal Institute of Technology in Stockholm ermöglicht. Die Forschungsgruppe von Prof. Martin Törngren beschäftigt sich mit Fragestellungen des Systems Engineering, der Simulation und des automatisierten Fahrens. Durch diese besondere Perspektive konnte ich im Rahmen des Aufenthalts viele wertvolle Einblicke erhalten, beispielsweise in die umfassende Simulationsplattform AD-EYE¹, die an diesem Lab entwickelt und genutzt wird. Zudem haben die vielfältigen Themen der Gruppe in den Bereichen Mechatronik, Robotik und vernetzte Systeme meinen Blick geweitet.

¹www.adeye.se, abgerufen am 30.10.2022

Die fünf Monate im malerischen Stockholm haben mir wissenschaftlich wie persönlich neue Perspektiven eröffnet. Ich möchte mich deshalb herzlich für die Gastfreundschaft der Gruppe von Prof. Törngren an der KTH und die spannende Zusammenarbeit bedanken. Mein Dank gilt außerdem Prof. Maurer, der meinen Aufenthalt ermöglicht und unterstützt hat.

Please find the English version below.

As part of the Science Track at the Institute of Control Engineering, I have been working on automated driving systems since 2021. Currently, I am dealing with the virtual testing of such systems in simulation. My focus is on how to ensure sufficient validity of simulation models and how to support thereby scenario-based testing methods.

In order to work on this topic in my master's thesis, I was granted a stay at the KTH Royal Institute of Technology in Stockholm. The research group of Prof. Martin Törngren addresses topics in systems engineering, simulation, and automated driving. This particular perspective allowed me to gain many valuable insights during the stay, for example into the comprehensive simulation platform AD-EYE² developed and used at this lab. In addition, the group's diverse topics in mechatronics, robotics, and distributed systems broadened my view.

Five months in the magnificent city of Stockholm have opened up new perspectives for me, both scientifically and personally. I would therefore like to express my sincere gratitude for the hospitality of Prof. Törngren's group at KTH and the exciting collaboration. Furthermore, I am grateful to Prof. Maurer, who initiated and supported the collaboration.

²www.adeye.se

3.2 Kooperation mit der Stanford University – Environment Perception

von Leon Götz

Seit 2018 forsche ich mit großer Begeisterung im Bereich der Umfeldwahrnehmung für das automatisierte Fahren am Institut für Regelungstechnik (IfR). Nachdem ich 2020 meine Bachelorarbeit zum Thema „Implementierung eines Deep-Learning-basierten Ansatzes zur Detektion von Verkehrsteilnehmern in LiDAR-Entfernungsbildern für das automatisierte Fahren“ erfolgreich abgeschlossen hatte, konnte ich am IfR meine Forschung zu diesem Thema fortführen und vertiefen. Dazu wurde mir von Juli bis September ein Forschungsaufenthalt am Dynamic Design Lab (DDL) der Stanford University in Kalifornien ermöglicht.

Im Lab von Prof. Dr. Christian Gerdes konnte ich zusammen mit den dortigen Wissenschaftlern an den Versuchsfahrzeugen interessante Experimente zur Objektdetektion und zum Objekttracking im Rahmen meiner Masterarbeit durchführen. Neben neuen spannenden Erkenntnissen in meinem eigentlichen Forschungsgebiet der Umfeldwahrnehmung konnte ich auch in weiteren interdisziplinären Themenfeldern wertvolle Erfahrungen sammeln. An dieser Stelle möchte ich mich nochmal bei Prof. Gerdes und seinem Team für den herzlichen Empfang und die tolle Zusammenarbeit am DDL bedanken sowie bei Prof. Maurer für die Ermöglichung meines Aufenthalts.

Please find the English version below.

Since 2018, I have been doing research with great excitement in the field of environment perception for automated driving at the Institute of Control Engineering (IfR). After successfully completing my bach-



Abbildung 3.1: Aufnahmen von Messdaten im Versuchsträger X1 im Thunderhill Raceway Park (links: Victor Fors (DDL, Stanford), rechts: Leon Götz)

elor's thesis on "Implementing a Deep Learning-based Approach for Detecting Road Users in LiDAR Range Images for Automated Driving" in 2020, I was able to continue and deepen my research on this topic at the IfR. For this purpose, I was granted a research stay at the Dynamic Design Lab (DDL) of the Stanford University in California from July to September 2022.

In the lab of Prof. Dr. Christian Gerdes, I was given the opportunity to conduct interesting experiments on object detection and object tracking using their test vehicles. The recorded data will be part of my master's thesis. In addition to new exciting findings in my actual research field of environment perception, I was also able to gain valuable experience in further interdisciplinary topics. At this point, I would like to thank Prof.

Gerdes and his team for the warm welcome and the great cooperation at the DDL and Prof. Maurer for making my stay possible.

3.3 Kooperation mit der Universität MINES ParisTech – Model Quality Assessment

von Richard Schubert

Ausgehend von der Publizierung eines Konferenzpapiers im Jahr 2020 im Themenfeld der Modellanalyse, zu dem ich als Co-Autor beitrug, ergab sich nachfolgend einer wissenschaftlicher Austausch zwischen dem *Centre de Robotique* der französischen Universität MINES ParisTech und unserer Arbeitsgruppe. Die Mitarbeitenden des Centre de Robotique haben bereits in der Vergangenheit wissenschaftliche Ergebnisse im Bereich der Analyse von Fahrdynamikmodellen publiziert. Der fortlaufende Austausch wird maßgeblich durch den ehemaligen Leiter des *Centre de Robotique*, Prof. Arnaud de la Fortelle, begleitet.

Im Rahmen meiner Masterarbeit im Sommer und Herbst des Jahres 2021 entwickelte ich ausgehend von Vorarbeiten am Institut für Regelungstechnik das Rahmenwerk für die Durchführung einer Modellanalyse im Kontext des automatisierten Fahrens weiter. Die Arbeit wurde durch Prof. de la Fortelle als Zweitprüfer betreut, der mich zum Wohle eines engeren Austauschs zu einem etwa einmonatigen Forschungsaufenthalt am Centre de Robotique einlud, in dem ich neue Ideen für den nachfolgenden Abschluss meiner Masterarbeit sammeln konnte.

Ich bedanke mich herzlich bei Prof. de la Fortelle für die Betreuung meiner Abschlussarbeit im Rahmen dieser internationalen Kooperation. Außerdem danke ich insbesondere meinen Kollegen Marcus Nolte und Agapius Bou Ghosn (MINES ParisTech) für den regelmäßigen wissenschaftlichen Austausch im Zuge der Arbeit. Den Mitarbeitenden des Centre de Robotique danke ich zudem für den angenehmen Aufenthalt in der wunderschönen Stadt Paris.

Please find the English version below.

Starting from the publication of a conference paper in 2020 in the field of model analysis (to which I contributed as a co-author), a scientific exchange resulted between the *Centre de Robotique* of the French university MINES ParisTech and our working group. At the Centre de Robotique, researchers have already published scientific results in the field of vehicle dynamics analysis in the past. The ongoing exchange is accompanied by the former head of the *Centre de Robotique*, Prof. Arnaud de la Fortelle.

As part of my master's thesis in the summer and fall of 2021, based on preliminary work at the Institute for Control Engineering, I developed a framework for conducting a model analysis in the context of automated driving. The thesis was supervised by Prof. de la Fortelle as second examiner, who invited me for a research stay at the Centre de Robotique for the benefit of a closer exchange. During the time in Paris, I was able to gather new ideas for completing of my thesis.

I would like to express my sincere thanks to Prof. de la Fortelle for supervising my thesis in the context of this international collaboration.

Furthermore, I would like to thank especially my colleagues Marcus Nolte and Agapius Bou Ghosn (MINES ParisTech) for the regular scientific exchange. I also wish to thank the members of the Centre de Robotique for the pleasant stay in the beautiful city of Paris.

4 Kolloquium „Elektronische Fahrzeugsysteme“

von Marvin Loba

Im Berichtszeitraum fand erstmals das Kolloquium „Elektronische Fahrzeugsysteme“ statt. Das Kolloquium ist dem Wunsch nach einem neuen Austauschformat für aktive Mitglieder, ehemalige Mitarbeiter sowie Freunde des Instituts entwachsen. Die Zielsetzung besteht einerseits darin, eine Plattform zu etablieren, die Diskussionen aktueller Themen aus dem Bereich des automatisierten Fahrens erlaubt. Andererseits soll die Möglichkeit im Vordergrund stehen, den Dialog zwischen Angehörigen und Freunden des Instituts über diesen Rahmen lebhaft zu gestalten und somit nachhaltig zu befördern.

Die Pandemiesituation, gepaart mit der Verteilung des Teilnehmerkreises über Deutschland hinweg, führte zu einer virtuellen Ausrichtung. Im Sinne eines möglichst geselligen Zusammenkommens wurde im Nachgang an die fachlichen Diskussionsrunden ein Raum für „virtuelle Geselligkeit“ geschaffen, in dem sich die Anwesenden anknüpfend austauschen oder andere Themen adressieren konnten.

Für die ersten beiden Termine konnten zwei ehemalige Kollegen gewonnen werden. Den ersten Beitrag lieferte Peter Bergmiller von der CARIAD SE. In diesem Vortrag beleuchtete er die Transformation von klassischer Projektorganisation zu funktionsorientierter Entwicklungsweise und agiler Arbeitsorganisation anhand des SAFe-Frameworks. Insbesondere spielten dabei Fragen der modellbasierten Systementwicklung, einhergehenden Herausforderungen für die Entwicklung

sowie das Zusammenspiel unterschiedlicher Architektursichten bei der Systemauslegung eine Rolle.

Torben Stolte, der mittlerweile bei der Volkswagen AG tätig ist, hielt den zweiten Vortrag. In diesem stellte er seine Arbeit im Bereich der fehlertoleranten Bewegungsregelung automatisierter Fahrzeuge vor. Der präsentierte modellprädiktive Regler deckt dabei eine große Spanne tolerierter Degradationen und Ausfälle für ein hochgradig überaktuiertes Fahrzeug ab. Mithilfe zweier Referenztrajektorien konnte die grundlegende Funktionsfähigkeit des Ansatzes demonstriert werden. Weiterhin wurde ein Vorgehen zur Diskussion gestellt, das auf die Abschätzung der Eignung einer solchen fehlertoleranten Regelung in ihrer vorgesehenen Einsatzumgebung in einer frühen Phase des Entwicklungsprozesses abzielt.

Vortragender	Thema
Peter Bergmiller	From Component-Based Development to Agile Function Orientation in Big DAS Projects and its Implication on Systems Engineering and Architecture
Torben Stolte	Untersuchungen zur Einsetzbarkeit fehlertoleranter Bewegungsregelung für automatisierte Fahrfunktionen

Tabelle 4.1: Themen des Kolloquiums „Elektronische Fahrzeugsysteme“ im Jahr 2022

Wir danken hiermit allen Teilnehmenden für ihre rege Beteiligung und hoffen, dass wir auch im nächsten Jahr möglichst viele Freund*innen unseres Instituts in regelmäßigen Abständen zusammenbringen können.

5 Carolo-Cup 2022

von der Pressestelle der TU Braunschweig

Dr. Drift verteidigt seinen Titel Presseinformationen 18. März 2022

Der Carolo-Cup@Home 2022 geht nach Karlsruhe und Aachen

Wie bereits im Vorjahr konnte sich beim Carolo-Cup@Home das Team KITcar aus Karlsruhe gegen die Konkurrenz durchsetzen. Sowohl in den Fahraufgaben als auch in der Präsentation belegten die Studierenden des Karlsruher Institut für Technologie im Carolo-Master-Cup des 15. Internationalen Hochschulwettbewerbs der automatisiert fahrenden Modellautos den ersten Platz mit ihrem Dr. Drift. Im Carolo-Basic-Cup entschied das Team GalaXIs von der RWTH Aachen den Wettbewerb für sich.

Eine Karlsruher Titelverteidigung und einen Aachener Überraschungssieg gab es im [Abschluss-Livestream des Carolo-Cup@Home 2022](#) am 17. März 2022 zu sehen. Team KITcar konnte mit seinem Fahrzeug Dr. Drift erneut die Jury im Carolo-Master-Cup von sich überzeugen. Währenddessen nutzte das Team GalaXIs seine Teilnahmepause im vergangenen Jahr optimal zur grundlegenden Überarbeitung der Fahrzeug-Software und sicherte sich so den Sieg im Carolo-Basic-Cup. Beide Teams belegten jeweils in den virtuellen Präsentationen und der Videodisziplin den ersten Platz.

Das Karlsruher Fahrzeug Dr. Drift stach im Wettbewerb besonders durch seine Schnelligkeit auf der Strecke hervor. Leistungsstarke Motoren sorgten selbst in Kurven für eine Geschwindigkeit von sieben Metern pro Sekunde. Damit reizte das Team KITcar hier die Gren-



Abbildung 5.1: Team KITcar siegt im Carolo-Master-Cup 2022.

©Team KITcar/Karlsruher Institut für Technologie

zen des physikalisch Möglichen für ein Modellfahrzeug dieser Größe aus. Insgesamt konnte sich das Team mit seinem Fahrzeug 340 Punkte sichern. Konstruiert wurde Dr. Drift von einem 35-köpfigen Team aus Studierenden der Informatik, Elektrotechnik, Mechatronik, des Maschinenbaus und Wirtschaftsingenieurwesens. Der zweite Platz im Carolo-Master-Cup ging an das Team Spatzenhirn von der Universität Ulm mit 286 Punkten. Den dritten Platz belegten die Vorjahressieger des Carolo-Basic-Cups – das Team Selfie von der Technischen Universität Warschau mit 220 Punkten.

Team GalaXIs gewinnt Carolo-Basic-Cup Mit ihrem Fahrzeug Andromeda siegte das Team GalaXIs im Carolo-Basic-Cup. Die Aachener Studierenden belegten in beiden Wertungskategorien den ersten Platz und fuhren insgesamt 328 Punkte ein. Damit verwiesen sie das Team it:movES von der Hochschule Esslingen mit 237 Punkten und die DHBW



Abbildung 5.2: Mit ihrem Fahrzeug Dr. Drift holten die Karlsruher insgesamt 340 Punkte im Wettbewerb.

©Team KITcar/Karlsruher Institut für Technologie

Smart Rollerz von der Dualen Hochschule Baden-Württemberg mit 209 Punkten auf die Plätze 2 und 3.

Auch beim Aachener Fahrzeug fiel besonders die hohe Geschwindigkeit auf. Bis zur nächsten Teilnahme soll Andromeda trotzdem noch schneller werden. Mit einer verbesserten Spurerkennung ausgestattet und weiter optimiertem Fahrverhalten möchte das Team der RWTH Aachen im nächsten Jahr im Carolo-Master-Cup antreten.

Fahrprüfungen auf der eigenen Teststrecke Der nunmehr 15. Carolo-Cup fand in diesem Jahr wieder im Online-Format statt. Die Teams dokumentierten die Ergebnisse der Fahraufgaben per Video auf der eigenen Teststrecke im jeweiligen Team-Raum. Zusätzlich stellten sie sich und ihr Fahrzeug in einer virtuellen Präsentation einer Jury aus Wirtschaft und Wissenschaft vor, die anschließend ihre Punkte vergab.



Abbildung 5.3: Das Aachener Team GalaXIs triumphiert im Carolo-Basic-Cup.

©Bildnachweis: Team GalaXIs/RWTH Aachen

Zu den Aufgaben gehörten dabei eine dynamische Fahrt mit Höchstgeschwindigkeit sowie das Bewältigen eines Hindernisparcours auf der Strecke. Im Carolo-Master-Cup enthielt der Parcours komplexere Elemente, wie ein Überholverbot und eine Tempobegrenzung, die die Fahrzeuge eigenständig erkennen und umsetzen mussten. Außerdem sollten die Teams in ihrem vierminütigen Video zeigen, wie sie mit einer neuen und ihnen bisher unbekanntem Herausforderung im Streckenverlauf umgehen und diese lösen.

In welcher Form der nächste Carolo-Cup stattfindet, ist noch offen. Nach Möglichkeit soll im nächsten Jahr wieder zum Präsenzformat zurückgekehrt werden.

Ergebnisse des Carolo-Master-Cups

1. Team KITcar mit Dr. Drift, Karlsruher Institut für Technologie
2. Team Spatzenhirn mit Spatz11, Universität Ulm



Abbildung 5.4: Die Software des Fahrzeugs Andromeda wurde für den Carolo-Cup@Home 2022 grundlegend überarbeitet.
©/Team GalaXIs/RWTH Aachen

3. Team Selfie mit Selfie, Technische Universität Warschau

Ergebnisse des Carolo-Basic-Cups

1. Team GalaXIs mit Andromeda, RWTH Aachen
2. Team it:movES mit G Wagon, Hochschule Esslingen
3. DHBW Smart Rollerz mit Smarty, Duale Hochschule Baden-Württemberg
4. Team Ostfalia-Cup mit CUP, Ostfalia – Hochschule für angewandte Wissenschaften
5. Team oTToCar mit Luci, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

6. Team cITIcar mit cITIcar, Technische Hochschule Mittelhessen

Das Preisgeld beträgt in diesem Jahr insgesamt 4.500 Euro. Es geht als Start- und Motivationsprämie in Höhe von jeweils 500 Euro an alle erfolgreich teilnehmenden Teams.

Veranstalter und Sponsoren Der Carolo-Cup@Home wird durch das [Institut für Regelungstechnik](#) der TU Braunschweig organisiert. Finanziell unterstützt wird der Wettbewerb von IAV GmbH Ingenieurgesellschaft Auto und Verkehr und VIRES Simulationstechnologie GmbH.

Teil II

**Berichte aus der
Forschung**

6 ATLAS-L4

von Markus Steimle, Nayel Fabian Salem, Richard Schubert und Marvin Loba

Im Forschungsprojekt *ATLAS-L4*¹ (Automatisierter Transport zwischen Logistikzentren auf Schnellstraßen im Level 4) werden die Entwicklung und der Einsatz von automatisierten Lastkraftwagen (SAE Level 4) auf Autobahnen und Schnellstraßen erforscht. *ATLAS-L4* soll zeigen, dass der Einsatz von solchen Fahrzeugen auf der Autobahn machbar ist und so die Basis für innovative Transport- und Logistikkonzepte legen. Durch das automatisierte Fahren zwischen Logistikzentren auf der Autobahn werden in *ATLAS-L4* die folgenden übergreifenden Ziele verfolgt: Leisten eines wirksamen Beitrags zur Vermeidung von Staus und Unfällen, verbrauchseffizienter Betrieb der Fahrzeuge und Eindämmung des Fahrpersonalmangels durch den Wegfall weniger attraktiver Fahraufgaben.

*Auszug aus der Pressemitteilung vom 29.03.2022*²

In einer globalisierten Welt sind Lkw für den Transport von Waren unverzichtbar. Aber die Branche steht unter Druck: Staus verursachen allein in Deutschland jedes Jahr einen volkswirtschaftlichen Schaden in Milliardenhöhe und rund 90 Prozent der Unfälle auf den Straßen resultieren aus menschlichem Versagen. Zudem bremst der Mangel an Berufskraftfahrerinnen und -fahrern das Wirtschaftswachstum und könnte in Zukunft zu Versorgungsengpässen führen. Zahlen des Branchenverbands BGL (Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung e. V.) verdeutlichen den Ernst der Lage: In Deutschland fehlen schon heute

¹<https://www.atlas-l4.com>, abgerufen am 14.09.2022.

²Gegenüber des Originaltextes wurden kleinere Anpassungen vorgenommen.

mindestens 60.000 Fahrerinnen und Fahrer – und dieser Mangel wird sich weiter verschlimmern. Denn rund 17.000 Berufseinsteigerinnen und -einsteiger stehen jedes Jahr etwa 30.000 Berufskraftfahrerinnen und -fahrer gegenüber, die in Rente gehen.

Automatisierte Lkw gemäß SAE Level 4 bieten hier Lösungsansätze. Sie verbessern die Sicherheit im Verkehr, können dazu beitragen, Staus durch vorausschauende Planung zu reduzieren und Einsatzzeiten zu optimieren. Zugleich fahren automatisierte Lkw gleichmäßiger, was sie kraftstoffeffizienter und somit umweltfreundlicher macht. Automatisierte Abläufe entlang der Lieferkette – beispielsweise auf Betriebshöfen, an Umschlagplätzen oder zwischen Logistikzentren – entlasten Fahrerinnen und Fahrer und können dazu beitragen, das Berufsbild attraktiver zu machen: Ein Gewinn für die Beschäftigten, die Gesellschaft, die Unternehmen und nicht zuletzt für die Umwelt.

Mit dem Forschungs- und Entwicklungsprojekt ATLAS-L4 machen die Projektbeteiligten nun einen wichtigen Schritt, um automatisierte Nutzfahrzeuge gemäß SAE Level 4 bald Realität werden zu lassen: Bis Mitte des Jahrzehnts wollen sie ein Konzept für den Betrieb automatisierter Lkw auf der Autobahn vorlegen, das sich in eine Industrialisierung übertragen lässt.

Die 12 Partner aus Industrie, Wissenschaft und Infrastrukturbetreibern nahmen am 01. Januar 2022 ihre Arbeit auf. Jeder Partner bringt dabei seine individuelle Expertise in die Entwicklung des Prototypen-Lkws ein. Abbildung 6.1 zeigt ein Beispielfahrzeug. ATLAS-L4 wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) über eine Laufzeit von knapp 3 Jahren (bis September 2024) gefördert.



Abbildung 6.1: Beispielfahrzeug im Projekt ATLAS-L4 (Anmerkung: Das Logo des WIVW fehlt in dieser Abbildung) ©MAN

Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik bearbeiten im Projekt ATLAS-L4 Aufgaben mit unterschiedlichen Schwerpunkten. Basierend auf der Analyse von einzuhaltenden Gesetzen und Normen werden die Erstellung einer Sicherheitsargumentation für ein automatisiertes Fahrzeug untersucht. Die Themen Systemsicherheit im Kontext der funktionalen Sicherheit (FuSi) und der Sicherheit der beabsichtigten Funktionalität (SOTIF) sowie die Selbstüberwachung eines automatisierten Fahrzeugs werden ausgehend von einer Analyse der Anforderungen an die dynamische Fahraufgabe erforscht. Weiterhin werden die Gesamtfahrzeugverifikation und die Sicherheitsvalidierung automatisierter Fahrzeuge näher betrachtet. Dazu wird die Erstellung und Umsetzung eines zugehörigen Testkonzepts untersucht. Zusätzlich wird eine funktionale Systemarchitektur für das Fahrzeugsystem erarbeitet. Entscheidende Voraussetzung für das erfolgreiche Inverkehrbringen von SAE Level 4 Fahrzeugen in den öffentlichen Straßenverkehr ist das

Vorhandensein eines umfassenden Nachweises einer sicheren Entwicklung des betrachteten Systems. Die Gewährleistung eines akzeptierten Risikoniveaus gilt es strukturiert und nachvollziehbar zu argumentieren – insbesondere unter Berücksichtigung der Prämisse, dass dem System stets ein Restrisiko inhärent ist, welches aufgrund von unter anderem unvollständigem Wissen und generischen Unsicherheiten naturgemäß nicht eliminiert werden kann. Um dem Projektziel gerecht zu werden, gilt es diesbezüglich den Rahmen einer Sicherheitsargumentation für einen SAE Level 4 automatisierten Lkw zu erarbeiten. Somit wird perspektivisch der Weg für einen Lkw-Serienbetrieb auf Autobahnen für den Anwendungsfall des fahrerlosen Hub-to-Hub-Transports geebnet.

In Hinblick auf diesen Arbeitsauftrag konnte im Berichtszeitraum eine erste Grundlage geschaffen werden. Ziel war zunächst die Identifikation von zu adressierenden Kernaspekten gemäß Normen und Standards, welche die Sicherheit automatisierter Fahrzeuge betreffen. Einerseits befähigt eine umfangreiche Analyse von Normen, Standards und Gesetzestexten zur Erfüllung des bereits motivierten Vollständigkeitsanspruchs. Zudem können domänenspezifische Synergien für die jeweilige Teilarargumentation (z. B. innerhalb der Domäne „Funktionale Sicherheit“) erzeugt werden. Andererseits haben wir uns in diesem Zuge intensiv mit der Frage nach inhaltlichen Lücken in entsprechenden Dokumenten beschäftigt, um gegebenenfalls notwendige Gegenmaßnahmen ableiten zu können.

Für einen möglichst hohen Grad an Nachvollziehbarkeit wurde mit der Konzeption eines Rahmenwerks für die Erstellung einer SAE Level 4 Sicherheitsargumentation begonnen. In dieses Rahmenwerk fließt zum einen die skizzierte Analyse relevanter Dokumente ein. Zusätzlich werden übliche Vorgehensweisen in der Industrie berücksichtigt. Zum anderen liegen zentrale Fragestellungen zugrunde, deren kondensierte

Antworten im zugehörigen Rahmenwerk verortet werden. Hierbei handelt es sich um Forschungsgegenstände, wie z. B. der Frage nach dem Herbeiführen von Konsistenz in Argumentation und Struktur, nach der Berücksichtigung von Unsicherheiten und deren Propagation oder nach dem modularen Aufbau, der die Wiederverwendung von Argumentationszweigen erlaubt. Dabei ist die Anwendung von Methoden und Ansätzen für die Erstellung von Sicherheitsargumentationen, die in der Forschungslandschaft den Stand der Technik repräsentieren, von wesentlicher Bedeutung.

Zur Vorbereitung geplanter Sicherheitsanalysen im Projekt wurde bestehende Literatur zur Beschreibung der Betriebsumgebung (Operational Design Domain, ODD) automatisierter Straßenfahrzeuge zusammengetragen und analysiert. Die Ergebnisse flossen bereits in die Arbeiten zur Beschreibung des Entwicklungsgegenstands (Item Definition) ein.

Weitere Arbeiten fanden im Zusammenhang der Verhaltensspezifikation und Architekturgestaltung statt. Im Berichtszeitraum wurden erste Anforderungen an eine formale Repräsentation von Verhaltensanforderungen aus bestehender Literatur erhoben. Auf dieser Basis konnte ein Konzept zur Integration mit am Institut entwickelten ODD-Modellen erarbeitet werden. Um diese integrierten Modelle im Rahmen der Systementwicklung und -absicherung nutzen zu können, werden sie darüber hinaus mit Methoden und Werkzeugen der Systemtechnik verbunden. Das Ziel dieses Ansatzes besteht in der Unterstützung einer durchgängigen Sicherheitsargumentation, in der Zusammenhänge zwischen Elementen der Systemarchitektur und übergeordneten, sicherheitsbezogenen Ansprüchen gezeigt werden sollen.

Wissenschaftliche Potentiale ergaben sich im Berichtszeitraum auch durch die Einbringung einer Architektursicht auf Basis der Systemfähigkeiten. Das Konzept der Systemfähigkeiten im Kontext automatisierter

Fahrzeuge wurde am Institut für Regelungstechnik weiterentwickelt. Der sichere Betrieb automatisierter Fahrzeuge in einem offenen Verkehrskontext wird durch die Verwendung des Konzepts der Fähigkeiten und der damit verbundenen Abstraktion des Verhaltens unterstützt. Die Überwachung der Güte der Systemfähigkeiten stellt des Weiteren eine notwendige Aufgabe als Beitrag zur Selbstwahrnehmung des automatisierten Fahrzeugs dar. Im Austausch mit den Mitarbeitenden der Projektpartner wird daher im weiteren Verlauf des Projekts an konkreten Mechanismen zur Laufzeitüberwachung der Systemfähigkeiten gearbeitet, was zur Erreichung der Selbstwahrnehmung des Fahrzeugs eine in der Literatur diskutierte notwendige Voraussetzung darstellt.

Die technische Umsetzung funktionaler Elemente, die zur Erfüllung dieser Systemfähigkeiten beitragen, erfolgt in Rahmen der Funktionsentwicklung im Projekt. Im Austausch mit den Mitarbeitenden von MAN und der TU München wurde die technische Umsetzung der funktionalen Architektur besprochen. Innerhalb des Berichtszeitraums wurde damit begonnen, die Schnittstellen der Softwarekomponenten wie Bewegungsplanungsalgorithmen und Bewegungsregelungsalgorithmen zu besprechen. Das Institut für Regelungstechnik beschäftigt sich in diesem Kontext mit weiteren Laufzeitmethoden, welche zur Eigenschaft der Selbstwahrnehmung des Systems beitragen. Forschungspotentiale ergeben sich dabei auch im Zusammenhang mit den Methoden zur Reibwertschätzung, die durch die TU München im weiteren Projektverlauf konzipiert werden. Im initialen Austausch wurden gemeinsame Forschungsaktivitäten mit den Mitarbeitern der TU München innerhalb des Projekts beschlossen, die sich gemäß Projektvorhaben der Unsicherheitsanalyse im Kontext der Reibwertschätzung widmen sollen. Die Bemessung von Unsicherheiten zur Laufzeit stellt einen neuartigen Ansatz dar, der zur Selbstwahrnehmung des Fahrzeugs beiträgt.

Zur Verifikation entwickelter Sicherheitskonzepte für automatisierte Fahrzeuge (mit einem SAE Level 3+) und zur Validierung ihres sicheren Betriebs sind neue Testansätze erforderlich. Szenarienbasierte Entwicklungs- und Testansätze in Kombination mit einer (zumindest teilweisen) Testfalldurchführung in der Simulation sind vielversprechende Lösungsansätze, die aktuell in verschiedenen Projekten erforscht werden. Im Projekt ATLAS-L4 wird auf diesen Ansätzen aufgebaut und es werden szenarienbasierte Testansätze mit dem Ziel der Gesamtfahrzeugverifikation und Sicherheitsvalidierung automatisierter Fahrzeuge weiter untersucht. Hierfür sind geeignete Testkonzepte zu entwickeln, die heute nur bedingt existieren. Teile eines solchen Testkonzepts sind beispielsweise Testaktivitäten, Teststrategien und Testentwurfsverfahren. Im Berichtszeitraum wurde die initiale Struktur eines Testkonzepts für die Gesamtfahrzeugverifikation und die Sicherheitsvalidierung eines automatisierten Fahrzeugs erstellt und mit den Mitarbeitenden der beteiligten Projektpartner diskutiert. Ansätze für die im Testkonzept erforderlichen Inhalte wurden initial beschrieben und ebenfalls mit den Mitarbeitenden der beteiligten Projektpartner diskutiert.

7 Forschungsbedarf Teleoperation

von Leon Johann Brettin und Nayel Fabian Salem

In Hinblick auf die neue Gesetzeslage zur Technischen Aufsicht und dem wachsenden Interesse aus der Wirtschaft hat sich eine durch die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) koordinierte Gruppe konstituiert, in der die beteiligten Partner das Ziel verfolgen, Forschungsbedarfe im Themenfeld der Teleoperation automatisierter Straßenfahrzeuge zu identifizieren.

Die interdisziplinäre Forschungsgruppe teilt sich in folgende fünf Cluster auf:

- Fahrzeug, Betriebsbereich, Funktionssicherheit
- Leitstand, Ergonomie und Arbeitsschutz
- Kommunikationstechnologie
- Fahreignung, Befähigung & personelle Anforderungen
- Gesellschaftliche Aspekte und Verkehrssicherheit

Wir als Institut für Regelungstechnik engagieren uns hierbei in verschiedenen Rollen: Markus Maurer koordiniert die Arbeiten im Cluster *Fahrzeug, Betriebsbereich, Funktionssicherheit*, welchem unter anderem Dr. Frank Diermeyer (TU München), Tom Gasser (BASt), Dr. Tobias Hesse (DLR), Prof. Gerd Riegelhuth (Autobahn GmbH) und Leon Johann Brettin (IfR) angehören. Nayel Salem unterstützt das Cluster *Gesellschaftliche Aspekte und Verkehrssicherheit*. Die Aufteilung in solche Cluster ermög-

licht es, verschiedene Perspektiven auf zukünftige Fragestellungen im Bereich der Teleoperation einzunehmen.

Bisher fanden ein Kick-Off Termin bei der BAST in Bergisch-Gladbach sowie ein Online-Treffen statt. Es wurden im Workshop-Charakter zunächst die Cluster gebildet und darauf aufbauend Themen an den Schnittstellen und innerhalb der Cluster identifiziert.

Der interdisziplinäre Charakter der Forschungsgruppe machte zunächst einen gemeinsamen Rahmen erforderlich, in dem sich die Beteiligten verorten können. Im Zuge dieses Bedarfes schlugen wir ein Rahmenwerk vor, welches wir in Zusammenarbeit mit den Kollegen der BAST Tom Gasser und Elisabeth Shi weiterentwickelten. Die Anwendung des Rahmenwerks auf erste betrachtete Anwendungsfälle der Teleoperation im Bereich automatisierter Straßenfahrzeuge hat gezeigt, dass es die Beitragenden in der Forschungsgruppe in ihrer gemeinsamen Arbeit und insbesondere in der interdisziplinären Kommunikation unterstützt. Hierbei stellt allerdings die Etablierung einer gemeinsamen Fachsprache noch eine zentrale Herausforderung dar.

8 Forschungspartnerschaft mit CRAiEDL (uOttawa)

von Nayel Fabian Salem, Marcus Nolte und Robert Graubohm

Unsere Forschungspartnerschaft mit dem *Canadian Robotics and AI Ethical Design Lab* (CRAiEDL) der University of Ottawa unter der Leitung von Professor Jason Millar besteht inzwischen seit mehr als zwei Jahren. Das gemeinsame Ziel besteht darin, interdisziplinäre Fragestellungen im Bereich des automatisierten Fahrens zu untersuchen. Über eine gemeinsame technische Perspektive hinaus bedienen die Forscher*innen des CRAiEDL dabei auch die akademischen Fachbereiche der Philosophie und Rechtswissenschaften.

In dem Pilot-Projekt einer gemeinsam betreuten Masterarbeit im Jahr 2020 zeigte sich erneut, dass die Etablierung einer gemeinsamen Sprache zwischen Stakeholdern verschiedener Disziplinen eine wesentliche Bedeutung für das Vertrauen der Gesellschaft in automatisierte Fahrsysteme haben wird. Dabei konnten wir in unserer Zusammenarbeit insbesondere Herausforderungen bei dem Umgang mit den Begriffen „Sicherheit“ und „Risiko“ feststellen.

Als eine Konsequenz dieses Ergebnisses begann – in einer Autorengruppe bestehend aus Sophie Le Page, Prof. Jason Millar (beide CRAiEDL), Dr. Philipp Junietz (*Continental AG*) sowie Beitragenden unserer Arbeitsgruppe (Nayel Salem, Marcus Nolte, Robert Graubohm, Prof. Markus Maurer) – im Jahr 2021 die Arbeit an einem Beitrag für das *Handbuch assistiertes und automatisiertes Fahren*. Der entstandene Artikel *Sicherheit und Risiko – ein Beitrag zur Bedeutung grundlegender Begriffe* beleuchtet Unterschiede in der Bedeutung und Verwendung der Begriffe „Sicherheit“

und „Risiko“ und schlägt einen Fragenkatalog zur expliziten Formulierung bekannter Unterschiede vor. Ein detaillierter Einblick in diese Forschungsarbeit wird im Kapitel 14 unseres Jahresberichts gegeben, da die zugrundeliegende Problematik bereits im Projekt *Wertebasierte Verhaltensentscheidung* aufgeworfen und in Ansätzen adressiert wurde.

Über die gemeinsame Arbeit am Buchkapitel hinaus besteht ein Austausch durch den gegenseitigen Besuch von Diskussionsformaten wie dem Oberseminar am Institut für Regelungstechnik (siehe Unterabschnitt 2.2.2) oder den Workshop *Ensuring and Validating Safety for Automated Vehicles*, zu dem Jason Millar in diesem Jahr einen Beitrag beisteuerte (siehe Kapitel 15) – vielen Dank dafür auch an dieser Stelle.

Please find the English version below.

Our research partnership with the *Canadian Robotics and AI Ethical Design Lab (CRAiEDL)* at the University of Ottawa, led by Professor Jason Millar, has now been in place for more than two years. The common goal is to conduct interdisciplinary work in the field of automated driving. Beyond a technical perspective, the *CRAiEDL* researchers also cover the academic disciplines of philosophy and law.

In the pilot project of a jointly supervised master's thesis in 2020, it became apparent once again that establishing a common language between stakeholders from different disciplines will have a significant impact on society's trust in automated driving systems. In this context, we were able to identify challenges in dealing with the terms 'safety' and 'risk' in particular during our collaboration.

As a consequence of this finding, a group of authors consisting of Sophie Le Page, Prof. Jason Millar (both *CRAiEDL*), Dr. Philipp Junietz (*Continental AG*) as well as researchers from our working group (Nayel

Salem, Marcus Nolte, Robert Graubohm, Prof. Markus Maurer) work began in 2021 on a contribution to the *Handbook on Assisted and Automated Driving*. The resulting article *Safety and Risk – Why Their Definitions Matter* highlights differences in the meaning and usage of the terms ‘safety’ and ‘risk’ and proposes questions to explicitly formulate known differences. A more detailed insight into this research is given in chapter 14 of our annual report (German only), as we initially raised and addressed the underlying problem in the project *Value-Based Decision Making*.

Beyond the joint work on the book chapter, there is an exchange through mutual attendance of discussion formats such as the Oberseminar at the Institute of Control Engineering (see subsection 2.2.2) or the workshop *Ensuring and Validating Safety for Automated Vehicles*, to which Jason Millar contributed this year (see chapter 15). Thank you again, Jason.

9 SET Level

von Markus Steimle und Till Menzel

Im Forschungsprojekt *SET Level*¹ (Simulationsbasiertes Entwickeln und Testen von automatisiertem Fahren) werden simulationsbasierte Methoden und Werkzeuge erforscht, die für die Entwicklung und das Testen automatisierter Fahrzeuge benötigt werden.

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. Diese Demonstrationen finden allerdings unter eng definierten Bedingungen statt. Für die Freigabe beziehungsweise Markteinführung der entsprechenden Fahrzeuge sind sie deshalb nicht hinreichend. Daher rückt zunehmend das Thema der Absicherung automatisierter Fahrzeuge in den Fokus der Forschung und Entwicklung. So stand zum Beispiel im Forschungsprojekt PEGASUS², das im Jahr 2019 abgeschlossen wurde, das Testen hochautomatisierter Fahrfunktionen 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* setzt genau an diesem Punkt an. *SET Level* konzentriert sich auf simulationsbasierte Methoden und Werkzeuge, die während der Entwicklung und dem Testen automatisierter

¹<https://setlevel.de/>, abgerufen am 12.09.2022.

²<https://www.pegasusprojekt.de/de/>, abgerufen am 12.09.2022.

Fahrzeuge eingesetzt werden können. Als zentraler Anwendungsfall wird das automatisierte Fahren (SAE Level 4 und 5) in urbanen Räumen betrachtet. Es werden numerische Simulationsmethoden weiterentwickelt sowie neue Mechanismen zur Modellkopplung konzipiert und umgesetzt. Des Weiteren werden Simulationsmodelle punktuell neu entwickelt, 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 wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) mit 16,5 Millionen Euro über eine Laufzeit von ursprünglich 3,5 Jahren gefördert. Im Berichtszeitraum wurde die Projektlaufzeit um zwei Monate verlängert, sodass die Gesamtprojektlaufzeit 44 Monate beträgt.

SET Level knüpft unmittelbar an die im Projekt PEGASUS generierten Ergebnisse an. SET Level ist eng mit dem Projekt VVMMethoden³ verzahnt, bei dem Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik ebenfalls beteiligt sind (siehe Kapitel 13). In VVMMethoden 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.

Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik bearbeiten in SET Level Aufgaben mit unterschiedlichen Schwerpunkten. Die im Projekt

³<https://www.vvm-projekt.de/>, abgerufen am 12.09.2022.

aFAS⁴ und im Rahmen eines Unterauftrags im Projekt PEGASUS entwickelten Methoden und Werkzeuge zur Szenariengenerierung und Anforderungserhebung an Simulationsmodelle werden in SET Level weiterverfolgt. Weiterhin leiten Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik Simulationsziele und Simulationsprinzipien her und definieren diese. Zusätzlich identifizieren sie funktionale Anforderungen an die Simulation. Dabei werden unter anderem die Erfahrungen aus dem Projekt Stadtpilot berücksichtigt. Weitere Beiträge des Instituts für Regelungstechnik sind Ansätze zur 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.

Weitere Schwerpunkte des Instituts für Regelungstechnik lagen im Berichtszeitraum auf den Themen Terminologie und Taxonomie sowie ausreichend valide Testfalldurchführung. In diesem Kontext wurden im Berichtszeitraum unter Mitwirkung von Mitarbeitern des Instituts für Regelungstechnik drei Journalartikel bei *IEEE Access* publiziert.

Die erste Publikation⁵ behandelt das Thema Terminologie und Taxonomie für szenarienbasierte Entwicklungs- und Testansätze für automatisierte Fahrzeuge. In dieser Publikation leisten die Autoren einen Beitrag zu einer konsistenten und abgestimmten Taxonomie für szenarienbasierte Entwicklungs- und Testansätze für automatisierte Fahrzeuge. Sie präsentieren einen Rahmen für die Strukturierung der Taxonomie. Innerhalb dieses Rahmens schlagen sie ein Basisvokabular vor, indem

⁴<https://ieeexplore.ieee.org/document/7313207>, abgerufen am 12.09.2022.

⁵STEIMLE, M.; MENZEL, T.; MAURER, M.: Toward a consistent taxonomy for scenario-based development and test approaches for automated vehicles: A proposal for a structuring framework, a basic vocabulary, and its application. In: *IEEE Access* 9 (2021), S. 147828–147854. – doi: 10.1109/ACCESS.2021.3123504

sie Begriffe identifizieren und beschreiben, die sie für einen Überblick über solche szenarienbasierte Entwicklungs- und Testansätze für besonders relevant halten. Zusätzlich visualisieren sie diese Begriffe und die Beziehungen zwischen ihnen mit UML-Diagrammen und erläutern die Anwendung des vorgeschlagenen Basisvokabulars mit einem Beispiel.

Die zweite Publikation⁶ behandelt das Thema Generierung ausreichend valider Testfallergebnisse durch die systematische Zuordnung von Testfällen zu Prüfstandskonfigurationen in einem szenarienbasierten Testansatz für automatisierte Fahrzeuge. In dieser Publikation schlagen die Autoren eine Methode zur Klassifizierung von Prüfständen und Prüfstandskonfigurationen vor. Basierend auf dieser Klassifikationsmethode schlagen sie eine Methode zur systematischen Zuordnung von Testfällen zu Prüfstandskonfigurationen in einem szenarienbasierten Testansatz für automatisierte Fahrzeuge vor. Diese Zuordnungsmethode liefert eine Basis für die effektive und effiziente Ausführung einer großen Anzahl von Testfällen bei gleichzeitiger Generierung ausreichend valider Testfallergebnisse. Beide Methoden werden mit Beispielen erläutert.

Die dritte Publikation⁷ behandelt das Thema Taxonomie für Qualität in simulationsbasiertem Entwickeln und Testen von automatisierten Fahrsystemen. In dieser Publikation schlagen die Autoren eine Taxonomie für eine systematische Klassifizierung der Qualität im Kontext einer Simulation im Entwicklungs- und Testprozess vor. Dazu geben sie

⁶STEIMLE, M.; WEBER, N.; MAURER, M.: Toward generating sufficiently valid test case results: A method for systematically assigning test cases to test bench configurations in a scenario-based test approach for automated vehicles. In: *IEEE Access* 10 (2022), S. 6260–6285. – doi: [10.1109/ACCESS.2022.3141198](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3141198)

⁷SCHÜTT, B.; STEIMLE, M.; KRAMER, B.; BEHNECKE, D.; SAX, E.: A taxonomy for quality in simulation-based development and testing of automated driving systems. In: *IEEE Access* 10 (2022), S. 18631–18644. – doi: [10.1109/ACCESS.2022.3149542](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3149542)

eine Definition zu relevanten qualitätsbezogenen Begriffen, um Mehrdeutigkeiten zu vermeiden. Sie unterteilen die Simulationsqualität in drei Hauptkategorien, die während des szenarienbasierten Testens in der Simulation auftreten können: die Qualität des Simulationsmodells oder Simulationswerkzeugs, die Qualität eines Fahrzeugs oder seiner Komponenten und die Qualität der zu testenden Szenarien. Zusätzlich schlagen sie eine erweiterbare Taxonomie und Terminologie für alle drei Kategorien und Auflösungsebenen vor, um ein besseres Verständnis des Konzepts und der Klassifizierung von Qualität im Entwicklungs- und Testprozess zu erreichen.

Nachdem während der bisherigen Corona-Pandemie die Quartalstreffen virtuell stattgefunden haben, war ein Highlight im Berichtszeitraum das Quartalstreffen, welches wieder in Präsenz stattfinden konnte. Bei einem gemeinsamen Abendessen konnten sich die Projektbeteiligten zudem persönlich zu verschiedensten Themen austauschen.

10 UNICARagil

von Marvin Loba, Robert Graubohm, Tobias Schröder und Richard Schubert

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, die Maxion Wheels Holding GmbH und die Vires Simulationstechnologie GmbH vertreten.

Das wesentliche Projektziel ist die Entwicklung und Demonstration von vier modular aufgebauten 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



Abbildung 10.1: Konzeptzeichnungen der vier Prototypen, die im Projekt UNICARagil aufgebaut werden ©ika

- **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 hin zu der Aktuatorik ab. Die maschinelle Umfeldwahrnehmung wird mit vier Sensormodulen an den Ecken des Fahrzeugs realisiert, die Radar-, Lidar- und Kameratechnologien kombinieren. Eine Skizze des Gesamtkonzepts ist in Abbildung 10.2 dargestellt.

Die Projektumfänge des Instituts für Regelungstechnik sind inhaltlich in drei wesentliche Bereiche unterteilt. Der erste Bereich umfasst

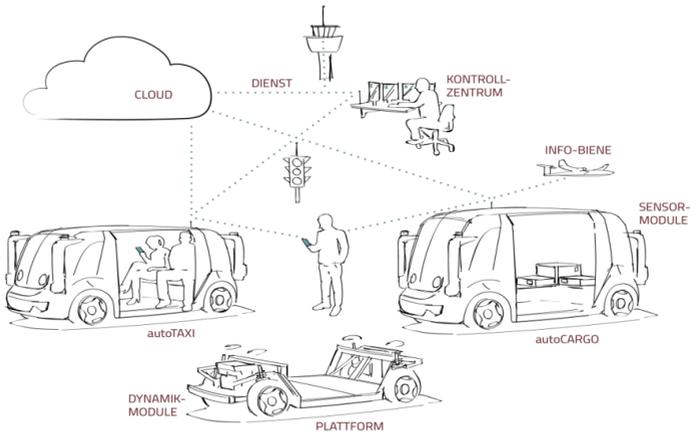


Abbildung 10.2: Skizze des Gesamtkonzepts des Projekts UNICARagil ©ika

die Entwicklung des Fahrzeugs im Anwendungsfall *autoELF*. Weiterhin steht die *Sicherheit* der Fahrzeuge im Fokus der geleisteten Institutsbeiträge im Projekt. Um dem Anspruch eines angemessen sicheren Rahmens für den beabsichtigten Betrieb gerecht werden zu können, lag ein fachlicher Schwerpunkt seit Beginn des Projekts auf sicherheitsrelevanten Betrachtungen, die der konkreten technischen Entwicklung als Grundlage dienen (*Safety-By-Design-Paradigma*). Zudem werden Arbeiten im Kontext der *Selbstwahrnehmung* der Fahrzeuge durchgeführt.

Bei *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 so realisierten Mobilität, sondern auch Angehörige, für die bisher erforderliche

Fahrten zum Zweck der Begleitung entfallen. Nachdem in den ersten Projektjahren die konzeptionelle Ausrichtung des Fahrzeugs definiert und Entwürfe für die Gestaltung des Innenraums entwickelt wurden, konnten insbesondere im zurückliegenden Jahr viele der fahrzeugspezifischen Bauteile konstruiert und für den Einbau in das Fahrzeug vorbereitet werden. Unter anderem wurde mit der Realisierung einer Smartphone-App begonnen, über die sich das Fahrzeug innerhalb einer Familie koordinieren lässt. Im Zuge einer externen Beauftragung wurde darüber hinaus eine fahrzeuginterne Bedienoberfläche entwickelt. Die Fertigstellung dieser Arbeiten liegt außerhalb des Berichtszeitraums, jedoch deuten bereits jetzige Entwicklungsstände auf ein besonderes Nutzererlebnis hin.

Da das eigentliche Fahrzeug erst in einer späteren Projektphase für die Integration der anwendungsfallspezifischen Komponenten nach Braunschweig kommt, wurde bereits im Jahr 2020 eine 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 konnten. Nachdem die Sitzkiste bereits dazu genutzt wurde, die im Innenraum des Fahrzeugs geplanten Bedienelemente und deren Anordnung zu evaluieren, wurde in diesem Jahr der Aufbau des Innenraumbordnetzes mithilfe der Sitzkiste vorbereitet.

Im Zuge zweier Online-Befragungen, durchgeführt von der Forschungsgruppe für Ingenieur- und Verkehrspsychologie der TU Braunschweig, wurden Personen verschiedener Zielgruppen zu ihrem jetzigen Mobilitätsverhalten befragt. Die Befragten wurden dabei auch mit hypothetischen Nutzungsszenarien von *autoELF* konfrontiert und zu ihrer Absicht, ein derartiges Fahrzeug zukünftig zu nutzen, befragt. Abbil-

dung 10.3 zeigt eine dabei verwendete Illustration. Die Veröffentlichung der Umfrageergebnisse ist für das kommende Jahr geplant, darüber hinaus sollen weitere Probandenstudien erfolgen.



Abbildung 10.3: Illustration eines in einem fahrerlosen Fahrzeug reisenden Kindes

Im Kontext der *Sicherheit* der Fahrzeuge liegt der Schwerpunkt auf der Entwicklung eines ganzheitlichen Sicherheitskonzepts für die automatisierte Fahrfunktion. Die Betrachtungen gehen aufbauend auf den Erfahrungen aus dem Projekt aFAS („Automatisch fahrerlos fahrendes Absicherungsfahrzeug für Arbeitsstellen auf Autobahnen“) über den Fokus der „Funktionalen Sicherheit“ gemäß ISO 26262 hinaus. Zentrale Herausforderungen liegen in dem inhärenten Risiko des automatisierten Fahrens, das unter anderem aus generischen Messunsicherheiten, der mit Ungewissheit behafteten Prädiktion des Verhaltens anderer Verkehrsteilnehmer*innen, unvollständigem Wissen und Anforderungen sowie einer naturgemäß begrenzten Testtiefe hervorgeht.

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 gepflegt. 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 fortwährend verfeinern zu können.

Maßgebliche Unterstützung finden diese Bestrebungen, die einen sicheren Betrieb ermöglichen sollen, durch Absicherungsaktivitäten der TU Darmstadt. Dort werden die Ansätze der fahraufgabenspezifischen sowie der modularen Absicherung verfolgt. Diese sollen Testaufwände durch einen Zuschnitt des relevanten Szenarienraums reduzieren und eine Verringerung der für die Freigabe notwendigen Ressourcen erzielen. Ferner befördert die verstärkte Ausrichtung des Prozesses auf Modultests zugunsten des teilweisen Wegfalls meist komplexerer Integrations- und Systemtests die Anwendbarkeit des modularen Fahrzeugkonzepts. Die Implementierung des „Sicheren Anhalten“ erlaubt den Übergang in einen risikominimalen Zustand im Falle signifikanter Degradation und trägt zusätzlich als zentraler Sicherheitsmechanismus entscheidend zu der Absicherung bei.

Im Berichtszeitraum stand insbesondere die Koordination und Unterstützung des Prozesses der individuellen Fahrzeugfreigabe innerhalb des Projekts im Vordergrund. Das zugehörige Vorgehen entspricht einem entwicklungsbegleitenden Instrument zur Erreichung eines hinreichend geringen Risikoniveaus für den Versuchsbetrieb und die Abschlussdemonstration. Unter Berücksichtigung einer fahrzeugweiten Sicherheitsargumentation für den Erprobungs- und Demonstrationsbetrieb ist eine Freigabehierarchie abgestimmt, die an den fünf Integrationsstufen der Fahrzeuginbetriebnahme orientiert ist. In Hinblick auf die Zielsetzung einer projektweiten Freigabe werden stufen- und fahrzeugindividuelle Freigabedokumente aufbereitet, die entsprechend des jeweiligen Rahmens unterschiedliche Komponentenfreigaben und komponentenunabhängige Freigabemodule (Betriebsanweisung, Beschreibung der Testgelände ...) erfordern. Auf diesem Weg soll gewährleistet werden, dass die notwendigen Evidenzen seitens der Verantwortlichen als Belege einer möglichst sicheren Entwicklung geliefert und hinsichtlich ihrer Anforderungserfüllung plausibilisiert werden können. Dabei liegt der Schwerpunkt auf der nachvollziehbaren Dokumentation sämtlicher Strategien zur Gefährdungsmitigierung, der zugrundeliegenden Sicherheitsanforderungen und der implementierten Rückfallmechanismen auf Komponentenebene. Zusätzlich findet eine Begutachtung der Unterlagen durch die TÜV Süd Rail GmbH als externe Prüfeinheit statt.

Das Institut für Regelungstechnik entwickelte des Weiteren im Projektzeitraum die Beiträge zur Selbstwahrnehmung automatisierter Fahrzeuge weiter. Im Projekt wurde das Konzept zur Laufzeitüberwachung von Systemfähigkeiten als Teil der Selbstwahrnehmung des Fahrzeugs weitergeführt und der verwendete technische Ansatz nach Abschluss der Implementierung verifiziert. Die expertenbasierte Methode zur Parametrierung der Laufzeitüberwachung von Systemfähigkeiten er-

wies sich als universelles Konzept, welches voraussichtlich auch in der geplanten Abschlussdemonstration des Projekts im Jahr 2023 exemplarisch zum Einsatz kommen wird. Die Überwachung der Fähigkeiten als Teil der Selbstwahrnehmung soll mit der verwendeten Methode die Ausgabe einer Performanz für das Gesamtsystem erlauben, die quantitativ und gleichzeitig intuitiv interpretierbar ist. Zur Demonstration wurde daher am Institut ein System entwickelt, welches die Visualisierung der momentanen Gesamtsystemperformanz auf einem Monitor im *autoELF*-Fahrzeug ermöglicht.

Innerhalb des Berichtszeitraums waren vereinzelt Treffen in Präsenz (siehe Tabelle 10.1) möglich, welche zuvor aufgrund der Coronapandemie längere Zeit ausgesetzt werden mussten. Sämtlichen Projektbeteiligten war so der lang ersehnte persönliche Austausch wieder möglich. Dies war insbesondere für notwendige Abstimmungen in Hinblick auf die Abschlussdemonstration, die im Mai des Jahres 2023 in Aachen stattfinden wird, von zentraler Bedeutung.

Datum	Anlass	Teilnehmende
03.10.2021 – 06.10.2021	Vorstellung von Beiträgen auf dem Aachen Colloquium Sustainable Mobility	Inga Jatzkowski und Tobias Schröder
02.05.2022 – 04.05.2022	Einbau des Funk-Notaus-Systems im <i>autoTAXI</i> in München	Robert Graubohm, Richard Schubert und Tobias Schröder
05.06.2022 – 09.06.2022	Demonstration des <i>autoTAXI</i> auf dem IEEE Intelligent Vehicle Symposium 2022 in Aachen	Robert Graubohm und Marvin Loba

05.09.2022 – 06.09.2022	Konsortialtreffen in München	Leon Johann Brettin, Robert Graubohm, Richard Schubert, Tobias Schröder und Markus Maurer
19.09.2022 – 25.09.2022	IAA Transportation 2022 in Hannover (Stand für Präsen- tation des <i>autoCARGO</i>)	Leon Johann Brettin, Marvin Loba und To- bias Schröder

Tabelle 10.1: Zusammenkünfte innerhalb des Projekts UNICAR*agil* mit Beteiligung von Mitarbeitern des Instituts für Regelungstechnik

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

11 ViVre

von Felix Grün

Aus dem steigenden Mobilitätsbedarf sowohl von Personen als auch von Gütern erwachsen besondere Herausforderungen für die innerstädtische Verkehrsinfrastruktur. Diesen mit intelligenten, emissionsarmen und nachhaltigen Mobilitätslösungen zu begegnen war das Ziel des 2022 abgeschlossenen Projekts ViVre (Vernetzung virtualisierter Verkehrsinfrastrukturen und automatisierter Fahrfunktionen für nachhaltige Mobilitätslösungen).

Im Rahmen des Projekts erforschten die sieben Projektpartner aus Industrie und Wissenschaft gemeinsam die Zukunft der Mobilität im innerstädtischen und ländlichen Raum. Die drei Fokuspunkte des Projekts sind hierbei die Entwicklung automatisierter Fahrfunktionen für die autonomen Fahrzeuge von morgen, die Erforschung von Möglichkeiten zur Virtualisierung der Verkehrsinfrastruktur sowie die Vernetzung von virtueller Verkehrsinfrastruktur, intelligenten Fahrzeugen und dem Menschen als anspruchsvollem Anwender und dynamischem Verkehrsteilnehmer. Einen Schwerpunkt des Projektes bilden daher 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 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 wurde aus dem Digitalen Knoten 4.0

in ViVre übernommen und dort weitergeführt. Insbesondere wurden Konzepte für virtuelle Haltestellen erarbeitet, im realen Straßenverkehr sowie in der Simulation umgesetzt und evaluiert. Das Institut für Regelungstechnik brachte sich in das Projekt mit seiner Expertise im Betrieb von Versuchsträgern und der Entwicklung von Wahrnehmungsalgorithmen für das automatisierte Fahren ein.

Nach der Definition der Use Cases und der Ableitung der damit verbundenen Anforderungen zu Beginn des Projekts fokussierten sich die Arbeiten unseres Instituts insbesondere auf die Erweiterung der Wahrnehmung zur Bewältigung neuer Fahraufgaben. Einer der Hauptforschungsschwerpunkte lag in der Übertragung der abstrakten Anforderungen auf konkrete Datensätze für die Wahrnehmung des statischen Umfelds, welche für das Training einer Deep-Learning-basierten Wahrnehmung unabdingbar sind. Zentral ist hierbei die strukturierte Analyse und Entwicklung von Datensätzen im Hinblick auf Anforderungen, welche zuvor in einem klar gegliederten Prozess nachvollziehbar abgeleitet wurden. Zum einen erlaubt sie begründete Entscheidungen für oder gegen bereits existierende Datensätze. Zum anderen ermöglicht sie die strukturierte, anforderungsbezogene Entwicklung neuer Datensätze. Beides erhöht die Nachverfolgbarkeit im Entwicklungsprozess und wird, so hoffen wir, langfristig ein wichtiger Baustein in der Sicherheitsargumentation des Gesamtsystems werden.

Dies ist insbesondere durch die überragende Wichtigkeit, die die akkurate Modellierung der Fahrzeugumgebung für die sichere Bewegung des automatisierten Fahrzeugs hat, dringend geboten. Die Fahrzeugumgebung lässt sich hierbei im Wesentlichen in bewegliche Objekte wie andere Verkehrsteilnehmer und die statische Verkehrsinfrastruktur wie Fahrstreifen, Kreuzungen und Parkplätze unterteilen. Aktuelle Systeme im Bereich des automatisierten Fahrens nutzen vielfach vordefiniert-

te hochgenaue Karten als Basis für die Modellierung der statischen Verkehrsinfrastruktur und damit als Grundlage für die Verhaltensentscheidung und Trajektoriengenerierung. Dies erfordert massive Investitionen in die Erstellung und Pflege aktueller, fehlerfreier Karten. Bei Fehlern in der Karte, Problemen der Lokalisierungslösung oder dem Erreichen der Kartengrenzen ist dennoch das Eingreifen einer menschlichen Rückfallebene erforderlich. Insbesondere fehlerhafte Lokalisierungen und durch Baustellen geänderte Spurführungen sind zwei Klassen von Problemen, die schnell zu unsicherem Verhalten wie dem plötzlichen unangekündigten Überfahren der Fahrstreifenbegrenzungen führen können.

Eine sensorbasierte Wahrnehmung des statischen Fahrzeugumfelds ermöglicht es dagegen, Entscheidungen basierend auf der tatsächlichen Verkehrsinfrastruktur zu treffen. Dies entkoppelt die Verhaltensentscheidung von möglichen Fehlern der Lokalisierungslösung und der Karte, vergrößert den Einsatzbereich des Fahrzeugs und erlaubt die dynamische Reaktion auf Änderungen der realen Verkehrsinfrastruktur. Insbesondere für Shuttles, die im ländlichen Raum verkehren, war es zudem wichtig, eine Lösung zu entwickeln, die auch bei vorübergehenden Ausfällen der V2X-Kommunikationen und ohne externe Sensoren mögliche Haltepunkte nahe des Zielbereichs identifizieren und bewerten kann.

Da die visuellen Merkmale, welche die verschiedenen Elemente der Verkehrsinfrastruktur ausmachen, mit modellbasierten Wahrnehmungsalgorithmen nur schwer zu modellieren sind, fiel die Wahl auf einen Deep-Learning-basierten Ansatz. Deep-Learning nutzt tiefe künstliche neuronale Netze, welche überragende Leistungen bei einer Vielzahl von schwer zu modellierenden Problemen gezeigt haben. Das im Projekt erstellte Deep-Learning-basierte Wahrnehmungssystem ist in der La-

ge, semantische Informationen aus kontextuellen Merkmalen in den Sensordaten abzuleiten und nachgelagerten Funktionen eine Vielzahl von Informationen zur Verfügung zu stellen. Hierzu zählen neben direkt wahrnehmbaren Eigenschaften wie die Position und die Klasse verschiedenster Fahrbahnmarkierungen auch semantische Eigenschaften wie nicht direkt markierte Parkmöglichkeiten am Straßenrand, Bushaltestellen ohne entsprechende Beschriftung auf der Fahrbahnoberfläche oder die Positionen von unmarkierten Fahrstreifenrändern.

Das Training künstlicher neuronaler Netze erfordert jedoch große Mengen annotierter Daten, die nicht nur die beabsichtigte Einsatzumgebung in ihrer Variabilität abbilden, sondern auch die Anforderungen an die Wahrnehmung in ihrer Annotation widerspiegeln müssen. Nachdem unsere Ergebnisse gezeigt hatten, dass keiner der verfügbaren Datensätze die aus den Use Cases hervorgegangenen Anforderungen erfüllte, lag der zweite Forschungsschwerpunkt auf der Entwicklung von Methoden und Werkzeugen zur semi-automatisierten Erstellung eines eigenen Datensatzes.

Das Annotieren der für das Training benötigten Grundwahrheit ist ein äußerst aufwendiger Prozess. Da die manuelle Annotation von Sensordaten einen zeitlichen und personellen Aufwand erfordert, der die Kapazitäten unseres Instituts bei Weitem übersteigt, war es unser Ziel, Algorithmen und Programme zu entwickeln, welche dem menschlichen Annotierer einen großen Teil dieser Arbeit abnehmen. Das von uns entwickelte System erlaubt die Generierung der benötigten Trainingsdaten aus den Informationen hochgenauer Karten und ermöglichte es so, mit geringem manuellen Aufwand einen ausreichend großen, qualitativ hochwertigen Datensatz für das Training des künstlichen neuronalen Netzes zu erstellen.

Wir sind stolz, dass wir das auf diesen Daten trainierte künstliche neuronale Netz im Rahmen unserer Live-Demonstration bei der ViVre-Abschlussveranstaltung der interessierten Öffentlichkeit vorstellen konnten.

Das Projekt ViVre wurde durch das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) mit 6,43 Millionen Euro über eine Laufzeit von 2,5 Jahren gefördert. Das Konsortium mit sieben Partnern aus Industrie und Wissenschaft nahm seine Arbeit im Januar 2020 auf und schloss das Projekt im Juni 2022 ab.

12 Kooperation mit der Volkswagen AG

von Robert Graubohm, Marvin Loba und Marcus Nolte

Die Markteinführung automatisierter Fahrzeuge bringt für die Automobilindustrie eine Reihe Chancen zur Realisierung neuartiger Geschäftsmodelle. Gleichzeitig birgt die Markteinführung aber auch juristische und finanzielle Risiken, die nur teilweise in der Hand der herstellenden Unternehmen liegen. Aufgrund der Komplexität des Verkehrssystems und der zu realisierenden E/E-Systeme ist es zu erwarten, dass auch bei sorgfältigster Entwicklung Fehler gemacht werden, die dazu führen, dass automatisierte Fahrzeuge in Unfälle verwickelt sein werden.

Die Frage, welche unternehmerischen Risiken von dieser Tatsache für die Hersteller automatisierter Fahrzeuge ausgehen, hängt einerseits von der öffentlichen Erwartung an die Technologie ab. Andererseits werden Unternehmen auch nachweisen müssen, welche Maßnahmen während der Entwicklung und nach dem Inverkehrbringen automatisierter Fahrzeuge ergriffen wurden, um sicherzustellen, dass von den Systemen kein unzumutbares Restrisiko sowohl für im Fahrzeug befindliche als auch für andere am Verkehr teilnehmende Personen ausgeht.

Vor diesem Hintergrund unterstützt das Institut für Regelungstechnik die Volkswagen AG seit Juni letzten Jahres mit Beiträgen zu Sicherheit, Freigabe und Risikomanagement für ein Level-4-Fahrzeug. Die Zusammenarbeit erstreckte sich im Berichtszeitraum über zwei Themengebiete.

Dabei handelt es sich einerseits um die Sicherheitsargumentation für automatisierte Fahrzeuge. Andererseits wurden Fragestellungen hin-

sichtlich der Identifikation von SOTIF Triggering Conditions für automatisierte Fahrzeuge adressiert.

Sicherheitsargumentation für automatisierte Fahrzeuge

Eine nachvollziehbare und hinreichend mit Evidenzen belegte Sicherheitsargumentation ist ein entscheidender Faktor für einen gültigen Sicherheitsnachweis (engl. Safety Assurance Case). Hersteller müssen einen umfangreichen Sicherheitsnachweis erbringen können, um eine belastbare Grundlage für die Homologation von automatisierten Fahrzeugen zu gewährleisten. Dabei muss diese Argumentation strukturiert darlegen, dass der Entwicklungsgegenstand für die vorgesehene Einsatzumgebung in einem akzeptablen Maß sicher ist. Insbesondere gilt es diesbezüglich, dem Anspruch einer möglichst vollständig und konsistent geführten Argumentation gerecht zu werden.

Maßnahmen der Kommunikation von (Rest-)Risiken durch eine Organisation kommt eine signifikante Bedeutung in Hinblick auf das Etablieren gesellschaftlicher Akzeptanz zu. Sicherheitsberichte (engl. Safety Reports) repräsentieren dahingehend ein zweckdienliches Instrument für einen Dialog mit externen Stakeholdern im Sinne einer transparenten Risikokommunikation. Eine eingehende Identifikation und Analyse sämtlicher Stakeholder ist sowohl für den Zuschnitt der Sicherheitsargumentation als auch für eine individuelle Ausrichtung der Kommunikationsstrategien unabdinglich.

Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik haben im vergangenen Jahr in enger Abstimmung mit Kollegen der Volkswagen AG Beiträge zur Beantwortung diverser Fragestellungen im beschriebenen Kontext geleistet. Die gemeinsamen Arbeiten rund um die Erstellung eines

Safety Assurance Case und eines Safety Report finden zum Ende des Berichtszeitraums fortwährend statt.

SOTIF Triggering Conditions für automatisierte Fahrzeuge

Die in der ISO 21448 beschriebenen Prozeduren zur Sicherstellung der SOTIF (*Safety Of The Intended Functionality*) sehen eine systematische Auseinandersetzung mit sogenannten *Triggering Conditions* vor. Triggering Conditions sind Bedingungen, die als Auslöser relevanter vom System ausgehender Gefährdungen angesehen werden.

Der Grund für die Existenz von SOTIF Triggering Conditions sind neben vorhersehbarem Fehlgebrauch bestimmter Funktionen die funktionalen Unzulänglichkeiten eines Systems, die unter bestimmten Umständen ohne konkreten Ausfall einer elektrischen oder elektronischen Komponente unerwünschtes Fahrzeugverhalten hervorrufen können. Wie für sämtliche potentielle Gefährdungen sollte natürlich auch die Eintretenswahrscheinlichkeit solcher SOTIF-relevanten Szenarien im Zuge einer Entwicklung auf ein vertretbares Maß reduziert oder vollständig beseitigt werden.

Eben für diese SOTIF-bezogene Gefährdungsmitigierung bedarf es der Kenntnis relevanter Triggering Conditions. Die SOTIF-Norm und ihre Anhänge führen diverse Methoden auf, die geeignet sein können, über die Betrachtung des Einsatzkontexts und funktionale Struktur eines Fahrzeugs auf Triggering Conditions zu schließen. Auf die Darlegung einer konkreten Prozedur wird im Normtext aber bisher verzichtet. Vor diesem Hintergrund unterstützte das Institut für Regelungstechnik Volkswagen im Zuge der Kooperation im Berichtszeitraum bei der Analyse der Eignung konkreter Methoden für die systematische Identifikation von SOTIF Triggering Conditions.

13 VVMethoden

von Till Menzel, Robert Graubohm, Felix Grün, Marcus Nolte, Nayel Fabian Salem

Automatisiertes Fahren ist seit einigen Jahren im Fokus der Öffentlichkeit präsent und ein etablierter Schwerpunkt der Forschung und Entwicklung. Bei der Freigabe und Einführung automatisierter Fahrzeuge (SAE Level 3+) 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.

An dieser Herausforderung setzte bereits das Projekt PEGASUS¹ an, das im Jahr 2019 erfolgreich abgeschlossen wurde. In PEGASUS wurde ein Ansatz zur szenarienbasierten Absicherung von SAE Level 3 Fahrfunktionen mit Fokus auf dem Anwendungsfall Autobahn entwickelt.

Das Projekt „Verifikations- und Validierungsmethoden automatisierter Fahrzeuge Level 4 und 5“ (VVMethoden) setzt auf den Ergebnissen aus PEGASUS auf und gehört unter anderem zusammen mit dem Schwesterprojekt SET Level (siehe Kapitel 9) zur „PEGASUS Projektfamilie“. Ziel der „PEGASUS Projektfamilie“ ist es, einen Gesamtansatz zur Verifikation und Validierung automatisierter Systeme zu entwickeln und zu industrialisieren. Während der Fokus von SET Level dabei auf der Entwicklung einer Simulationsplattform liegt, legt VVMethoden einen

¹<https://www.pegasusprojekt.de/de/>, abgerufen am 27.09.2022.

zusätzlichen Schwerpunkt auf die Konzeption der Sicherheitsargumentation.

Das VVMethoden-Konsortium entwickelt eine Systematik sowie Methoden für den praxistauglichen Sicherheitsnachweis für automatisierte Fahrzeuge (SAE Level 4 und 5) im urbanen Umfeld. Hierbei werden 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. VVMethoden wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) mit 26,7 Millionen Euro über eine Laufzeit von vier Jahren gefördert. Die 22 Partner aus Industrie (OEMs und Zulieferer), Wissenschaft und Prüforganisationen nahmen am 01. Juli 2019 ihre Arbeit auf.

In VVMethoden haben Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik Aufgaben mit unterschiedlichen Schwerpunkten übernommen. Zum einen bringen die Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik Erfahrungen aus den Projekten aFAS² und UNICARagil³ ein und erarbeiten eine strukturierte Beschreibung des betrachteten Entwicklungsgegenstandes (engl. *Item Definition*). 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. Zum anderen liegt ein Schwerpunkt des Instituts für Regelungstechnik auf der Erstellung und Parametrierung von Szenarien im Rahmen eines integrierten Entwicklungs- und Testprozesses.

²<https://ieeexplore.ieee.org/document/7313207>, abgerufen am 27.09.2022.

³<https://www.unicaragil.de/de/>, abgerufen am 27.09.2022.

Ein Highlight stellte im aktuellen Berichtszeitraum das Halbzeitevent dar. Die virtuelle Veranstaltung bot rund 760 Zuschauer*innen über zwei Tage (15. und 16. März 2022) tiefe Einblicke in die Projektarbeiten. Am ersten Tag lag der Fokus auf der Kommunikation der Projektergebnisse. Hierzu gaben Projektmitarbeiter*innen in mehreren Vorträgen, die live aus dem BMW Forschungs- und Innovationszentrum in München übertragen wurden, zunächst einen Überblick über den Rahmen des Projektes, die Sicherheitsargumentation sowie den methodischen Ansatz. Anschließend hatten die Teilnehmer*innen die Möglichkeit, in drei parallelen Vortrags-Sessions tiefer in die Themen „Anforderungen an die Testmethoden“, „Verifikations- und Validierungsmethoden“ und „Datenaufnahme und -verarbeitung“ einzutauchen. Zusätzliche Informationen boten die 44 Poster, die den Besucher*innen während der gesamten Veranstaltung in separaten virtuellen Räumen zur Verfügung standen und zu denen die Projektmitglieder offene Fragen beantworteten.

Am zweiten Tag lag der Fokus auf dem internationalen Austausch. Hierzu wurden in Vorträgen internationaler Expert*innen aus Nordamerika, Asien und Europa zunächst Einblicke in verwandte Projekte gegeben. Anschließend wurden wichtige Schnittmengen der internationalen Projekte in einer Panel-Diskussion näher beleuchtet und unter anderem offene Herausforderungen für Standardisierungen betrachtet.

Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik waren eng in die Planung, Vorbereitung und Ausrichtung des Halbzeitevents eingebunden. Neben der Moderation einer Plenumsession durch Marcus Nolte waren Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik Verfasser unterschiedlicher Foliensätze und Poster. Kernthemen waren dabei die Sicherheitsargumentation, Herausforderungen bei der Definition des Entwicklungsgegenstandes, eine manöverbasierte Verhaltensspezifikation und die



Abbildung 13.1: Eindrücke vom Halbzeitevent ©VVM Konsortium

Generierung von Szenarien. Alle Vorträge und Poster des Halbzeitevents sind in der entsprechenden Rubrik auf der VVMMethoden-Webseite⁴ zu finden.

Nach zwei Jahren fast ausschließlich virtueller Projekttreffen stellten die ersten physischen Treffen weitere Highlights des aktuellen Berichtszeitraumes dar. Auf einem Workshop in Aachen wurden die Arbeiten hinsichtlich der Generierung von Szenarien intensiviert. Ausgehend von dem auf dem Halbzeitevent vorgestellten Prozess zur Szenariengenerierung, der maßgeblich aus der Perspektive der Verifikation und Validierung gestaltet wurde, wurden weitere Anknüpfungspunkte im Projekt identifiziert. Auf diese Weise konnte ein erster Schritt in Richtung einer durchgängigen, teilprojektübergreifenden Gesamtmethode vollzogen werden. Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik waren an der Planung und Durchführung des Workshops beteiligt.

Darüber hinaus fanden drei Workshops in Braunschweig statt, die Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik vorbereiteten. In einem Workshop zum Thema Risiko und Verhaltensspezifikation wurde ein allgemeines Vorgehen zum Risikomanagement detailliert und beispiel-

⁴www.vvm-projekt.de/midterm-docs, abgerufen am 28.09.2022.

haft auf die Spezifikation von Sollverhalten angewendet. Inhaltlich anknüpfend diskutierten die Teilnehmer in einem weiteren Workshop, wie auf Basis einer solchen Spezifikation des Sollverhaltens eine formale Herleitung der notwendigen Fähigkeiten umgesetzt werden kann. Im Rahmen dieser Themengebiete sind im Berichtszeitraum zwei Veröffentlichungen⁵ unter Beteiligung von Mitarbeitern des Instituts für Regelungstechnik erschienen. Der Fokus des dritten Workshops lag auf der Sicherheitsargumentation. Hierbei wendeten Projektmitglieder das VVMethoden-Rahmenwerk zur Absicherung beispielhaft in einer Sicherheitsargumentation an und identifizierten wiederkehrende Argumentationsmuster.

⁵<https://arxiv.org/abs/2209.07204>, abgerufen am 28.09.2022;
<https://arxiv.org/abs/2207.09996>, abgerufen am 28.09.2022.

14 Wertebasierte Verhaltensentscheidung mit der Daimler und Benz Stiftung

von Nayel Fabian Salem, Marcus Nolte und Markus Maurer

Die Beschäftigung mit der wertorientierten Verhaltensentscheidung hat im Projekt „Value-Based Decision Making“ fundamentale Herausforderungen bei der Entwicklung autonomer Straßenfahrzeuge aufgezeigt. Von Anfang an stand die Tatsache im Fokus, dass ein menschlicher Fahrer Abwägungen zwischen Werten wie „Mobilität“ und „Sicherheit“ vornimmt. Mit der Sicht auf ein Laufzeitsystem haben wir uns bisher einerseits mit Algorithmen beschäftigt, die solche Gewichtungen ermöglichen, um dann andererseits festzustellen, dass der Prozess zur Entwicklung dieser Algorithmen mit der Berücksichtigung von Werten und ihrer Gewichtung massiv von Techniker*innen beeinflusst wird, die diese technischen Systeme entwerfen und entwickeln. Um eine Akzeptanz dieser vorgenommenen Auslegung zu unterstützen, sollten partizipative Formate für den öffentlichen Diskurs von Werten und genutzt werden.

In der Diskussion mit unseren Partner*innen von der University of Ottawa, die die ethische Perspektive im Projekt vertreten, wurde festgestellt, dass allein der Wert der „Sicherheit“ eine eigene Diskussion verdient.

„Sicherheit“ und „Risiko“ sind zwei Begriffe, die in der Entwicklung und Freigabe konventioneller Straßenfahrzeuge eine übergeordnete Rolle einnehmen. So fordert beispielsweise schon die europäische Wirtschaftskommission UNECE in ihrer Verordnung Nr. 157, dass von Systemen, die eine automatisierte Fahrfunktion realisieren, kein unzumutbares Risiko (engl. unreasonable risk) ausgehen darf. Doch welche Bedeutung trägt Zumutbarkeit in diesem Zusammenhang? Wann wird ein System vom Gesetzgeber, der Gesellschaft und den Herstellern als „sicher“ klassifiziert? Und warum wird diese Frage für Systeme wie automatisierte Fahrzeuge neu gestellt?

Diese grundlegenden Fragen haben Forscher des Instituts für Regelungstechnik (Nayel Salem, Marcus Nolte, Robert Graubohm und Prof. Markus Maurer) in Kooperation mit Partner*innen der Continental AG (Dr. Philipp Junietz) sowie der University of Ottawa (Sophie Le Page und Prof. Jason Millar) im vergangenen Berichtszeitraum untersucht. Die gemeinsame Arbeit fand im Rahmen der Erstellung des Buchkapitels „Sicherheit und Risiko – ein Betrag zur Bedeutung grundlegender Begriffe“ für das „Handbuch assistiertes und automatisiertes Fahren“ statt.

Unsere zentrale Motivation für die Arbeit an den Begriffen Sicherheit und Risiko war es, Unterschiede in der Anwendung und der zugrundeliegenden Bedeutung zwischen betroffenen Parteien (engl. Stakeholder) zu identifizieren und strukturieren. Dabei konnten wir zunächst feststellen, dass der Sicherheitsbegriff sowohl zwischen den von Ingenieuren verwendeten Rahmenwerken als auch zwischen Gruppen wie Aufsichtsbehörden und Gesetzgebern, Interessenverbänden oder den öffentlichen Medien unterschiedlich verwendet wird.

Etablierte Standards zur Sicherheitstechnik nutzen eine scheinbar gefestigte Definition des Risikobegriffs als ein Produkt des Ausmaßes

sowie der Auftretenswahrscheinlichkeit eines Schadens. Sicherheit wird hier als Abwesenheit unzumutbarer Risiken definiert, deren Maß sich wiederum aus Risikoakzeptanzkriterien ableiten lässt. Das bedeutet, dass für die Entwicklung und Freigabe der Systeme von z.B. Automobilherstellern stets von einem zumutbaren Restrisiko ausgegangen wird. Auch die europäische Verordnung für automatisierte Fahrsysteme (ECE/TRANS/WP.29/2020/81) legt dieses Verständnis zum Zusammenhang zwischen Sicherheit und Risiko zugrunde. Die Kommunikation von Unternehmen schürt hingegen teilweise eine Erwartungshaltung in der Öffentlichkeit, die eine absolute Sicherheit (ohne jegliches Risiko) dieser Systeme im Verkehr voraussetzt. Das entsprechende Narrativ findet sich unter anderem in Absichtserklärungen wie der „Vision Zero“ wieder, welche ein Ausbleiben tödlicher oder schwerer Verletzungen von Menschen im öffentlichen Straßenverkehr propagiert.

Eine potentielle Konsequenz dieser Beobachtung ist, dass Risiken für die Bewertung der Sicherheit automatisierter Fahrsysteme im Entwicklungs- und Freigabeprozess offengelegt und nachvollziehbar adressiert werden. Innerhalb eines Unternehmens (z.B. eines Automobilherstellers) könnte ein solches Vorgehen Entscheidungsträgern ermöglichen, das Haftungsrisiko, welches sich für das Unternehmen ergibt, besser abzuschätzen. Für die Freigabe durch staatliche Institutionen (wie das Kraftfahrtbundesamt in Deutschland), aber auch für die Gesetzgebung bezüglich derartiger Systeme, ist dagegen die Evaluation hinsichtlich expliziter Risikoakzeptanzkriterien möglich. Im öffentlichen Diskurs bleibt hingegen selbst bei der expliziten Kenntnis über die von einem System ausgehenden Risiken die Herausforderung bestehen, Anliegen verschiedener Stakeholder zu adressieren.

Als weitere praktische Konsequenz der teilweise abweichenden Auffassung in der Öffentlichkeit und der wissenschaftlichen Gemeinschaft

sollten „Risiko“ und „Sicherheit“ jeweils parallel diskutiert werden. Die einseitige Konzentration auf die „Sicherheit“ in der Fachgemeinschaft birgt die Gefahr, dass in der Öffentlichkeit der falsche Eindruck einer „Vision Zero“ verfestigt wird. Tödliche Unfälle nach Markteinführung der Systeme führen dann zu berechtigter Enttäuschung und gegebenenfalls auch zu einer nachhaltigen Schädigung der Akzeptanz automatisierter Fahrzeuge.

Da dieser Jahresbericht nicht das Format für eine weitere detaillierte Auseinandersetzung mit der betrachteten Thematik sein soll, freuen wir uns über interessierte Leser*innen, welche eine weitergehende Diskussion im Rahmen der frei zugänglichen englischen Fassung des Buchkapitels verfolgen.

15 Workshops „Ensuring and Validating Safety for Automated Vehicles“

von Marcus Nolte

Der sichere Betrieb von automatisierten Straßenfahrzeugen im öffentlichen Straßenverkehr kann als zentrales Forschungs- und Entwicklungsziel der ITS-Community betrachtet werden. Zwingende Voraussetzung für den Betrieb im öffentlichen Straßenverkehr ist, dass ein Nachweis der Sicherheit der automatisierten Fahrfunktionen gelingt. Zwar gewinnt das Thema Sicherheit in der ITS-Community zunehmend an Bedeutung, ist in unserer Wahrnehmung jedoch immer noch unterrepräsentiert in den Veröffentlichungen, z. B. auf einschlägigen Konferenzen wie dem Intelligent Vehicles Symposium (IV) oder der Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC). Damit einher geht, dass die Forscherinnen und Forscher enger vernetzt sein könnten. Vor diesem Hintergrund haben wir die Workshop-Serie „Ensuring and Validating Safety for Automated Vehicles“ mit dem Ziel initiiert, Forscherinnen und Forscher, die auf dem Gebiet der Sicherheit automatisierter Fahrzeuge arbeiten, stärker zu vernetzen. Gleichzeitig können Forschungsergebnisse einem fachkundigen Publikum vorgetragen und mit diesem intensiv diskutiert werden.

Nach zwei virtuellen Workshops im Rahmen der IV 2020 (Las Vegas, NV, USA) und der IV 2021 (Nagoya, Japan) konnten wir uns in diesem Berichtszeitraum auf der IV 2022 in Aachen (endlich) wieder persönlich treffen. Allerdings haben wir den Workshop zusätzlich aufgrund der Corona-bedingten Einschränkungen für unsere asiatischen Kollegin-

nen und Kollegen in einem hybriden Format umgesetzt. Bewährt hatte sich zudem in den letzten Jahren die Mischung verschiedener Formate für die Gestaltung des Workshops: Neben der Präsentation und Diskussion von eingereichten Beiträgen konnten wir das Programm wieder durch eingeladene Vorträge und gemeinsame Panel-Diskussionen ergänzen.

Die Resonanz auf den Workshop ist nach wie vor hoch. Wir konnten vor Ort und online insgesamt etwa 60 Teilnehmer und Teilnehmerinnen begrüßen. Auch die Zahl der Partner aus Wissenschaft und Industrie, die die Organisation des Workshops unterstützen, ist nach wie vor erfreulich groß. Wir wollen uns daher herzlich bei unseren Co-Organisatoren in diesem Berichtszeitraum bedanken:

- Ignacio Alvarez (Intel, USA),
- Nacer E. Chelbi (Université de Sherbrooke, Kanada),
- Krzysztof Czarnecki (University of Waterloo, Kanada),
- Maria Soledad Elli (Intel, USA),
- J. Christian Gerdes (Stanford University, USA),
- Denis Gingras (Université de Sherbrooke, Kanada),
- Jia Hu (Tongji Universität, China),
- Mykel Kochenderfer (Stanford University, USA),
- Arnaud de La Fortelle (MINES ParisTech, Frankreich),
- Maximilian Naumann (Karlsruher Institut für Technologie),
- Fabian Oboril (Intel),
- Christoph Stiller (Karlsruher Institut für Technologie),
- Martin Törngren (KTH, Schweden),

- Hong Wang (Tsinghua University, China) und
- Jack Weast (Intel, USA) und
- Markus Maurer.

Die Zahl der eingereichten Papiere ist im Vergleich zu den vorherigen Jahren zurückgegangen. Von den drei eingereichten Beiträgen wurden von den Reviewern, denen an dieser Stelle ebenfalls noch einmal herzlich gedankt sei, zwei zur Annahme empfohlen.

Die im Vergleich zur IV 2021 geringere Anzahl an angenommenen Workshop-Papieren ermöglichte es, den Workshop durch zahlreiche Gastbeiträge aus verschiedenen Domänen mit Bezug zur Sicherheit automatisierter Fahrzeuge, noch abwechslungsreicher zu gestalten, siehe Tabelle 15.1. Spannende Diskussionen ergaben sich nicht nur zu den technischeren Vorträgen am Vormittag, sondern auch zu den Gastbeiträgen zu Herausforderungen in der Absicherung von Machine-Learning-Algorithmen, ethischen Fragen des automatisierten Fahrens und dem Spannungsfeld der Akzeptanz automatisierter Fahrzeuge zwischen gesellschaftlichen Erwartungen und technischer Realität.

Aufgrund der positiven Rückmeldungen, haben wir den Vorschlag für den 6. Workshop „Ensuring and Validating Safety for Automated Vehicles“ bereits zur IV 2023 in Anchorage, AK, USA eingereicht. Wir freuen uns auf eine Fortführung der wichtigen Diskussionen.

Titel	Vortragende, Autorinnen & Autoren
Opening Remarks	<i>Marcus Nolte</i>
Early Assessment of System-Level Safety Mechanisms through Co-Simulation-based Fault Injection ¹	<i>Tiziano Munaro, Irina Muntean</i>
Application of Evolutionary Algorithms and Criticality Metrics for the Verification and Validation of Automated Driving Systems at Urban Intersections ²	<i>Bernd Gassmann, Shreya Dey, Ignacio Alvarez, Fabian Oboril, Kay-Ulrich Scholl</i>
Combining Virtual Reality and Steer-By-Wire Systems to Validate Driver Assistance Concepts ¹	<i>Elliot Weiss, J. Christian Gerdes</i>
Panel Discussion	
On the UNICARagil Release Procedure–Measures for Internal and External Risk Communication ²	<i>Robert Graubohm</i>
Assuring Machine-Learning-Based Perception Functions as Part of an Automated Driving System ²	<i>Krzysztof Czarnecki</i>
The Troubles with ‚Safety‘ & ‚Acceptance‘: Observations from the Sideline ²	<i>Torsten Fleischer</i>
Turning an Interdisciplinary Lens on ADAS Safety ²	<i>Jason Millar</i>
Panel Discussion	

¹ Im regulären Reviewprozess angenommenes Workshop-Papier ² Gastbeitrag

Tabelle 15.1: 5. Workshop „Ensuring and Validating Safety for Automated Vehicles“, Intelligent Vehicles Symposium 2022, Aachen.

16 Abgeschlossene Promotionen

16.1 Dissertation Gerrit Bagschik: Systematischer Einsatz von Szenarien für die Absicherung automatisierter Fahrzeuge am Beispiel deutscher Autobahnen

von Gerrit Bagschik

Die Einführung automatisierter Fahrzeuge verspricht eine Entlastung des Menschen und eine Verbesserung der Sicherheit im Straßenverkehr. Bei vollautomatisierten Fahrzeugen nimmt der Mensch keine überwachende Rolle ein, sodass die Sicherheit der Fahrzeuge durch die Fahrfunktion gewährleistet sein muss. Die Absicherung ist daher eine wichtige Herausforderung für die Markteinführung automatisierter Fahrzeuge. Motiviert aus dieser Problemstellung sind die szenarienbasierte Entwicklung und der szenarienbasierte Testprozess Fokus aktueller Forschungsaktivitäten. Ausgehend von den Projekten „Automatisch fahrerlos fahrendes Absicherungsfahrzeug für Arbeitsstellen auf Bundesautobahnen“ (aFAS) und „Projekt zur Etablierung von generell akzeptierten Gütekriterien, Werkzeugen und Methoden sowie Szenarien und Situationen zur Freigabe hochautomatisierter Fahrfunktionen“ (PEGASUS) untersucht die Dissertation den Einsatz von Szenarien für die Absicherung automatisierter Fahrzeuge.

Für die Einordnung der Beiträge der Dissertation werden im ersten Teil der Begriff der Absicherung definiert und der Umfang einer Absicherung automatisierter Fahrzeuge analysiert. Der Stand der Technik

aus Normen, Forschungsprojekten und industriellen Aktivitäten beschreibt den Einsatz von Szenarien als vielversprechenden Ansatz für die Entwicklung und den Test von automatisierten Fahrzeugen. Zielsetzungen der Dissertation sind die Entwicklung und Umsetzung eines Konzepts für den systematischen Einsatz von Szenarien im gesamten Absicherungsprozess.

Im zweiten Teil wird die Verwendung von Szenarien als Paradigma in der Entwicklung technischer Systeme analysiert. Es folgen Definitionen der Begriffe Szene, Szenario und Situation sowie drei Beschreibungsformen für Szenarien. Basierend darauf wird eine Analyse des Stands der Technik zum Einsatz von Szenarien im Entwicklungsprozess automatisierter Fahrzeuge durchgeführt. Die folgenden Beiträge der Dissertation werden im Konzept der szenarienbasierten Absicherung (vgl. Abbildung 16.1) beschrieben.

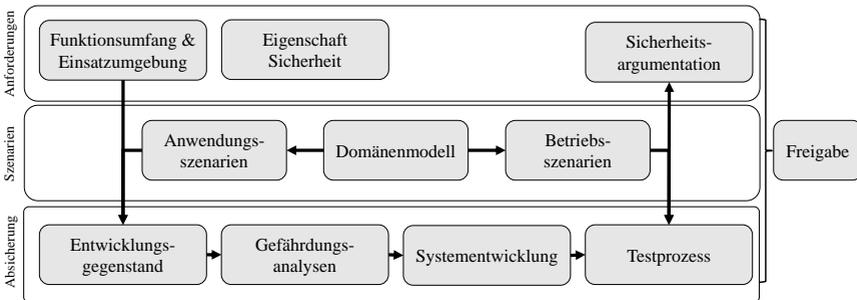


Abbildung 16.1: Szenarienbasierte Absicherung

Die szenarienbasierte Absicherung sieht die Nutzung von Szenarien als Bindeglied zwischen den Anforderungen an ein automatisiertes Fahrzeug und dem technischen Entwicklungs- und Absicherungsprozess vor. Dazu wird ein Domänenmodell als Grundlage zur einheitlichen Beschreibung und Generierung von Szenarien für die jeweilige Anwen-

dungsdomäne genutzt. In den folgenden Teilen wird die technische Umsetzung eines Domänenmodells basierend auf den „Richtlinien für die Anlage von Autobahnen“ (RAA) und ein Ansatz zur automatisierten Szenariengenerierung vorgestellt.

Das Domänenmodell soll für die einheitliche Definition von Szenarien sprachlich formuliert und für die automatische Generierung von Szenarien formal geordnet sein. Diese Anforderungen lassen sich durch die Modellierung in Ontologien erfüllen. Ontologien bezeichnen eine explizite Spezifikation von formal repräsentiertem Wissen basierend auf einer Konzeptualisierung, die Objekte, unterlagerte Konzepte, andere Dinge, die im Interessengebiet existieren, beschreibt. Eine Konzeptualisierung ist eine abstrakte und vereinfachte Sicht auf die Welt, die für einen bestimmten Zweck repräsentiert werden soll. So werden beispielsweise Regelquerschnitte deutscher Autobahnen durch Objekte und deren Beziehungen in der Ontologie beschrieben (vgl. Abbildung 16.2).

Regelquerschnitt 36

RQ 36 ist Subklasse von:

- Entwurfsklasse 1
- besteht aus | **exakt** | 1 | Bankette
- besteht aus | **exakt** | 1 | Böschung
- besteht aus | **exakt** | 1 | Linienführung
- besteht aus | **exakt** | 1 | Mittelstreifen
- besteht aus | **exakt** | 1 | Seitenstreifen
- besteht aus | **exakt** | 2 | Randstreifen
- besteht aus | **exakt** | 3 | Fahrstreifen
- hat optional | **exakt** | 1 | Ausstattung Stadt
ODER Ausstattung Wildschutz

Abbildung 16.2: Repräsentation eines Regelquerschnitts in einer Ontologie

Aus dem analysierten Stand der Technik zur Verwendung von Szenarien im Testprozess geht hervor, dass ein semantisch variiertes Szenarien-

katalog eine Bedingung für einen simulativen Testprozess darstellt. Da die Generierung von Szenarien für die Absicherung aufgrund des hohen Aufwands nicht manuell durchgeführt werden kann, wird basierend auf dem erstellten Domänenmodell eine automatische und durch die Verwendung der Ontologie wissensbasierte Szenariengenerierung vorgestellt. Die Szenariengenerierung erzeugt im ersten Schritt mögliche Ausführungen der Autobahn anhand von Regelquerschnitten und Ausstattungsvarianten wie Geschwindigkeitsbegrenzungen, Lärmschutzstrukturen, Tunneln oder Brücken. Danach werden verschiedene Konfigurationen von Verkehrsteilnehmern in einem gitterbasierten Layout erzeugt und durch die logische Inferenzkomponente der Ontologie die möglichen Manöver der Verkehrsteilnehmer geschlussfolgert. Im abschließenden Schritt eine diskretisierte zeitliche Entwicklung der Startszene ermittelt. Das Ergebnis eines Szenarios ist in Abbildung 16.3 gezeigt. Die Szenarien liegen als bildliche Darstellung und textueller Beschreibung vor.

Abschließend wird die Korrektheit, Konsistenz und Vollständigkeit des generierten Szenarienkatalogs gegenüber dem modellierten Wissen der generierten Szenarien (120316) verifiziert. Für die Evaluation der Anwendbarkeit in der Absicherung wird ein Ansatz zur Zuordnung der abstrahierten Szenarien aus der Konzeptphase zu Szenarien in einem automatisch generierten Szenarienkatalog vorgestellt. Dieses Vorgehen ermöglicht die szenarienbasierte Entwicklung und den szenarienbasierten Testprozess durch die Verwendung eines Domänenmodells und der nachvollziehbaren Verknüpfung beider Prozessphasen.

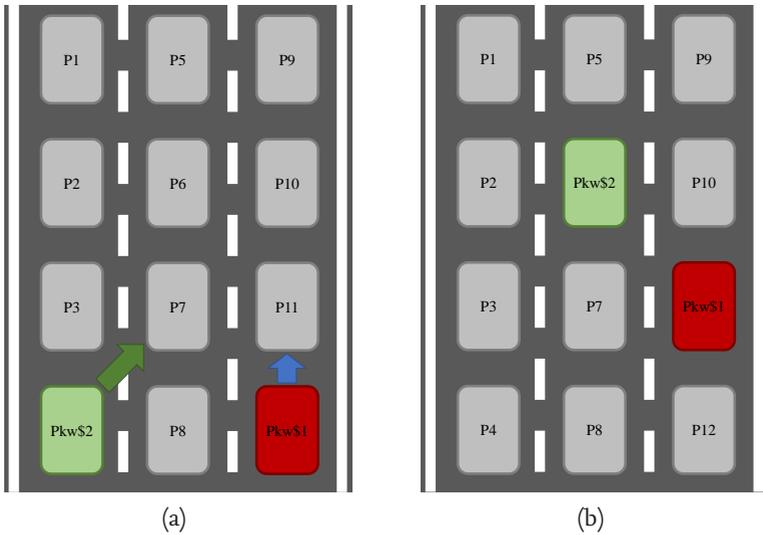


Abbildung 16.3: Startszene (a) eines Szenarios mit zwei Verkehrsteilnehmern und der diskreten zeitlichen Entwicklung zur Endszene (b)

Teil III

**Publikationen und
Medienberichte**

17 Publikationen

BAGSCHIK, G.: *Systematischer Einsatz von Szenarien für die Absicherung automatisierter Fahrzeuge am Beispiel deutscher Autobahnen*. Braunschweig, Technische Universität Braunschweig, Dissertation, Mai 2022. – doi: 10.24355/dbbs.084-202205030932-0

BECK, H. N.; SALEM, N. F.: *Contributions to a Traceable Behavior Specification for Automated Driving Systems Using Formal Methods*. Vortrag. – VVM Mid-term presentation

BECK, H. N.; SALEM, N. F.; HABER, V.; RAUSCHENBACH, M.; REICH, J.: *Phenomenon-Signal Model: Formalisation, Graph and Application*. – arXiv:2207.09996

GRAUBOHM, R.: *On the UNICARagil Release Procedure – Measures for Internal and External Risk Communication*. Vortrag. – 33rd IEEE Intelligent Vehicles Symposium, 5th Workshop on Ensuring and Validating Safety for Automated Vehicles

GRAUBOHM, R.; MENZEL, T.: *Challenges in Generating an Item Definition for an Automated Driving System (ADS)*. Poster. – VVM Mid-term Presentation

JATZKOWSKI, I.; STOLTE, T.; GRAUBOHM, R.; MAURER, M.; KAMPMANN, A.; ALRIFAE, B.; KOWALEWSKI, S.; BUCHHOLZ, M.; DIETMAYER, K.: *Integration of a Vehicle Operating Mode Management into UNICARagil's Automotive Service-oriented Software Architecture*. In: *30th Aachen Colloquium Sustainable Mobility*, 2021. – doi: 10.24355/dbbs.084-202110271613-0

NOLTE, M.: *Learning Driven Product Lifecycle for Automated Driving Systems*. Vortrag. – ITU FG AI4AD Workshop

REICH, J.; NOLTE, M.: *VVM Assurance Argumentation - How to Systematically Organize the Approval Concerns for Safe AD Systems in a Structured Framework*. Vortrag. – VVM Mid-term Presentation

SALEM, N. F.; HABER, V.: *Contributions of VVM to the safety assurance of ADS – insights on specifying behavior and capabilities*. Vortrag. – SafetyUpdate - SafetyWeek

SALEM, N. F.; HABER, V.; RAUSCHENBACH, M.; NOLTE, M.; REICH, J.; STOLTE, T.; GRAUBOHM, R.; MAURER, M.: *Ein Beitrag zur durchgängigen, formalen Verhaltensspezifikation automatisierter Straßenfahrzeuge*. – arXiv:2209.07204

SALEM, N. F.; LALITSCH-SCHNEIDER, C.; BUTZ, M.: *Maneuver-based hazard identification – Contributions to a systematic identification of hazards for automated driving systems*. Vortrag. – VVM Mid-term Presentation

SCHRÄDER, T.; STOLTE, T.; GRAUBOHM, R.; MAURER, M.: *Development of an Autonomous Family Vehicle using a Scenario-Based Design Approach*. In: *30th Aachen Colloquium Sustainable Mobility*, 2021. – doi: 10.24355/dbbs.084-202110271543-0

SCHÜTT, B.; STEIMLE, M.; KRAMER, B.; BEHNECKE, D.; SAX, E.: *A taxonomy for quality in simulation-based development and testing of automated driving systems*. In: *IEEE Access* 10 (2022), S. 18631–18644. – doi: 10.1109/ACCESS.2022.3149542

STANGE, V.; GORALZIK, A.; ERNST, S.; STEIMLE, M.; MAURER, M.; VOLLRATH, M.: Please stop now, automated vehicle!—Passengers aim to avoid risk experience in interactions with a crossing vulnerable road user at an urban junction. In: *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 87 (2022), S. 164–188. – doi: 10.1016/j.trf.2022.04.001

STEIMLE, M.; MENZEL, T.; MAURER, M.: Toward a consistent taxonomy for scenario-based development and test approaches for automated vehicles: A proposal for a structuring framework, a basic vocabulary, and its application. In: *IEEE Access* 9 (2021), S. 147828–147854. – doi: 10.1109/ACCESS.2021.3123504

STEIMLE, M.; WEBER, N.; MAURER, M.: Toward generating sufficiently valid test case results: A method for systematically assigning test cases to test bench configurations in a scenario-based test approach for automated vehicles. In: *IEEE Access* 10 (2022), S. 6260–6285. – doi: 10.1109/ACCESS.2022.3141198

STOLTE, T.: *Zur fehlertoleranten Bewegungsregelung automatisierter Fahrzeuge*. Vortrag. – Kolloquium des Institut für Regelungstechnik, TU Braunschweig

STOLTE, T.; ACKERMANN, S.; GRAUBOHM, R.; JATZKOWSKI, I.; KLAMANN, B.; WINNER, H.; MAURER, M.: Taxonomy to Unify Fault Tolerance Regimes for Automotive Systems: Defining Fail-Operational, Fail-Degraded, and Fail-Safe. In: *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles* 7 (2022), Nr. 2, S. 251–262. – doi: 10.1109/TIV.2021.3129933

18 Die Arbeitsgruppe in den Medien

Unser Institut konnte auch im akademischen Jahr 2021/2022 wieder ein großes Medienecho erzielen. Im Folgenden findet sich eine Auswahl von Beiträgen und Artikeln in diversen Medienformaten.

Medium	Datum	Artikel
Automobil Industrie	01.10.2021	Seid transparent und aufrichtig
Braunschweiger Zeitung	30.03.2022	MAN will fahrerlosen Lkw auf die Straße bringen

Medium	Datum	Artikel
Handelsblatt.com	29.03.2022	MAN will autonome Lkws bis Mitte des Jahrzehnts auf die Straße bringen
krone.at	29.03.2022	MAN wil Robo-Lastwagen auf die Autobahn bringen



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

ISBN: 978-3-9823341-1-0