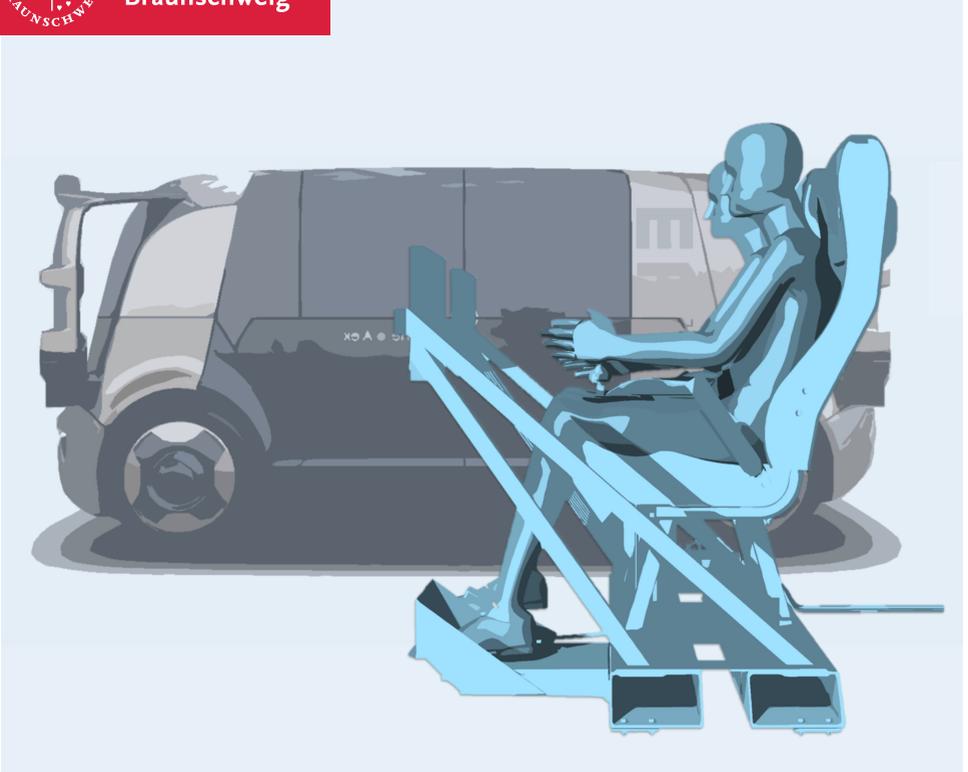
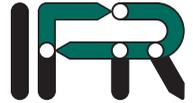




Technische  
Universität  
Braunschweig

Institut für  
Regelungstechnik



# Elektronische Fahrzeugsysteme 2021

Jahresbericht: Akademisches Jahr 2020/2021

Markus Maurer

Inga Jatzkowski (Hrsg.)



## **Titelbild**

Erprobungsfahrerarbeitsplatz der *autoELF*  
aus dem Projekt UNICAR*agil*

Copyright: © UNICAR*agil*

## **Impressum**

Copyright: © 2021  
Technische Universität Braunschweig  
Institut für Regelungstechnik  
Prof. Dr.-Ing. Markus Maurer  
Inga Jatzkowski (Hrsg.)

ISBN: 978-3-9823341-0-3

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Vorwort</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Die AG Elektronische Fahrzeugsysteme</b>	<b>11</b>
2.1	Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter . . . . .	11
2.2	Neue Kolleginnen und Kollegen . . . . .	13
2.3	Abgänge . . . . .	14
<b>1</b>	<b>Lehre</b>	<b>17</b>
<b>3</b>	<b>Lehre</b>	<b>19</b>
3.1	Übersicht . . . . .	19
3.2	Neues aus der Lehre . . . . .	21
3.3	Studentische Arbeiten . . . . .	47
3.4	Prüfungen am Institut . . . . .	50

<b>II</b>	<b>Berichte aus der Forschung</b>	<b>51</b>
4	Wertebasierte Verhaltensentscheidung	53
5	Automatisiertes Fahren im Mischverkehr (AFiM)	59
6	Vernetzung virtualisierter Verkehrsinfrastrukturen und automatisierter Fahrfunktionen für nachhaltige Mobilitätslösungen (ViVre)	65
7	UNICAR <i>agil</i>	69
8	SET Level	77
9	VVMethoden	83
10	Ensuring and Validating Safety for Automated Vehicles	89
11	Forschungspartnerschaft mit CRAiEDL (uOttawa)	95
<b>III</b>	<b>Publikationen und Medienberichte</b>	<b>97</b>
12	Publikationen	99
13	Die Arbeitsgruppe in den Medien	103
13.1	Radio und Fernsehen . . . . .	103
13.2	Printmedien . . . . .	104
13.3	Veröffentlichungen auf Internetseiten . . . . .	105
13.4	Tagesspiegel Background Porträt vom 27.05.2021	106

# 1 Vorwort

*von Markus Maurer*

COVID-19 hat die Welt in eine schwerwiegende Krise versetzt, die für jeden Menschen spürbar war und noch ist. Zu Beginn dieses Jahresberichts soll daher das Gedenken an die Opfer von COVID-19 stehen, an die Verstorbenen, an alle, die physisch oder psychisch an den Folgen leiden, an die, die große wirtschaftliche Verluste erlitten haben.

Die Seuche verändert unsere Welt, im Großen und im direkten Alltagsumfeld. In diesem Jahrbuch versuchen wir in Wort und Bild zu fassen, wie sich unsere Arbeitsgruppe unter der Pandemie im vergangenen akademischen Jahr entwickelt hat.

Die pandemische Lage hat in der Automobilindustrie viele strukturelle Umbrüche zunächst überdeckt. Es herrscht die Erwartung vor, dass der anstehende strukturelle Wandel durch die Krise beschleunigt wird. Expert\*innen gehen davon aus, dass die Begrenzung der Erderwärmung neue Antriebskonzepte, neue Mobilitätskonzepte, ja vielleicht einen grundlegend anderen Umgang mit Energie in der Mobilität und darüber hinaus erfordert.

Die Automatisierung von Fahrzeugen bietet die Möglichkeit, Individualverkehr grundlegend anders zu organisieren. Die Euphorie der vergangenen Jahre ist weitgehend realistischen Einschätzungen zur Machbarkeit des autonomen Fahrens gewichen. Dazu gehört auch das inhärente Risiko autonomer Straßenfahrzeuge, das wir seit einigen Jahren zentral in unserer Forschung in den Blick genommen haben. Entscheidend wird sein, dass autonome Straßenfahrzeuge als sicher wahrgenommen werden.

Bereits an dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass zumindest die deutsche Öffentlichkeit heute noch eine andere Vorstellung davon hat, was sicher ist (Kapitel 5). Im Sprachgebrauch wird im Allgemeinen darunter verstanden, dass überhaupt kein Risiko von einer Sache ausgeht, wenn sie sicher ist. Im Gegensatz dazu ist in der wissenschaftlichen und fachlichen Gemeinschaft Sicherheit definiert als die Abwesenheit eines „unverhältnismäßigen“ Risikos (ISO 26262: „The absence of unreasonable risk“). Offensichtlich passen Entwicklungsziel und öffentliche Erwartung noch nicht zusammen, wenn so zentrale Begriffe wie die Sicherheit nicht von allen Stakeholdern gleich interpretiert werden. Es bleibt also noch viel zu tun, bevor autonome Fahrzeuge großflächig in den öffentlichen Straßenverkehr eingeführt werden können.

Wir freuen uns, dass bei der Entwicklung sicherer autonomer Straßenfahrzeuge Ansätze, die in dieser Gruppe entwickelt wurden, weltweit zunehmend rezipiert werden. Nach unserer Auffassung können gerade die in den letzten Jahren konzipierten Ansätze zur werteorientierten Entwicklung in den Projekten Value-Based Decision Making (Kapitel 4) und AFiM (Kapitel 5) und unsere Beiträge zum Systems Engineering vor allem in den Projekten Set Level (Kapitel 8), VVMMethoden (Kapitel 9), UNICARagil (Kapitel 7) und mit Volkswagen (??) wichtige Bausteine auf dem Weg zur Sicherheitsargumentation autonomer Straßenfahrzeuge liefern.

Unsere aktuelle Forschung treibt die Lehre, speziell die Vorlesungen Fahrzeugsystemtechnik, Automatisierte Straßenfahrzeuge: von der Assistenz zur Autonomie, die (Ober-)Seminare, die studentischen Vorträge und Abschlussarbeiten. Auch wenn wir bereits im Frühjahr 2020 alle Vorlesungen und Seminare schlagartig auf virtuelle Formate umgestellt haben, so fühlt es sich immer noch fremd an, wenn wir als Lehrende unsere Rezipient\*innen nicht sehen können und Reaktionen nur über

den Chat oder bestenfalls über aktivierte Mikrophone erleben. Der erste Durchlauf der Vorlesung Grundlagen der Elektrotechnik nach der neuen Prüfungsordnung war sehr ermutigend. Die guten Diskussionen im Chat während der Vorlesung haben erfreulichen Prüfungsergebnissen entsprochen. Für uns ist hier nicht zu unterscheiden, ob diese Veranstaltung nicht sogar vom virtuellen Format profitiert. Das wird weiter zu untersuchen sein.

Die Reisebeschränkungen unter COVID-19 haben uns schmerzlich von unseren Forschungspartnern im Ausland getrennt. Forschungsreisen mussten abgesagt werden, Konferenzen fanden oft nur im Notbetrieb mit sehr unterschiedlicher Qualität statt, ausländische Gäste konnten uns nicht besuchen. Profitiert hat allerdings unser Oberseminar, neuerdings auf Englisch durchgeführt, zu abendlicher Stunde durch hochkarätige Beiträge aus Ottawa, Stanford und Waterloo in den WebEx-Sitzungen (Unterabschnitt 3.2.3). Die Workshop-Serie Ensuring and Validating Safety for Automated Vehicles, die Torben Stolte initiiert, organisiert und moderiert hat, konnte das zuletzt 2019 in Präsenz erreichte exzellente Niveau im virtuellen Raum 2020 und 2021 bestätigten (Kapitel 10). Unser Joint Lab mit Jason Millar von der uOttawa zu ethischen Fragen autonomer Straßenfahrzeuge hat wahrscheinlich davon profitiert, dass virtuelle Sitzungen heute zuverlässiger funktionieren als je zuvor (Kapitel 11).

Auch in diesem Jahr möchte ich dieses Vorwort dankbar beenden. An erster Stelle seien besonders die wissenschaftlichen Mitarbeiter\*innen hervorgehoben, die im Alltag dafür gesorgt haben, dass die Virtualisierung der Lehre funktioniert und dass die Forschung unter diesen widrigen Bedingungen weiterentwickelt wird. Welche Auswirkungen wohl die Verschmelzung von Arbeits- und Privatleben am heimischen Arbeitsplatz bei steigenden Arbeitsanforderungen und zeitweisem Ent-

fall des Freizeitangebotes auf das Wohlbefinden unserer WiMi hatte? Wie werden vor diesem Hintergrund die Ankündigungen in den Medien auf unsere wissenschaftlichen, technischen und administrativen Mitarbeiter\*innen wirken, dass Corona-bedingt und mit Blick auf die Schuldenbremse die Hochschulbudgets gekürzt werden sollen, wo sie doch wissen, wen das in der Praxis am meisten trifft?

In aller Stille – und nach eigenen Aussagen ganz nach seinem Geschmack – hat sich mein Kollege am Institut, Professor Walter Schumacher, am 31. März 2021 in den Ruhestand verabschiedet. Dir, Walter, danke ich für viele Jahre der kollegialen Zusammenarbeit und wünsche Dir alles Gute in dieser neuen Lebensphase. Mein Dank geht auch an alle Mitarbeiter\*innen am Institut und unsere studentischen Mitarbeiter\*innen in den unterschiedlichsten Funktionen. Mitarbeiter\*innen in der Fakultätsgeschäftsstelle, im Dekanat und in der zentralen Verwaltung haben unter schwierigen Bedingungen den Betrieb unter Corona aufrechterhalten. Einen besonderen Dank dafür!

Herausgehoben sei Holger Stegert, der Ende des akademischen Jahres ebenfalls in den Ruhestand ging. Holger, Dir herzlichen Dank für mehr als ein Jahrzehnt intensiver, konstruktiver Zusammenarbeit in Deiner Funktion als Geschäftsführer unserer Fakultät. Ein herzliches Willkommen an Silke Wollers als Nachfolgerin im Amt. Ein besonderer Dank geht an Peter Hecker, Vizepräsident Forschung, für vielfache Unterstützung, nicht nur für den Carolo-Cup.

Die Forschung am Institut wäre nicht möglich gewesen ohne unsere Forschungspartner\*innen im In- und Ausland und unsere Förderer. Stellvertretend geht in diesem Jahr mein großer Dank an die Forschungspartner\*innen in vielen Projekten und bei gemeinsamen Veröffentlichungen – in alphabetischer Reihenfolge: Klaus Bengler (TU München), Peter Bergmiller (CARIAD SE), Krzysztof Czarnecki (Uni-

versity of Waterloo), Klaus Dietmayer (U Ulm), Lutz Eckstein (RWTH Aachen), Rolf Ernst (TU Braunschweig), Thomas Form (Volkswagen, TU Braunschweig), Bernhard Friedrich (TU Braunschweig), Roland Galbas (Bosch), Tom Gasser (BASt), Chris Gerdes (Stanford University), Meike Jipp (DLR), Sophie Le Page (uOttawa), Daniel Lipinski (Volkswagen), Ina Schäfer (TU Braunschweig), Fabian Schuldt (Volkswagen), Walter Schwertberger (MAN), Katharina Seifert (DLR), Eckard Steiger (Bosch), Christoph Stiller (KIT), Marc Vollrath (TU Braunschweig), Ulf Wilhelm (Bosch), Hermann Winner (TU Darmstadt).

Unsere Forschung wäre nicht möglich gewesen ohne die großzügige Förderung durch öffentliche Einrichtungen und Unternehmen. In diesem Jahr geht hier – ebenfalls in alphabetischer Reihenfolge – der besondere Dank an das Bundesministerium für Bildung und Forschung, das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, die Daimler und Benz Stiftung, das Land Niedersachsen und die Volkswagen AG.



# 2 Die AG Elektronische Fahrzeugsysteme

## 2.1 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter

Während des akademischen Jahres 2020/2021 waren die folgenden Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in der Arbeitsgruppe Elektronische Fahrzeugsysteme an unserem Institut beschäftigt:

<b>Name</b>	<b>Aufgabenbereich</b>
Prof. Dr.-Ing. Markus Maurer	Leitung
Prof. Dr.-Ing. Thomas Form	Honorarprofessor
Prof. Dr.-Ing. Bernd Lichte	Lehrbeauftragter
Dr. phil. Veronika Krapf	Assistenz
Stefanie Scheffer	Assistenz
B.Sc. Niklas Braun	Wissenschaftler
M.Sc. Susanne Ernst	Wissenschaftlerin
B.Sc. Leon Götz	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. Jan Richelmann	Wissenschaftler
M.Sc. Nayel Fabian Salem	Wissenschaftler
M.Sc. Tobias Schröder	Wissenschaftler

B.Sc. Richard Schubert	Wissenschaftler
M.Sc. Markus Steimle	Wissenschaftler
M.Sc. Dipl.-Ing. (FH) Torben Stolte	Wissenschaftler
Anton Grünke	Technik

Tabelle 2.1: Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Arbeitsgruppe Elektronische Fahrzeugsysteme

Beide Gruppen am Institut werden gleichermaßen unterstützt durch:

<b>Name</b>	<b>Aufgabenbereich</b>
Dr.-Ing. Marcus Grobe	Wissenschaftler
Dipl.-Ing. Bernd Amlang	Sicherheitsbeauftragter
Meister Andreas Rusniok	Technik
Peter Schwetge	Technik
Loris Colkos	Auszubildender Technik
Ginger Ika Jozis	Auszubildende Technik

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

## 2.2 Neue Kolleginnen und Kollegen

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

### 2.2.1 Niklas Braun

*von Niklas Braun*

Seit Anfang 2021 bin ich als wissenschaftliche Hilfskraft in der Arbeitsgruppe *Elektronische Fahrzeugsysteme* tätig und bekomme so einen Einblick in das wissenschaftliche Arbeiten. Nach meinem Bachelorstudium der Fahrzeugmechatronik und -informatik in Wolfsburg konnte ich ein Jahr lang Erfahrungen in der Technischen Entwicklung bei Volkswagen sammeln. Seit Oktober 2020 studiere ich nun im Master Elektronische Systeme in Fahrzeugtechnik, Luft- und Raumfahrt und engagiere mich neben dem Studium in der Formula Student bei der Entwicklung eines autonomen Rennwagen-Prototypen. Am Institut für Regelungstechnik beschäftigen mich momentan die Elektronik des Versuchsträgers MOBILE sowie die szenarienbasierte Absicherung automatisierter Fahrfunktionen. Es freut mich, als Studierender auf dem *Science Track* bereits jetzt erste Schritte in Richtung der wissenschaftlichen Forschung machen zu können.

## 2.3 Abgänge

### 2.3.1 Susanne Ernst

von Marcus Nolte

Zu Beginn ihrer Zeit am Institut hatte Susanne es nicht unbedingt leicht. Schließlich war sie ein Exemplar einer (damals noch) exotischen Spezies in unserer Arbeitsgruppe. Als studierte *Maschinenbauerin*, die sich nach dem Abschluss ihrer Masterarbeit plötzlich in der Entwicklung unserer Fahrfunktion wiedergefunden hatte, musste sie den einen oder anderen nicht ganz ernst gemeinten Maschbauerspruch ihrer Kollegen über sich ergehen lassen. Allerdings wäre Susanne ja nicht Susanne, wenn sie solche Frotzeleien nicht stets gekonnt mit gezieltem und manchmal leicht politisch inkorrektem Charme gekontert hätte und somit auch immer „the opposite of ihres Nachnamens“ (frei zitiert nach S. Ernst, 2017) in den Arbeitsalltag eingebracht hätte.

„Zwo, eins, Risiko!“ – Fachlich gesehen lässt sich Susannes Arbeit mit dem Ausspruch einer beliebten Comic-Figur aus den 90ern paraphrasieren. Nein, nicht wegen ihres Fahrstils in den Straßen von Monaco (obwohl...), sondern aufgrund ihrer Auseinandersetzung mit dem Thema „Risiko“ im automatisierten Fahren. In diversen Forschungsprojekten, wie AFiM (Kapitel 5) oder Value-Based Decision Making (Kapitel 4) hat sie sich mit der Frage beschäftigt, wie eine Risikobewertung als eine Grundlage zur Verhaltensentscheidung genutzt werden könnte.

Als tragende Säule des Stadtpiloten hat sich zunächst mit Jens Rieken, dann kurzzeitig sogar als One-Woman-Show und schließlich vor allem mit Jan (siehe unten) auch immer stark für den Versuchsträgerbetrieb engagiert. Selbst unter Pandemiebedingungen ist sie unermüdlich Tests und ProbandInnenstudien gefahren, hat sich in der Vorbereitung

um die Simulationsumgebung gekümmert und so manche Stunde mit „organisatorischen Kram“ verbracht, um dem Rest den Rücken freizuhalten. Letzteres galt nicht nur für die Arbeit in den Projekten, sondern auch zum Beispiel im Engagement für den Carolo-Cup – fürs Team, Susanne!

Architekturverfechterin, selbsternannte Kümmerin und Institutsmutti, Gesellschaftsbeauftragte sind nur einige der Rollen, die Susanne in unserer Gruppe gespielt hat. Neben vielen fachlichen Diskussionen lag ihr dabei auch immer der Zusammenhalt der Gruppe am Herzen. So gehen, neben zahlreichen am Whiteboard verdiskutierten Nachmittagen, so manche Runde Lasertag, spontane Grillaktionen und reichlich Bouldersessions auf ihr Konto. – Wir danken Dir für alles, wünschen Dir privat und beruflich alles, alles Gute und hoffen, dass Du in der Nähe zu „Deinen“ Bergen auch oft genug zum Bouldern außerhalb der Halle kommst.

### 2.3.2 Jan Richelmann

*von Marcus Nolte*

„Können wir mal grad die Autos umparken?“ – Nichts Böses ahnend steigt Herr N. in den ViL, um ihn aus der Fahrzeughalle zu fahren. Zündung an. Radio an. Schockstarre: Deutscher Schlager plärrt in unsäglicher Lautstärke aus den Boxen im Auto. „JAN!!!“. „Ups, ’tschuldige. Kann sein, dass mein Handy noch verbunden war.“ „Ach, wirklich?“ Wer es mal gewagt hat, eines von Jans rollenden Büros in Beschlag zu nehmen, hat diese (oder ähnliche) Episode(n) mit hoher Wahrscheinlichkeit erlebt.

Aber Spaß bei Seite: Mit Jan hat uns leider im Sommer nicht nur ein geschätzter Kollege und Diskussionspartner, sondern auch eine große Menge Versuchsträgerkompetenz verlassen. Unermüdlich hat er sich in seiner Zeit am Institut um Leonie, ViL und RefSens gekümmert. Watchdogs, Autobox, Regler, Ontologien, Fahrfunktion, „der Werling“, Jan hat sie – meistens mit viel Geduld, selten auch laut fluchend („Wie konnte das bitte jemals funktionieren??“) – gebändigt und somit durch seine tatkräftige Unterstützung, gern auch im Team mit Susanne, Jan-Timo und Markus S., so manche Projektpräsentation erst möglich gemacht.

Wenn er gerade mal nicht in einem der Versuchsträger steckte, hat Jan sich, nach seiner Zeit als Student im Team CDLC nur folgerichtig, im Carolo-Cup-Team „hochgearbeitet“. – Bis zum Ansprechpartner für die Sorgen und Wünsche der Teams und Moderator der Abendveranstaltung. Auch einige kreative Änderungen am Regelwerk, nicht immer nur zur Freude der teilnehmenden Teams, gehen mindestens teilweise auf sein Konto. Als gelernter Maschinenbauer zählen dazu auch so manche mechanischen Gimmicks („Elektromotoren?? Komm Tobi, wir zeigen den Elektrikern mal, was Pneumatik ist!“), die vermutlich noch so einige WiMi-, Carolo-Cup-Team- und vielleicht sogar Professorengenerationen überleben dürften.

Neben der Arbeit ist die Wahrscheinlichkeit hoch, den Herrn Richelmann bei der Jagd auf Fisch und sonstiges Wild oder an der Kletterwand zu treffen. – Die IfR-Kletter- und Boulderfraktion lässt grüßen!

Wir wünschen Dir alles Gute für Deine berufliche Zukunft, Petri- und Waidmannsheil und immer ausreichend Tritte und Griffe an der Kletterwand! Wir werden gern an so manche gemeinsame Aktion zurückdenken. Nur der mettwöchliche Zwiebelgeruch aus Raum 701, der wird wohl nur Einzelnen fehlen...

**Teil I**

**Lehre**



# 3 Lehre

## 3.1 Übersicht

Folgende Veranstaltungen haben wir im vergangenen akademischen Jahr angeboten:

<b>Veranstaltung</b>	<b>Vortragende</b>
Datenbussysteme	Dr. Grobe
Elektronische Fahrzeugsysteme	Prof. Form
Grundlagen der Elektrotechnik 1	Prof. Maurer
Fahrzeugsystemtechnik	Prof. Maurer
Master-Teamprojekt	R. Graubohm
Oberseminar Elektronische Fahrzeugsysteme	Prof. Maurer

Tabelle 3.1: Veranstaltungen im Wintersemester 2020/2021

<b>Veranstaltung</b>	<b>Vortragende</b>
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
Master-Teamprojekt	R. Graubohm
Oberseminar Elektronische Fahrzeugsysteme	Prof. Maurer

Tabelle 3.2: Veranstaltungen im Sommersemester 2021

<b>Labor</b>	<b>Zeitraum</b>
Entwurf von vernetzten eingebetteten Fahrzeugsystemen	SoSe 2021

Tabelle 3.3: Labore im akademischen Jahr 2020/2021

## 3.2 Neues aus der Lehre

### 3.2.1 Carolo-Cup 2021

*von der Pressestelle der TU Braunschweig*

#### **Dr. Drift holt im Wimpernschlagfinale den Carolo-Cup@Home**

Magazin 15.02.2021

#### **Der Cup der autonomen Modellfahrzeuge geht nach Karlsruhe**

Ein ganz enges Ergebnis gab es beim diesjährigen Carolo-Cup@Home. Der schwarze Flitzer „Dr. Drift“ aus Karlsruhe und der schnelle „Spatz X“ aus Ulm lagen nach den fahrtechnischen Prüfungen beide gleichauf. Bei der Präsentation des fahrtechnischen Konzepts setzte sich dann das Team KITcar mit Dr. Drift mit einem hauchdünnen Vorsprung durch. Beim 14. Internationalen Hochschulwettbewerb der autonomen Modellfahrzeuge kamen die beiden Braunschweiger Teams ISF Löwen und CDLC auf den 3. und 4. Platz. Der Basic-Cup@Home ging an das polnische Team Selfie von der Technischen Universität Warschau.

Ob Einparken, das Durchfahren von Kreuzungsbereichen mit Beachten der Vorfahrtsregelungen und Tempolimits, Überholen, das Durchfahren von engen Kurven ohne Markierung oder das Queren von Fußgängern an Zebrastreifen. Komplexe Verkehrsszenarien einer Vorstadt waren zu bewältigen. Die beiden Fahrzeuge Dr. Drift und Spatz X meisterten die fahrtechnischen Herausforderungen auf dem Parcours exakt gleich gut und lagen gemeinsam auf Platz 1. Die fahrtechnischen Prüfungen standen in diesem Jahr nicht in der Braunschweiger Stadthalle



Abbildung 3.1: Dr. Drift aus Karlsruhe siegt mit einem hauchdünnen Vorsprung vor dem Spatz X aus Ulm beim diesjährigen Carolo-Cup@Home.

©Jonas Vogel/TU Braunschweig

auf dem Programm, sondern auf den heimischen Rennstrecken der acht studentischen Teams. Sie wurden vorab als Video eingereicht.

So fiel die Entscheidung diesmal nicht auf dem Parcours, sondern die statische Disziplin, das heißt die Präsentation des fahrtechnischen Konzeptes vor einer Jury, in der es auch um die Kosten- und Energieeffizienz bei der Entwicklung der autonomen Fahrzeuge ging, entschied über den Sieg. Hier setzte sich der Vorjahressieger, das Team KITcar vom Karlsruher Institut für Technologie, mit Dr. Drift mit einem hauchdünnen Vorsprung von 355 zu 353 Punkten vor dem Team Spatzenhirn mit ihrem Spatz X von der Universität Ulm durch und holte den Carolo-Cup@Home.



Abbildung 3.2: Der Spatz X, das zweitplatzierte Fahrzeug, überzeugte durch seine gute Spurerkennung.

©Team Spatzenhirn

Das Fahrzeug Dr. Drift zeichnet sich durch zwei gelenkte Achsen aus und erreicht so eine große Wendigkeit. Dies stellte das Fahrzeug durch ein rasantes Einparken auch in sehr kleine Parklücken unter Beweis. Spatz X aus Ulm mit dem beeindruckendsten Sound aller Fahrzeug überzeugte besonders durch die gute Spurerkennung. So glänzte der kleine Flitzer beim Durchfahren einer 180°-Kurve, bei der über eine Länge von 2 Metern der Randstreifen fehlte, besonders. Beide Fahrzeuge verfügen über einen leistungsstarken Elektromotor, den sie gern auf der langen Geraden auf dem Parcours in der Stadthalle ausgefahren wären, auf dem kleineren heimischen Parcours konnten sie diese Stärke nicht so ausfahren.

Die beiden Braunschweiger Teams sind in diesem Jahr auf den 3. und 4. Platz gelandet. Die ISF Löwen haben komplett auf Deep Learning



Abbildung 3.3: Das Siegerteam KITcar aus Karlsruhe.

©Team KITcar

umgestellt. Es war für sie eine Herausforderung, nicht so viel mit dem Auto testen zu können. Deshalb haben sie viel an ihrer Simulation gearbeitet und sie realistischer entwickelt. Die Entwicklungszeit für die Hardware eines neuen Fahrzeugs reichte dem Team CDLC nicht aus, so dass sie mit dem Ersatzfahrzeug Caro Alpha angetreten sind und den Fokus ihrer Entwicklungsarbeit auf die Software gelegt haben.

### **Selfie aus Warschau gewinnt Basic-Cup**

Bei dem Basic-Cup siegte das polnische Team Selfie mit dem gleichnamigen Fahrzeug. Mit viel Teamgeist haben sie es geschafft, am Wettkampf teilzunehmen. Corona-bedingt konnten sie erst ganz spät mit ihrem Fahrzeug auf die Teststrecke gehen. Auf Platz 2 schaffte es das Team it:movES aus Esslingen mit ihrem Fahrzeug „Generation 4.2X“.

Das Team der Technischen Universität Warschau, das zum 4. Mal am Cup teilnahm, steigerte sich von Jahr zu Jahr. Bereits im letzten Jahr belegten sie den 2. Platz. Die zu meistern den fahrtechnischen Aufgaben sind nicht ganz so komplex wie beim Master-Cup, aber auch hier galt es Kreuzungs- und Kurvendurchfahrten sowie Einparken zu meis-

tern. Und hier konnte das polnische Team punkten, lag es noch nach den statischen Disziplinen auf Platz 3, fuhren sie dann fahrtechnisch den Sieg ein. Besonders beeindruckten die Parkmanöver von „Selfie“. Mit zwei Drehachsen gelang es ihnen hervorragend, seitlich parallel einzuparken.



Abbildung 3.4: Das Siegerteam des Basic-Carolo-Cup@Home Selfie von der Technischen Universität Warschau.  
©Team Selfie/TU Warschau

### **Erschwerte Teilnahme**

Teilgenommen hätten am diesjährigen Carolo-Cup@Home gern alle 19 Teams des letzten Jahres. Letztendlich haben es nur acht Teams geschafft, ihre Fahrzeuge rechtzeitig an den Start zu bringen. Aber alle waren froh, dabei zu sein. Denn Arbeiten an der Hardware und Testfahrten auf dem heimischen Parcours waren oft erst kurz vor dem Wettbewerb möglich und nur unter erschwerten Bedingungen. Jedes Team hatte mit unterschiedlichen Rahmenbedingungen zu kämpfen. Das studentische

Leben war an den Universitäten im letzten Jahr sehr eingeschränkt. Die Testräume konnten nicht betreten werden, persönliche Treffen, wenn nur mit wenigen Teammitgliedern möglich. Besonders herausfordernd war es auch unter den Bedingungen neue Teammitglieder als Nachrücker für die Studierenden zu gewinnen, die ihr Studium beendet haben. So arbeiteten die meisten Teams hauptsächlich in Form von Videomeeting zusammen und haben die Zeit genutzt, ihre Software zu optimieren und an neuen Frameworks zu arbeiten. Aber die Zeit wurde auch in die Vorbereitung der Entwicklung von neuen Fahrzeugen gesteckt, mit denen die Teams nächstes Jahr ins Rennen gehen wollen, wenn es hoffentlich wieder zum direkten Ausfahren der Sieger auf dem Parcours geht.

### **Regelwerk Carolo-Cup@Home**

Corona-bedingt fand das Finale nicht als Live-Event statt, sondern als Livestream. Die Übertragung hat die ags, eine studentische Initiative der TU Braunschweig übernommen. Das Regelwerk des Carolo-Cup@Home sah in diesem Jahr Corona-bedingt vor, dass die Teams die fahrtechnische Prüfung, bei der sie eine Reihe von realistischen Verkehrsszenarien meistern mussten, auf dem heimischen Parcours absolvieren und ein 5-minütiges Video einreichen. Zudem mussten die Teams vor einer Jury das Gesamtkonzept ihres Fahrzeugs vorstellen. Die studentischen Teams präsentierten unter anderem, wie kosten- und energieeffizient sie ihr automatisiert fahrendes Modellfahrzeug 1:10 entwickelt haben.

### **Ergebnisse des Master-Cups@Home**

- Team KitCar mit Dr. Drift, Karlsruher Institut für Technologie (Video)
- Team Spatzenhirn mit Spatz X, Universität Ulm (Video)
- ISF Löwen mit Scar, TU Braunschweig (Video)
- CDLC mit Caro Alpha, TU Braunschweig (Video)

### **Ergebnisse des Basic-Cups@Home**

- Team Selfie mit Selfie, Technische Universität Warschau (Video)
- Team it:movES, mit „Generation 4.2X“, Hochschule Esslingen (Video)
- Team oTToCar mit „Luci“, Otto-von-Guericke Universität Magdeburg (Video)
- DHBW Smart Rollerz mit „Smarty“, Duale Hochschule Baden-Württemberg (Video)

Das Preisgeld beträgt in diesem Jahr 4.000 Euro. Es geht als Start- und Motivationsprämie in Höhe von jeweils 500 Euro an alle 8 teilnehmenden Teams.

### **Veranstalter und Sponsoren**

Die Veranstaltung organisiert das Institut für Regelungstechnik der TU Braunschweig. Finanziell unterstützt wird der Carolo-Cup@Home von Automotive Safety Technologies GmbH, Bosch Engineering GmbH, Elektrobit Automotive GmbH, Vires Simulationstechnologie GmbH und ZF Friedrichshafen AG.

### 3.2.2 Das CDLC-Team 2021

*von Marlena Flüh*

Das CDLC Team ist eine studentische Initiative, mit dem Ziel, schnelle selbstfahrende Modellautos zu bauen. Studierende aus verschiedenen Studiengängen der TU Braunschweig und benachbarten Hochschulen entwickeln über das Jahr ein neues, selbstfahrendes Modellauto. Das Ziel ist die erfolgreiche Teilnahme am jährlichen Carolo-Cup, einem Hochschulwettbewerb für autonom fahrende Modellfahrzeuge. In unserem Beitrag möchten wir auf die Entwicklungen im Jahr 2021 und auf den ersten Carolo-Cup@Home zurückblicken.

#### **Carolo-Cup 2021**

Der Carolo-Cup ist ein internationaler Wettbewerb für Modellfahrzeuge im Maßstab 1:10. Er wird jährlich vom Institut für Regelungstechnik veranstaltet und wurde in den letzten Jahren in der Braunschweiger Stadthalle ausgetragen. Generell unterteilt sich der Carolo-Cup in den Basic-Cup und den Master-Cup. Im Basic-Cup bewältigen überwiegend neue Teams Grundaufgaben, die Master-Cup-Teams bewältigen neben den Grundaufgaben auch komplexere Fahrscenarien. Aufgrund der Corona Pandemie wurde der Carolo-Cup 2021 als erster Carolo-Cup@Home ausgetragen. Der Carolo-Cup@Home bestand aus drei Phasen. In der ersten Phase haben die einzelnen Teams ihr Konzept einer Jury mit Vertretern aus Wissenschaft und Wirtschaft vorgestellt. Als neuer Punkt wurde die Arbeit unter Corona hinzugenommen. Die zweite Phase ist die dynamische Disziplin, ähnlich wie in den Vorjahren wurden Aufgaben gestellt, die die Teams bewältigen sollten, Fahrscenarien waren zum Beispiel ein Zebrastreifen, ein Überholverbot und bewegte Hindernisse. Die Ergebnisse wurden nach einer Woche Ent-

wicklungszeit als etwa fünfminütige Videos eingereicht. In der dritten Phase wurden die Videos von der Jury bewertet. Anschließend wurden in einem Livestream die Sieger bekannt gegeben und Fragen an die einzelnen Teams gestellt. Die Vorstellung des CDLC-Team-Konzepts in Form einer englischsprachigen Präsentation übernahmen die Teammitglieder Torge Rosendahl und Christian Bendrick. Der Vortrag war in die Themen Projektmanagement, Hardware-Architektur und Software & Control gegliedert. Außerdem wurde auf das Arbeiten unter Corona eingegangen. Da die Teamräume bis Mitte Dezember nicht zugänglich waren, konnte die ursprünglich geplante Entwicklung einer neuen Hardware für unser Modellauto Carolinchen nicht umgesetzt werden. Also entwickelten wir von zu Hause aus und konzentrierten uns auf die Software- und Konzeptentwicklung. Außerdem erarbeiteten wir ein Hygienekonzept. Ab Mitte Dezember war es dann möglich mit maximal zwei Personen im CDLC-Teamraum zu arbeiten. Die Präsentation fand online mit Hilfe eines Videokonferenzsystems statt, Torge und Christian präsentierten unser Konzept vor der Jury und den anderen Teams, die am Carolo-Master-Cup@Home teilnahmen. Anschließend wurden Fragen der Jury beantwortet. Das Präsentieren mit dem Videokonferenzsystem war unproblematisch.

Die Vorgaben für die dynamische Disziplin wurden vorweg bekannt gegeben, die einzelnen Teams hatten anschließend eine Woche lang Zeit, die Vorgaben umzusetzen und das Ergebnis als Video zu dokumentieren. Die Vorgaben bestanden aus verschiedenen Verkehrssituationen. Eine Aufgabe war die Fahrzeugführung ohne Linien bzw. Straßenbegrenzung, das Modellauto sollte einem anderen Verkehrsteilnehmer bis zum Ende der Zone folgen. Außerdem wurden Herausforderungen im Bereich Kreuzungen und Sonderelemente gemeistert, das Modellauto beachtete eine Geschwindigkeitsbegrenzung und wartete auf andere Verkehrsteilnehmer, zum Beispiel am Zebrastreifen, siehe Abbildung 3.6, oder



Abbildung 3.5: Präsentationsfolie (links), Christian Bendrick (oben rechts), Torge Rosendahl (unten rechts)

an einer Kreuzung. Auch zum Parken und Error-Management wurden Aufgaben gestellt. Im Laufe der Woche gelang es uns, die meisten Anforderungen umzusetzen und als Video festzuhalten, nur die Fahrbahnerkennung nach der Kreuzung funktionierte nicht wie gewünscht.

Die Preisverleihung des Carolo-Cup@Home fand als Livestream statt. Vor der Bekanntgabe der Ergebnisse wurden die teilnehmenden Teams mit ihren Videos zur dynamischen Disziplin vorgestellt. Außerdem richteten die Moderatoren Fragen an Vertreter der Teams, im CDLC-Team stellte sich Alex Bendrick ihren Fragen. Das CDLC Team belegte insgesamt den vierten Platz. Mit diesem Ergebnis schnitten wir schlechter ab als im letzten Jahr, dies führen wir vor allem auf die erschwerten Arbeitsbedingungen unter Corona zurück.



Abbildung 3.6: Impression aus dem Carolo-Master-Cup@Home Video

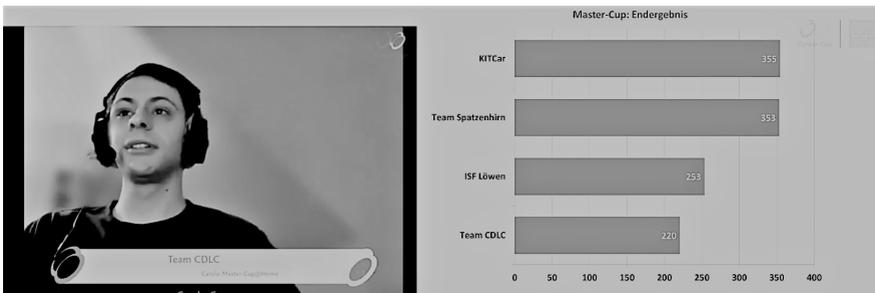


Abbildung 3.7: Alex Bendrick beantwortet die Fragen der Jury (links), Endergebnis des Cups (rechts)

## Entwicklungen

Im Jahr 2021 war die Entwicklung eines neuen Autos mit neuer Hardware geplant, wegen der Corona Pandemie wurden diese Pläne jedoch verworfen. Die Zutrittsbeschränkungen für den Teamraum führten stattdessen zu einer Fokussierung auf die Software-seitige Weiterentwicklung von Carolinchen und auf das Erarbeiten langfristiger Konzepte, um eine Grundlage für eine mehrjährige zielführende Entwicklung

zu legen. Der Schwerpunkt lag hierbei auf der Einführung des ROS (Robot Operating System) Frameworks bzw. der Migration vom alten Framework ADTF auf ROS. Wir konzentrierten uns neben der Implementation auch auf die Wissensvermittlung innerhalb des Teams in Form von gemeinsamen Programmertreffen und sorgfältiger Dokumentation im Team-eigenen Wiki. Damit jeder von zu Hause aus an Carolinchen entwickeln konnte, verbesserten wir außerdem die Simulationsumgebung und implementierten neue Szenarien. Außerdem machten wir signifikante Fortschritte in den Bereichen Trajektorienplanung und Umfeldmodell. Trotz der coronabedingten Kontaktbeschränkungen konnten wir neben mehreren virtuellen Teamevents eine Kanutour als Teambuilding Event organisieren. Wir freuen uns auf den Carolo-Cup 2022 und die kommenden Veranstaltungen und Teamtreffen.

### 3.2.3 Oberseminar

*von Torben Stolte*

Das Oberseminar „Elektronische Fahrzeugsysteme“ wurde im Wintersemester 2020/2021 und im Sommersemester 2021 angeboten. Das Seminar dient dem vertieften wissenschaftlichen Austausch zu aktuellen Themen aus den Forschungsfeldern der Arbeitsgruppe. Die dreistündigen Termine werden von den Vortragenden frei gestaltet. Dabei wurden bevorzugt offene Formate anstatt Frontalvorträge gewählt, um so den wissenschaftlichen Diskurs zu fördern.

Das Oberseminar richtet sich vor allem an wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Forschungsfelds „Intelligentes Fahrzeug“ des Niedersächsischen Forschungszentrums für Fahrzeugtechnik sowie an wissenschaftlich interessierte Studierende im Masterstudium.

Der Fokus der Vorträge im vergangenen akademischen Jahr lag auf den besonderen Herausforderungen der Fahrzeugautomatisierung, dem wissenschaftlichen Arbeiten sowie den Projekten der Arbeitsgruppe Elektronische Fahrzeugsysteme.

Aufgrund der pandemischen Lage wurden die Oberseminare im Winter- und Sommersemester erneut virtuell durchgeführt. Auch war das Oberseminar in beiden Semestern wieder als Blockveranstaltung organisiert. Als wesentliche Neuerung wird das Oberseminar gemeinsam mit befreundeten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus den USA und Kanada durchgeführt. Im Winter- und Sommersemester wurden Inhalte aus den Gruppen von Chris Gerdes (Stanford University, USA) und Jason Millar (University of Ottawa, Kanada) beigesteuert. Im Sommersemester wurde der Kreis der Teilnehmenden um Kolleginnen und Kollegen aus der Gruppe von Krzysztof Czarnecki (University of Waterloo, Kanada) erweitert.

Thematisch wurden die in Tabellen 3.4 und 3.5 aufgelisteten Themen intensiv diskutiert. Allen Vortragenden sei herzlich für die spannenden Themen gedankt. Gleichzeitig gilt den Teilnehmenden Dank für die regen Diskussionsbeiträge.

<b>Vortragende</b>	<b>Thema</b>
Markus Maurer	Introduction to Scientific Writing
Markus Maurer	Autonomous Driving and its Inherent Risks
Markus Maurer	Group Work on Doing a PhD: Required Support, Threats, Benefits, Tips and Tricks
John Alsterda (Stanford University)	Contingency Model Predictive Control for Automated Vehicles
Tobias Schröder	Development of an Autonomous Family Vehicle
Markus Nolte	How do we design for Value-Based Behavior? – A Systems Engineering Perspective
Robert Graubohm	Value-Oriented Design Methodology VSD: Ideas for a Process Outline from a Project Application
Markus Steimle & Elliot Weiss (Stanford University)	The Vehicle-in-the-Loop Concept – Setup, Current State, and Possible Applications (IfR & DDL)
Elliot Weiss (Stanford University)	Using Driving Simulators to Explore Various Research Fields
Till Menzel	A domain ontology as a basis for scenario generation

Vortragende	Thema
Nayel Fabian Salem	Design and Implementation of a Framework for Requirements Representation and Inferring Parameters for the Decision-Making Module at Runtime for an Autonomous Vehicle
Sophie LePage & Jason Millar (beide University of Ottawa)	Ethical Requirements for Autonomous Vehicles

Tabelle 3.4: Themen des Oberseminars im Wintersemester 2020/2021

Vortragende	Thema
Markus Maurer	Introduction to Scientific Writing
Richard Schubert	ODD-Centric Contextual Sensitivity Analysis for a Non-Linear Double Track Vehicle Model
Felix Grün	What Training Data Do We Need for Urban Lane Detection? - Requirements, Datasets and Paths for Improvement
Leon Götz	A Deep Learning Based Approach to Traffic Participant Detection in LiDAR Range Images for Automated Driving
Tobias Schröder & Robert Graubohm	Status UNICAR <sup>agil</sup>
Elliot Weiss (Stanford University)	Driving Simulation Platforms at the DDL

Vortragende	Thema
Markus Steimle	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
Nayel Fabian Salem, Markus Maurer, Robert Graubohm, Sophie LePage, Jason Millar & J. Christian Gerdes	Risk and Safety
Torben Stolte, Robert Graubohm, Inga Jatzkowski, Stefan Ackermann (TU Darmstadt) & Björn Klamann (TU Darmstadt)	A Taxonomy to Unify Fault Tolerance Regimes for Automotive Systems: Defining Fail-Operational, Fail-Degraded, and Fail-Safe
Nayel Fabian Salem	Contributions to the semantic analysis and formal representation of behavioral norms for automated driving

Tabelle 3.5: Themen des Oberseminars im Sommersemester 2021

### 3.2.4 SummerCamp

von Robert Graubohm

Wie schon im Vorjahr war auch 2021 eine Durchführung des SummerCamps aufgrund der Pandemie leider nicht möglich. Das gesamte

Organisationsteam hofft auf eine bessere Ausgangslage für eine Wiederdurchführung der beliebten Lehrveranstaltung in Gestalt eines Planspiels in naher Zukunft.

### **3.2.5 Vorlesung Automatisierte Straßenfahrzeuge: von der Assistenz zur Autonomie**

*von Nayel Fabian Salem*

Nachdem die Vorlesung *Automatisierte Straßenfahrzeuge: von der Assistenz zur Autonomie* im vergangenen Jahr erstmalig online stattfinden musste, wurde das virtuelle Lehrformat in diesem Jahr fortgesetzt und gewonnene Erkenntnisse insbesondere zur Interaktion mit den Studierenden angewendet. Die Prüfungsteilnehmerzahl nahm im Vergleich zum Vorjahr mit 76 Geprüften leicht ab.

Lebhafte Diskussionen, die stets wesentlicher Bestandteil der Lehrveranstaltung waren, konnten auch in diesem Jahr erneut zur Vermittlung der Inhalte sowie zur Lernatmosphäre beitragen. Hierbei nahm die aktive Beteiligung der Studierenden über das Semester zu, sodass bis zum Abschluss der Vorlesungszeit im Vergleich zu einer Präsenzveranstaltung zusätzlich ein Austausch zwischen den Studierenden (z.B. über die Chat-Funktion der Online-Konferenz-Plattform) im Rahmen der Lehre gefördert wurde.

Wie bereits im vorangegangenen Jahr bereicherten wissenschaftliche Mitarbeiter\*innen die Vorlesung zu den bestehenden, von Herrn Professor Maurer gehaltenen Themenschwerpunkten mit Vorträgen aus der aktuellen Forschung. Zum Thema Wahrnehmung stellte Felix Grün dieses Jahr die Umfeldwahrnehmung im Projekt Stadtpilot vor. Marcus Nolte ergänzte die Veranstaltung mit einer Einführung in Optimierungsverfahren und in die modellprädiktive Regelung als Bestandteil

der Fahrentscheidung automatisierter Fahrzeuge. Zu den jeweiligen Vorlesungsinhalten fanden Übungen statt, welche die Forschungsbeispiele unterstützten. Auf den im letzten Jahr eingeführten virtuellen praktischen Übungen zum Kalmanfilter und zur modellprädiktiven Regelung konnte auf Basis des Feedbacks der Studierenden aufgebaut werden. Das virtuelle Format wurde genutzt, um den Studierenden während der Übung unter Anleitung der wissenschaftlichen Mitarbeiter\*innen das Sammeln praktischer Erfahrung bei der Implementierung von Beispielaufgaben zu den vorgestellten Übungsinhalten zu ermöglichen.

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

### 3.2.6 Vorlesung Fahrzeugsystemtechnik

*von Inga Jatzkowski*

Auch die Fahrzeugsystemtechnik war weiterhin von den Einschränkungen aufgrund der Covid19-Pandemie betroffen. Zum zweiten Mal fanden die Vorlesung und Übung in diesem Jahr rein digital statt. Die Studierenden waren dieses Format bereits aus dem Sommersemester gewöhnt und nahmen es gut an. Damit Studierende die Möglichkeit haben, die Veranstaltungen *Fahrzeugsystemtechnik* und *Automatisierte Straßenfahrzeuge: Von der Assistenz zur Autonomie* in aufeinanderfolgenden

Semestern zu besuchen, wurde die *Fahrzeugsystemtechnik* ab diesem Jahr im Wintersemester gelesen. Das Interesse am Thema Fahrzeugsystemtechnik ist weiterhin stark. Dadurch, dass die Veranstaltung in zwei aufeinanderfolgenden Semestern stattfand, reduzierte sich die Teilnehmendenanzahl jedoch etwas. Im Schnitt nahmen etwa 50 Studierende regelmäßig an der digitalen Veranstaltung teil.

Langfristiges Ziel ist es, die Veranstaltung zunehmend forschungsnäher zu gestalten und aktuelle Forschungsthemen in die Vorlesung einzu beziehen. Aus diesem Grund unterstützten in diesem Semester einige wissenschaftliche Mitarbeiter fachlich die Vorlesung. So stellten etwa Tobias Schröder und Torben Stolte Nutzungsfälle aus den Projekten UNICAR*agil* und aFAS vor, die anschließend im weiteren Verlauf der Vorlesung aufgegriffen wurden. Tobias Schröder hielt zudem einen Vortrag und eine Übung zum Anforderungsmanagement am Beispiel der Fahrzeugausprägung *autoELF* aus dem Projekt UNICAR*agil* (Kapitel 7). Auch im weiteren Verlauf wurde die Vorlesung immer wieder durch Experten aus dem Kollegenkreis unterstützt. Robert Graubohm trug mit einem Vortrag zu agilen Entwicklungsmethoden, zu wertebasierter Entwicklung und zu Sicherheitsthemen zur Veranstaltung bei. Torben Stolte unterstützte ebenfalls im Bereich der funktionalen Sicherheit und Till Menzel im Rahmen des Themenbereichs des Testens. Durch eine interaktive Vorlesungsgestaltung wurden auch im digitalen Format die Studierenden direkt in die Erarbeitung der Vorlesungsinhalte eingebunden.

### 3.2.7 Master-Teamprojekt

von Robert Graubohm

Das Teamprojekt ist eine Studienleistung im Masterstudiengang *Elektronische Systeme in Fahrzeugtechnik, Luft- und Raumfahrt*. Darüber hinaus ist eine Durchführung alternativ zum Industriepraktikum in 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 Master-Teamprojekt Aufgabenstellungen aus den Forschungsprojekten *Stadtpilot* und *MOBILE* bearbeitet. Darüber hinaus sind Themenstellungen aus dem Kontext des *Carolo-Cups* möglich. Dabei ist sowohl die gemeinschaftliche Erarbeitung einer Aufgabe im Zuge der Mitgliedschaft der Studierenden in einem teilnehmenden Team als auch die Bearbeitung einer Themenstellung motiviert aus der Organisation des Wettbewerbs möglich. Inhalt und Ausrichtung der Themen werden in jedem Semester an den aktuellen Arbeitsstand in den Projekten angepasst. Dadurch können die Studierenden neben Soft Skills und praktischen Erfahrungen auch einen Einblick in den aktuellen Stand der Forschung erhalten. Da in den Forschungsprojekten Versuchsträger betrieben werden, können Studierende vielfach die Ergebnisse ihrer Arbeiten auch praktisch erleben.

In den beiden vergangenen Semestern wurden folgende Themen behandelt:

- Ansteuerung und Überwachung des Lenk- und Bremssystems eines Formula Student Driverless Fahrzeugs
- Gestaltung und Implementierung visueller Module für das Versuchsträger-HMI

### 3.2.8 Seminarvorträge

*von Tobias Schröder*

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

Im vergangenen Jahr wurden die folgenden Vorträge gehalten:

- Übersicht und Vergleich von Top-Level Ontologien
- Quality Requirements Elicitation by Ideation of Product Quality Risks with Design Thinking
- Agile Methoden in sicherheitskritischen Automotive-Anwendungen
- Vorstellung CARLA, ein Open-Source Simulator zur Forschung im Bereich des Autonomen Fahrens
- Schätzverfahren und ihre Anwendungen – Ein Überblick über Kalman- und Partikel-Filter
- Fahrwerkskinematik
- Universal Design

- Automatisierte Straßenfahrzeuge: Recht und Akzeptanz
- A Deep Learning Based Approach to Traffic Participant Detection in LiDAR Range Images for Automated Driving

Aufgrund der Corona-Pandemie wurden die Seminarvorträge wie bereits im Sommersemester des Vorjahres vollständig in Form von Videokonferenzen gehalten.

### 3.2.9 Advanced Topics in Automotive Systems Engineering

*von Tobias Schröder*

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

In den regelmäßig stattfindenden Terminen halten die Teilnehmenden einen fachlich tiefgreifenden Vortrag zu einer anfangs definierten Themenstellung. Die Studierenden werden bei der Ausarbeitung ihrer Vorträge von jeweils einer wissenschaftlichen Mitarbeiterin oder einem wissenschaftlichen Mitarbeiter betreut. Nach einer an jeden Vortrag anknüpfenden Fragerunde geben die Teilnehmenden der Veranstaltung den Vortragenden ein ausführliches Feedback zur Vortragsweise. Darüber hinaus nimmt eine Expertin oder ein Experte des Sprachenzentrums an der Veranstaltung teil und gibt Rückmeldung zur sprachlichen Leistung während des Vortrags. Die Veranstaltung bietet sowohl Studierenden als auch wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern die Möglichkeit, unterschiedliche Kompetenzen zu verbessern.

---

So werden nicht allein die Ausarbeitung und der Vortrag einer wissenschaftlichen Thematik praktiziert, sondern auch das Geben und Nehmen von Kritik sowie das fachliche Diskutieren auf Englisch. Die Teilnehmenden werden dadurch auf die Vorstellung von Forschungsergebnissen auf internationalen Konferenzen, aber auch auf das spätere Berufsleben vorbereitet.

Wie bereits im Vorjahr wurde die Veranstaltung im Sommersemester 2021 durch die englischsprachige Kommunikationstrainerin Linda Block unterstützt. Da aus Infektionsschutzgründen keine Präsenzveranstaltungen möglich waren, 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.

### 3.2.10 Industriepraktika

Im akademischen Jahr 2020/2021 wurden Industriepraktika von unserer Arbeitsgruppe bei folgenden Firmen betreut:

- Audi Sport GmbH, Neckarsulm
- BBR Verkehrstechnik, Braunschweig
- Daimler AG, Stuttgart
- EDAG Engineering GmbH, Wolfsburg
- Feuerwehr Braunschweig, Braunschweig
- FEV Norddeutschland GmbH, Braunschweig
- Hua Yang-Jun Feng Information Engineering Corporation, Peking
- IAV GmbH, Gifhorn
- Ingenieurbüro Koch, Braunschweig
- STMicroelectronics Al Gazala-Ariana, Tunesien
- TLK Thermo GmbH, Braunschweig
- Volkswagen AG, Wolfsburg
- Volkswagen ERL, USA

## 3.3 Studentische Arbeiten

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

*Entwicklung und Implementierung eines Deep-Learning-basierten Ansatzes zur Erkennung und Bewegungsprädiktion von Verkehrsteilnehmern in Belegungsgittern, Masterarbeit, 2020*

*Entwicklung und Implementierung eines Deep-Learning-basierten Ansatzes zur Fahrstreifenerkennung auf Kamerabildern, Masterarbeit, 2020*

*Entwicklung und Implementierung eines Frameworks zur Repräsentation von Anforderungen und der Ableitung von Laufzeitparametern für die Verhaltensentscheidung eines automatisierten Straßenfahrzeugs, Masterarbeit, 2020*

*Konzeption und Implementierung einer Ontologie zur Domänenbeschreibung als Basis für die Szenarienerstellung am Beispiel des Stadtpiloten, Masterarbeit, 2020*

*Regelung der Fahrzeugbewegung eines überaktuierten automatisierten Fahrzeugs mit Reifenplatzer, Masterarbeit, 2020*

*Analyse des Einflusses der Bildqualität auf die Qualität der Ergebnisse einer Beispielfunktion aus der Umfeldwahrnehmung anhand von Metriken für die Bewertung der Qualität von Kamerabildern, Masterarbeit, 2021*

*Bestimmung von funktionalen Grenzen bei Aktorikdegradationen zur Verbesserung einer hierarchischen fehlertoleranten Regelung der horizontalen Bewegung überaktuierter Fahrzeuge, Masterarbeit, 2021*

*Entwicklung einer fehlertoleranten modellprädiktiven Regelung mit aggregierten Stellgrößen für die Horizontalbewegung überaktuierter Fahrzeuge, Masterarbeit, 2021*

---

*Entwicklung und Implementierung einer modularen routenabhängigen Selbstüberwachung der Energieversorgung eines vollelektrischen Versuchsfahrzeugs, Masterarbeit, 2021*

*Entwicklung und Vergleich zweier Konzepte zur Trajektorienprädiktion mit Long Short Term Netzen und modellbasierten Bewegungsmodellen, Masterarbeit, 2021*

*Entwurf und Implementierung eines POMDP Modells für die taktische Verhaltensentscheidung eines automatisierten Fahrzeugs in urbanem Raum, Masterarbeit, 2021*

*Entwurf und Implementierung objektiver Gütekriterien zur Evaluation der Umfeldwahrnehmung automatisierter Fahrfunktionen unter Berücksichtigung der Relevanz von Verkehrsteilnehmern, Masterarbeit, 2021*

*Erweiterung eines generischen Frameworks zur dynamischen Berechnung und Repräsentation von Risiko für die Verhaltensentscheidung eines automatisierten Fahrzeugs, Masterarbeit, 2021*

*Implementierung eines Algorithmus zur Pfadsuche im unstrukturierten Umfeld für ein automatisiertes Fahrzeug, Bachelorarbeit, 2021*

*Implementierung eines Deep-Learning-basierten Ansatzes zur Detektion von Verkehrsteilnehmern in Lidar-Entfernungsbildern für das automatisierte Fahren, Bachelorarbeit, 2021*

*Nutzung von online Kartendaten für die Erweiterung des in einem ontologiebasierten Umfeldmodell hinterlegten Wissens für ein automatisiertes Fahrzeug in urbanem Raum, Masterarbeit, 2021*

*Regelgüteüberwachung für die modellprädiktive Trajektorienregelung eines automatisierten Fahrzeugs, Masterarbeit, 2021*

*Systematische Erfassung geforderter Mindestkompetenzen fahrer\*innenloser Fahrzeuge als Beitrag zur Sicherheitsanalyse in der Konzeptphase, Masterarbeit, 2021*

*Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Reifenmodelle auf eine modellprädiktive Regelung der horizontalen Fahrzeugbewegung, Masterarbeit, 2021*

*Untersuchung des Einflusses von verkehrsflussrelevanten Parametern auf die Verhaltensentscheidung eines automatisierten Fahrzeugs in urbanen Szenarien, Masterarbeit, 2021*

### 3.4 Prüfungen am Institut

Im Berichtszeitraum wurden folgende Prüfungen abgelegt:

<b>Name des Fachs</b>	<b>Anzahl der Prüfungen</b>	<b>Durchschnitts- note</b>
Datenbussysteme	84	3,1
Elektromagnetische Verträglichkeit	183	3,7
Elektronische Fahrzeugsysteme	133	3,5
Fahrzeugsystemtechnik	60	3,5
Automatisierte Straßenfahrzeuge: Von der Assistenz zur Autonomie	76	3,5
Grundlagen der Elektrotechnik	84	3,8
Master-Teamprojekt	4	k. A.
Advanced Topics in Automotive Systems Engineering	4	k. A.

Tabelle 3.6: Anzahl der Prüfungen im Rahmen unserer Lehrveranstaltungen

**Teil II**

**Berichte aus der  
Forschung**



# 4 Wertebasierte Verhaltensentscheidung mit der Daimler und Benz Stiftung

*von Markus Maurer und Marcus Nolte*

Die Beschäftigung mit der werteorientierten Verhaltensentscheidung hat im Projekt *Value-based decision making* auf fundamentale Herausforderungen bei der Entwicklung autonomer Straßenfahrzeuge geführt. Im Gedankenexperiment lassen sich die ursprünglichen Fragestellungen leicht illustrieren: Stellen Sie sich vor, Sie fahren mit Ihrem Fahrzeug in einer Ortschaft an einer Reihe längsgeparkter Fahrzeuge entlang. Hinter jedem Fahrzeug gibt es eine Verdeckung, die Sie nicht einsehen können.

Wenn nun im ungünstigsten Moment ein Kind aus dieser Verdeckung vor Ihnen auf die Straße läuft, dann werden Sie nicht mehr rechtzeitig bremsen können. Die genauere Analyse zeigt, dass die Verhaltensentscheidung im Straßenverkehr durch Werte beeinflusst wird: Möchte ich möglichst schnell ein Ziel erreichen oder möchte ich möglichst sicher fahren. Je nachdem, welcher Wert (Sicherheit versus Schnelligkeit) im Vordergrund steht, ändert sich mein Verhalten. Die Diskussion des Szenarios der Vorbeifahrt an den geparkten Fahrzeugen illustriert anschaulich das inhärente Risiko, dem wir uns aussetzen, wenn wir, als menschliche Fahrer, am Straßenverkehr teilnehmen. Wenn wir entsprechend der üblichen Gepflogenheiten fahren, werden wir in sehr seltenen Szenarien nicht rechtzeitig bremsen können.

Auch autonome Straßenfahrzeuge sind diesem, dem Verkehrssystem inhärenten, Risiko ausgesetzt. Für die Wahrnehmungssysteme dieser neuartigen Verkehrsteilnehmer gibt es im geschilderten Szenario ebenfalls Verdeckungen und damit verbunden Unsicherheiten, welche Verkehrsteilnehmer\*innen sich in diesen Verdeckungen befinden, welche Absichten diese verfolgen und was sie als nächstes tun werden. Im diskutierten Szenario manifestieren sich bereits zwei unterschiedliche inhärente Risiken, die wir für autonome Straßenfahrzeuge identifiziert haben: Das Risiko, das sich aus der nicht perfekten Wahrnehmung ergibt, im Beispiel durch die Verdeckungen repräsentiert und das Risiko, das aus der Unsicherheit über zukünftige Handlungen möglicher Verkehrsteilnehmer resultiert.

Zu den stärker technologiebezogenen inhärenten Risiken zählen die systemischen Risiken, die dadurch entstehen, dass in komplexen, offenen Systemen eine Spezifikation dieses Systems immer unvollständig sein wird. Auch der Test des Systems kann – schon allein aus Gründen der Komplexität der Systeme – nicht vollständig erfolgen. Die Formulierung dieser unterschiedlichen inhärenten Risiken stellt ein wichtiges Projektergebnis dar.

Die beschriebenen systemischen Risiken werden heute durch Methoden aus der Systemtechnik (engl. Systems Engineering) möglichst eingegrenzt; ganz eliminieren kann man sie prinzipbedingt nicht. Nach den Untersuchungen im Projekt Value-based Decision Making sind daher die Methoden aus dem Bereich Systems Engineering eine notwendige, aber keine hinreichende Bedingung für die Akzeptanz von autonomen Straßenfahrzeugen in der Bevölkerung. Sie sollten durch Methoden der wertorientierten Entwicklung ergänzt werden.

Abbildung 1 modelliert wesentliche Bestandteile einer wertorientierten Entwicklung. Der Block rechts oben symbolisiert die Verhaltens-

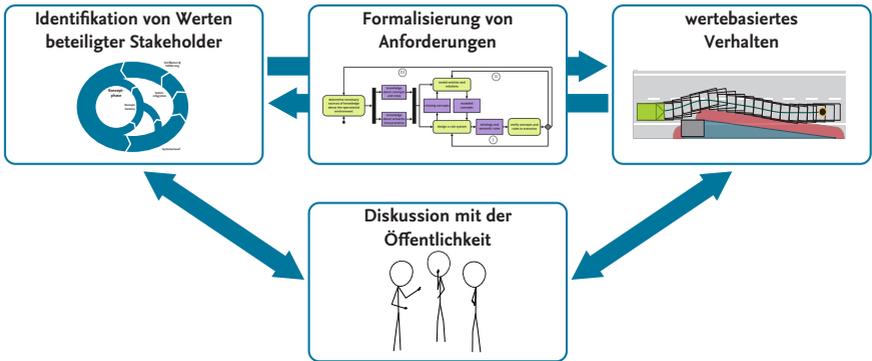


Abbildung 4.1: schematische Darstellung der wertorientierten Entwicklung

entscheidung im autonomen Fahrzeug, die nach explizit formulierten Werten das Fahrzeug steuert. In unserem konkreten Eingangsbeispiel ermöglichen Methoden aus der sogenannten modellprädiktiven Regelung (engl. Model Predictive Control), Randbedingungen zu berücksichtigen und damit den identifizierten Werten Rechnung zu tragen. Woher weiß nun die Fahrzeugführung, welche Werte in einem Szenario aus Sicht der Stakeholder wichtig sind? Sie müssen in der Entwicklungsphase im Unternehmen von den Forscher\*innen und Entwickler\*innen identifiziert werden. Das symbolisiert der Block links oben in der Abbildung 1. Bei der Identifikation der Werte scheint das Entwicklungsparadigma des Value-Sensitive-Designs (Friedmann, 2013) besonders geeignet zu sein (Graubohm, 2020). Die systematische Überführung der Werte aus dem Entwicklungsprozess (linker Block) in den Block der Verhaltensentscheidung (rechter Block) wird durch den Block dazwischen (oben, Mitte) gewürdigt; sie ist heute bislang nur in ersten Ansätzen skizziert (Salem, 2020) und erfordert weitere Forschungen.

Da sich autonome Fahrzeuge später im öffentlichen Verkehr bewähren sollen, halten wir die Klärung der Werte und speziell die Auflö-

sung der Auslegungskonflikte (fahre ich möglichst schnell oder fahre ich möglichst sicher) für so zentral, dass sie mit Vertretern der Gesellschaft ausgehandelt werden sollten. Dieser Aushandlungsprozess wird durch die Doppelpfeile zwischen den Blöcken links oben und unten Mitte repräsentiert. Vertreter der Öffentlichkeit, Stakeholder des Verkehrssystems und der Gesellschaft werden also schon in der frühen Phase der Entwicklung einbezogen. Insbesondere Fragen des residualen Risikos müssen sorgfältig und ausführlich mit Vertretern der Öffentlichkeit diskutiert werden. Wir folgen damit der Empfehlung des Wirtschaftsethikers Karl Homann, der bereits 2002 – damals angewandt auf Systeme mit einer automatischen Notbremse – die transparente Diskussion aller Betriebsrisiken mit geeigneten Stakeholdern der Gesellschaft vor Markteinführung entsprechender Seriensysteme gefordert hat (Homann, 2002).

Diese Forschung hätten wir ohne die Förderung der Daimler und Benz Stiftung, der wir auch an dieser Stelle herzlich danken, so nicht durchführen können. Wesentliche Beiträge in diesem Ansatz wurden von unseren amerikanischen Partnern in diesem Projekt formuliert. Hier nennen wir gerne Chris Gerdes und Sarah Thornton von der Stanford University, Jason Millar (früher Stanford, heute uOttawa) und Sophie Le Page (uOttawa). Stellvertretend für viele seien als Hauptakteure an der TU Braunschweig Susanne Ernst, Marcus Nolte, Andreas Reschka, Nayel Salem, Torben Stolte und Markus Maurer genannt.

## Quellen

Friedman, B. et al. (2013), *Value Sensitive Design and Information Systems*, In: Doorn, N., Schuurbijs, D., van de Poel, I. and Gorman, M.E. (Eds.), *Early Engagement and New Technologies: Opening Up the*

Laboratory, Philosophy of Engineering and Technology 16, Springer, Dordrecht, Niederlande, S. 55-95. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-7844-3\\_4](https://doi.org/10.1007/978-94-007-7844-3_4)

Graubohm, R., Schröder, T. and Maurer, M. (2020), *Value Sensitive Design in the Development of Driverless Vehicles: A Case Study on an Autonomous Family Vehicle*, In DS 102: Proceedings of the DESIGN 2020 16th International Design Conference

Homann (2002), *Wirtschaft und gesellschaftliche Akzeptanz: Fahrerassistenzsysteme auf dem Prüfstand*, Vortrag auf Workshop FAS 2002, Walting

Salem, Nayel Fabian (2021), *Design and Implementation of a Framework for Requirements Representation and Inferring Parameters for the Decision-Making Module at Runtime for an Autonomous Vehicle*, Masterthesis, TU Braunschweig, Institut für Regelungstechnik



# 5 Automatisiertes Fahren im Mischverkehr (AFiM)

*von Nayel Fabian Salem, Markus Steimle und Susanne Ernst*

Mit dem automatisierten Fahren im Straßenverkehr werden maschinell gesteuerte Systeme in den öffentlichen Raum eingeführt und interagieren dabei mit menschlichen Verkehrsteilnehmern. So teilen sich vor allem zu Fuß gehende Personen, Fahrradfahrende und Fahrzeuge die Straßen und Wege in städtischer Umgebung. Automatisierte Straßenfahrzeuge müssen sich in diesen Mischverkehr integrieren und in verschiedensten Szenarien relevante Randbedingungen berücksichtigen. Laut dem Bericht der Ethikkommission<sup>1</sup> ist die Technologie des automatisierten Fahrens unter anderem nur einzuführen, wenn die Schäden im Vergleich zu der aktuellen menschlichen Fahrleistung im Sinne einer positiven Risikobilanz verringert werden. Daraus lässt sich die Anforderung ableiten, dass die objektive und gefühlte Verkehrssicherheit auf einem gleichwertigen oder höheren Niveau als aktuell liegen muss. Allerdings ist die Frage, wie viel besser ein automatisiertes System im Vergleich zu menschlichen Fahrer\*innen sein muss, nicht geklärt. Gleichzeitig besteht der Anspruch, die Mobilität der Verkehrsteilnehmer\*innen unter dem Gesichtspunkt der Sicherheit nicht uneingeschränkt zu reduzieren.

Um diese Herausforderungen zu adressieren, arbeiteten Partner der TU Braunschweig und der Leibniz Universität Hannover in der Zeit von Oktober 2018 bis Juni 2021 am Forschungsvorhaben „Automatisiertes Fahren im Mischverkehr (AFiM)“. Das Ziel des Forschungsvorha-

---

<sup>1</sup>[https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/bericht-der-ethik-kommission.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/bericht-der-ethik-kommission.pdf?__blob=publicationFile), abgerufen am 07.10.2021

bens war die Untersuchung und Beschreibung des Zusammenhangs zwischen dem von Passagieren akzeptierten erlebten Risiko und der Leistungsfähigkeit von typischen innerstädtischen Verkehrsnetzen im Hinblick auf objektives Risiko und Effizienz. Dem Projekt lag die Hypothese zugrunde, dass die Leistungsfähigkeit des Verkehrssystems maßgeblich von dem Risiko abhängt, das jede\*r einzelne Akteur\*in im Straßenverkehr auf sich nimmt.

## Im Projekt untersuchte Forschungsfragen

Zur Untersuchung der Forschungshypothese wurden Simulationswerkzeuge auf verschiedenen Abstraktionsebenen und mit folgenden zugrundeliegenden Fragestellungen eingesetzt:

1. Welcher Zusammenhang besteht zwischen der subjektiven Risikobewertung von Passagieren und dem implementierten Verhalten eines automatisierten Fahrzeugs im Straßenverkehr?
2. Inwiefern lässt sich das zu implementierende Verhalten eines automatisierten Fahrzeugs durch objektive Risikometriken beeinflussen?
3. Wie hängen verschiedene Parametrierungen einer Fahrfunktion auf Basis subjektiver Risikokriterien und die Leistungsfähigkeit des Verkehrssystems zusammen?

Das Institut für Regelungstechnik stellte im Rahmen des Vorhabens die automatisierte Fahrfunktion aus dem Projekt Stadtpilot bereit, welche als eine Basis für die Untersuchungen in AFiM genutzt wurde. Die Fahrfunktion wurde zur Analyse subjektiver (Fragestellung 1) sowie objektiver (Fragestellung 2) Risikokriterien verwendet. Das von Probanden subjektiv empfundene Risiko wurde in einer Fahr Simulatorstudie

und in einer Vehicle-in-the-Loop (ViL) Probandenstudie untersucht. Das objektive Risiko wurde in einer Software-in-the-Loop Simulationsstudie untersucht. Die Fragestellung zum Zusammenhang zwischen der Leistungsfähigkeit des Verkehrssystems und dem Verhalten eines automatisierten Straßenfahrzeugs griff auf die Ergebnisse dieser zwei Studien zurück. So konnte mithilfe einer Simulation auf der Ebene des Verkehrsnetzes der Zusammenhang zwischen dem Verkehrsfluss und dem Verhalten des Fahrzeugs analysiert werden (Fragestellung 3).

## **Definition der zu untersuchenden Szenarien**

Zunächst wurden für die Untersuchungen Szenarien definiert. Dazu wurden basierend auf den Forschungsarbeiten am Institut für Regelungstechnik und am Institut für Ingenieur- und Verkehrspsychologie der TU Braunschweig zwei Szenarien abgeleitet. Das Szenario „gerade Hauptstraße“ wurde am Institut für Regelungstechnik konzeptionell in den Mittelpunkt verschiedener Diskussionen gestellt und war deshalb für die genauere Untersuchung im Projekt besonders interessant. Dieses Szenario ist in Abbildung 5.1 dargestellt, bei dem das automatisierte Fahrzeug parkende Fahrzeuge passiert, während ein anderer Verkehrsteilnehmer auf dem Nachbarfahrstreifen entgegenkommt. Zwischen zwei Fahrzeugen befindet sich eine verdeckte Person. Das Szenario „Einmündung“ wurde am Institut für Ingenieur- und Verkehrspsychologie untersucht und war deshalb für die genauere Untersuchung im Projekt ebenfalls besonders interessant. In diesem Szenario, welches in Abbildung 5.2 dargestellt ist, nähert sich das automatisierte Fahrzeug einer Einmündung mit einer querenden, fahrradfahrenden Person. Diese beiden Szenarien ermöglichten unterschiedliche Untersuchungen in Bezug auf Risikoakzeptanz unter Unsicherheit und in einsehbarem Umfeld.

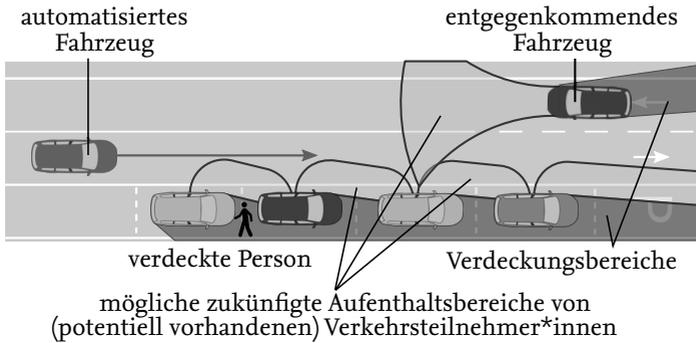


Abbildung 5.1: Erstes Szenario der Probandenstudie im ViL

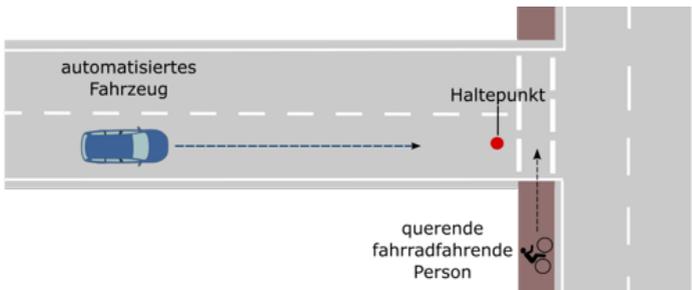


Abbildung 5.2: Zweites Szenario der Probandenstudie im ViL

## Einsatz des Vehicle-in-the-Loop-Fahrzeugs

Die oben genannten Szenarien wurden mit Probanden und dem Versuchsträger „Vehicle-in-the-Loop“ durchgeführt, um das subjektive Risiko aus der Sicht der Probanden mit dem objektiven Risiko zu vergleichen. Dadurch konnte ein programmiertes Verhalten von einem Probanden im ViL-Fahrzeug erlebt und bewertet werden kann. Das ViL-Fahrzeug bietet die Möglichkeit, auch Szenarien mit sehr geringen Abständen und hohen Geschwindigkeiten gefahrlos in einem echten Fahrzeug mit virtueller Umgebung durchzuführen.

Im ersten Szenario („gerade Hauptstraße“) hat der Proband verschiedene Auslegungen des Fahrzeugverhaltens erfahren, die durch unterschiedliche Geschwindigkeiten und Abstände zu den verdeckten Bereichen bzw. dem entgegenkommenden Fahrzeug variiert wurden. Die verschiedenen Auslegungen wurden am Ende jeweils von den Probanden bewertet.

Im zweiten Szenario („Einmündung“) hat der Proband über einen Knopf im Innenraum des ViL-Fahrzeugs den Verzögerungsvorgang eingeleitet, sodass das Fahrzeug an einem bestimmten Punkt zum Stehen gekommen ist. Dabei hat der Proband den Verzögerungsvorgang einmal bei einem für ihn komfortablen Zeitpunkt eingeleitet und einmal zum (subjektiv) letztmöglichen Zeitpunkt. Dadurch konnte untersucht werden, in welchem Zeitbereich ein Bremsvorgang für den Probanden angenehm bzw. gerade noch toleriert wird.

## **Herausforderungen bei der Risikoterminologie**

Eine wesentliche Herausforderung bei der Analyse des Zusammenhangs zwischen der Leistungsfähigkeit des Verkehrssystems und den mit dem automatisierten Fahren assoziierten Risiken war unter anderem die konsistente Verwendung des Risikobegriffs. Risiko wird im Allgemeinen als Komposition der Auftretenswahrscheinlichkeit eines Schadens und dessen Ausmaß verstanden. Offen ist hierbei die Verbindung zwischen einer Betrachtung auf Ebene des Verkehrssystems im Sinne einer positiven Risikobilanz und dem Verhalten eines automatisierten Fahrzeugs in einem spezifischen Szenario und der damit einhergehenden Parametrierung der Fahrfunktion. Diese explizite Verbindung ist notwendig, um eine transparente Kommunikation von Abwägungen zwischen Sicherheit und Mobilität im Entwicklungsprozess automatisierter Fahrfunktionen zu ermöglichen. Dieses Erkenntnis motiviert

zukünftige Forschungsaktivitäten am Institut für Regelungstechnik. Im Rahmen der Arbeiten eines geplanten Buchkapitels mit dem Titel „Risiko und Sicherheit“ werden die im Projekt AFiM aufgezeigten offenen Fragestellungen zu den Begriffen Risiko und Sicherheit analysiert, strukturiert und damit für zukünftige Forschung aufbereitet.

Wir bedanken uns an dieser Stelle für die Förderung durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) und bei unseren Partnern der TU Braunschweig sowie der Leibniz Universität Hannover für die erfolgreiche Zusammenarbeit.

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

*von Felix Grün*

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

Das Projekt baut hierbei auf den Erfahrungen aus dem Projekt „Digitaler Knoten 4.0“ auf, in welchem digitale Straßenkreuzungen als kooperative Gesamtsysteme aus Verkehrsinfrastruktur, vernetzten, automatisierten Fahrzeugen und nicht-vernetzten Verkehrsteilnehmer\*innen unter-

sucht wurden. Der Gedanke des Zusammenspiels von Infrastruktur und automatisierten Fahrzeugen wird aus dem Digitalen Knoten 4.0 in ViVre übernommen und dort weitergeführt. Insbesondere werden Konzepte für virtuelle Haltestellen erarbeitet, im realen Straßenverkehr sowie in der Simulation umgesetzt und evaluiert.

Das Institut für Regelungstechnik bringt sich in das Projekt mit seiner Expertise im Betrieb von Versuchsträgern und der Entwicklung von Wahrnehmungsalgorithmen und Fahrfunktionen für das automatisierte Fahren ein. Nach der Definition der Use Cases und der Ableitung der damit verbundenen Anforderungen im letzten Jahr fokussierten sich die Arbeiten unseres Instituts dieses Jahr 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 genutzt werden können. Unser Ziel ist hierbei die strukturierte Analyse existierender Datensätze im Hinblick auf Anforderungen, welche zuvor in einem klar gegliederten Prozess nachvollziehbar abgeleitet wurden. Es ist unsere Hoffnung, dass dies begründete Entscheidungen für oder gegen einen bestimmten Datensatz ermöglicht, die Nachverfolgbarkeit im Entwicklungsprozess erhöht und langfristig ein wichtiger Baustein in der Sicherheitsargumentation des Gesamtsystems werden kann.

Nachdem vorläufige Ergebnisse gezeigt hatten, dass keiner der verfügbaren Datensätze unseren Anforderungen entsprach, lag der zweite Forschungsschwerpunkt auf der Entwicklung von Methoden und Werkzeugen zur semi-automatisierten Erstellung eines eigenen Datensatzes. Da die manuelle Annotation von Sensordaten einen zeitlichen und personellen Aufwand erfordert, der die Kapazitäten unseres Instituts bei Weitem übersteigt, ist es unser Ziel, Algorithmen und Programme

zu entwickeln, welche dem menschlichen Annotierer einen großen Teil dieser Arbeit abnehmen.

Beide Forschungsschwerpunkte werden uns auch im nächsten Jahr weiter beschäftigen und wir hoffen, bald erste Antworten geben zu können auf die wichtigen Fragen: Wie können wir ableiten, welche Daten wir für das hoch-automatisierte Fahren benötigen? Und wie lassen sich diese Daten hoch-effizient erstellen?

Das Projekt ViVre wird durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) mit 6,43 Millionen Euro über eine Laufzeit von 2,5 Jahren gefördert. Das Konsortium mit 7 Partnern aus Industrie und Wissenschaft nahm seine Arbeit im Januar 2020 auf.



# 7 UNICARagil

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

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

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

- *autoTAXI*: Automatisiertes Taxi
- *autoELF*: Automatisiertes Fahrzeug im Besitz einer Familie, das generationsübergreifenden Anforderungen gerecht wird
- *autoCARGO*: Lieferfahrzeug inklusive der notwendigen Handhabungstechnik, das automatisiert Pakete ausliefert



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

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

Nachdem in den ersten beiden Projektjahren die konzeptionelle Ausrichtung des Fahrzeugs definiert und Entwürfe für die Gestaltung des Innenraums entwickelt wurden, konnten im Jahr 2021 viele der fahrzeugspezifischen Bauteile konstruiert und Innenraummaterialien ausgewählt werden. Gleichzeitig wurden bereits erste Innenraumkomponenten beschafft und die Vergabe wichtiger Gewerke eingeleitet.

Da das eigentliche Fahrzeug erst in einer späteren Projektphase für die Integration der anwendungsfallspezifischen Komponenten nach Braunschweig kommt, wurde im Vorjahr 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 können. In diesem Jahr wurde die Sitzkiste unter anderem dazu genutzt, die im Innenraum des Fahrzeugs geplanten Bedienelemente und deren Anordnung zu evaluieren.



Abbildung 7.2: Erprobung von Bedienelementen mithilfe der im Vorjahr erstellten Sitzkiste

Die endgültige Fertigstellung der Prototypen wird für das Jahr 2023 angestrebt. Währenddessen werden bereits einzelne Funktionen erprobt. Spätestens bis zum Ende des Projektes soll die *autoELF* zusammen mit den drei anderen UNICARagil-Fahrzeugen der Öffentlichkeit präsentiert werden und einen Ausblick auf den Individual- und Lieferverkehr der Zukunft geben.

Bereits nach dem ersten Projektjahr wurde deutlich, dass eine sichere, manuelle Fahrzeugführung mit den im Projekt geplanten Innenräumen nicht möglich ist. Daher wurde beschlossen, einen zusätzlichen Erprobungsfahrerarbeitsplatz zu entwickeln, der für die Entwicklung der automatisierten Fahrfunktion der Fahrzeuge in den Innenräumen installiert werden kann. Auf diese Weise blieben die großen Gestaltungsfreiheiten, die sich aus dem Wegfall der Anforderungen an einen Fahrerarbeitsplatz ergeben, erhalten. Die in Abbildung 7.3 gezeigte Kon-

struktions bietet zwei vollwertige Fahrzeugsitze, Rückhaltesysteme, Sichtfelderweiterungen und ergonomisch angeordnete Bedienelemente für die manuelle Fahrzeugführung. Die Koordination der Entwicklung und ergonomische Auslegung des Erprobungsfahrer Arbeitsplatzes erfolgte durch die TU München, die Realisierung der Sichtfelderweiterungen durch das KIT, die simulative Absicherung durch die RWTH Aachen und Konstruktion durch das IfR der TU Braunschweig. Im Jahr 2021 wurden die Entwicklungstätigkeiten abgeschlossen, sodass die Fertigung der Erprobungsfahrer Arbeitsplätze in den Werkstätten verschiedener Projektpartner erfolgen konnte.

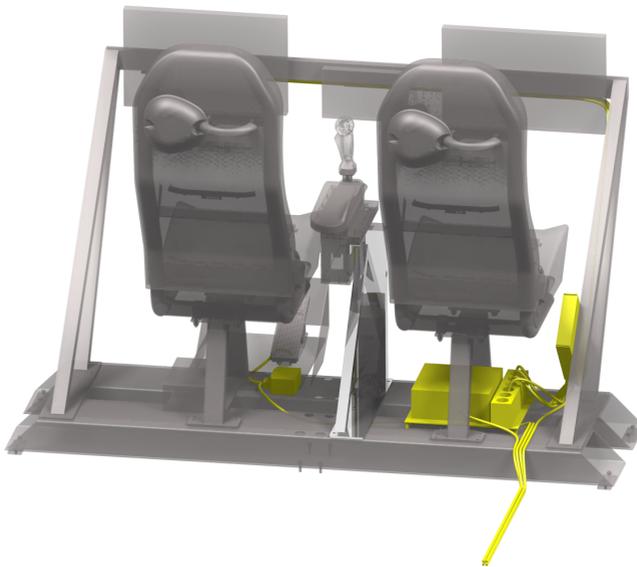


Abbildung 7.3: Erprobungsfahrer Arbeitsplatz für die manuelle Fahrzeugführung

Im zweiten Bereich, der *Sicherheit* der Fahrzeuge, liegt der Schwerpunkt auf der Entwicklung eines Sicherheitskonzepts für die automatisierte Fahrfunktion. Die Betrachtungen gehen aufbauend auf den Erfahrungen aus dem Projekt aFAS über den Fokus der „Funktionalen Sicherheit“ der ISO 26262 hinaus. Zentrale Herausforderungen liegen in den inhärenten Unsicherheiten des automatisierten Fahrens, die aus der Umfeldwahrnehmung, der Prädiktion des Verhaltens anderer Verkehrsteilnehmer\*innen, unvollständigen Anforderungen sowie einer begrenzten Testtiefe stammen. Einen wesentlichen Beitrag zum geplanten Sicherheitskonzept liefert die Selbstwahrnehmung, in der über eine Aggregation von Qualitätsmaßen der einzelnen Systemkomponenten die aktuellen Fähigkeiten des Fahrzeugs ermittelt werden sollen. Diese kann anschließend von anderen Systemkomponenten genutzt werden, um das Fahrzeugverhalten an die aktuellen Fähigkeiten des Fahrzeugs anzupassen.

Für das Sicherheitskonzept werden, ausgehend von einem Pflichten- und Lastenheft und einer Item Definition, ausgewählte repräsentative Szenarien betrachtet. Die Item Definition wurde in Anlehnung an die ISO 26262 erstellt und wird kontinuierlich im Projektverlauf weiterentwickelt. Für die Szenarien wird in einem ersten Schritt das Sollverhalten definiert, das als sicheres Verhalten angenommen werden kann. Anschließend wird in den jeweiligen Szenarien mögliches unsicheres Verhalten betrachtet. Dieses kann zum einen hinsichtlich des davon ausgehenden Risikos bewertet werden und zum anderen können Ursachen für das Verhalten im System identifiziert werden. Mit Hilfe dieser identifizierten Ursachen wird anschließend das Sicherheitskonzept entwickelt. Komplementär dazu erfolgt bei den Projektpartnern die Entwicklung von technischen Sicherheitskonzepten auf Komponentenebene, sodass in einem weiteren Schritt der Abgleich zwischen den Top-down- und Bottom-up-Analysen erfolgen kann, um die Konzepte

zu verfeinern. Darüber hinaus vervollständigen Analysen zur Interaktion zwischen Mensch und Fahrzeug, zur passiven Sicherheit sowie zur IT-Security die ganzheitliche Sicherheitsbetrachtung in UNICAR*agil*.

Neben der Weiterführung der Arbeiten zur Generierung eines zusammenhängenden Systemverständnisses lag im aktuellen Berichtszeitraum ein weiterer Fokus der Sicherheitsaktivitäten auf der Entwicklung einer partnerübergreifenden Sicherheitsargumentation. Ziel dieser Aktivitäten ist, einen Rahmen für die Dokumentation der Sicherheitsaktivitäten zu schaffen, die an fast allen Standorten des Projektkonsortiums – mit jedoch ganz unterschiedlichen Schwerpunkten – durchgeführt werden. Neben der wissenschaftlichen Betrachtung zielen diese Aktivitäten darauf ab, einen sicheren Versuchsbetrieb mit den UNICAR*agil*-Fahrzeugen sowie vor allem eine sichere Abschlussdemonstration zu ermöglichen. Zentral ist dabei auch die Diskussion der Anforderungen an ein Freigabedokument, z. B. wie Unsicherheiten im Freigabedokument transparent dargestellt werden können. Der Rahmen für die Freigabedokumente wurde im aktuellen Berichtszeitraum erstellt und mit den Projektpartnern intensiv diskutiert. Die Dokumentation erfolgt fahrzeugspezifisch für jede Integrationsstufe mit dem Ziel, eine sichere standortübergreifende Erprobung zu ermöglichen.

Im Rahmen der Selbstwahrnehmung wurde im aktuellen Berichtszeitraum die Weiterentwicklung des Betriebsmodusmanagements vorangetrieben. Hierbei handelt es sich um eine zentrale Entscheidungsinstanz im Fahrzeug, welche einen Wechsel zwischen den verschiedenen Betriebsmodi des Fahrzeugs ermöglicht. Diese wird in Zusammenarbeit mit Kollegen der RWTH Aachen und der Universität Ulm umgesetzt. Im Rahmen der Softwareintegration wurde hier bereits eine erste Version in die Fahrzeuge integriert. Es wurde weiter eine Formalisierung des im Projekt eingesetzten Modellierungsprozesses Fahrzeugfähigkeiten,

die zur Erfüllung der automatisierten Fahraufgabe nötig sind, erarbeitet. Dieser Ansatz wurde auf dem Intelligent Vehicles Symposium 2021 veröffentlicht. Zudem wurde mit der Implementierung des Dienstes zur Überwachung der Fahrzeugfähigkeiten begonnen sowie ein erster Prototyp für die routenbasierte Überwachung der Energieversorgung der Fahrzeuge umgesetzt.

Insgesamt empfinden wir die Zusammenarbeit im Projekt als sehr eng, vertrauensvoll und konstruktiv. Aufgrund der Corona-Pandemie konnten in diesem Jahr die meisten Treffen nicht persönlich stattfinden und wurden so gut wie möglich durch digitale Treffen ersetzt. Der Wegfall persönlicher Treffen erschwerte jedoch besonders die spontanen Absprachen und kurzen klärenden Gespräche zwischen den Projektpartnern, welche sonst auf den Konsortialtreffen stattfinden.

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

# 8 SET Level

*von Markus Steimle und Till Menzel*

Im Forschungsprojekt *SET Level*<sup>1</sup> (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. Deshalb rückt zunehmend das Thema der Absicherung automatisierter Fahrzeuge in den Fokus der Forschung und Entwicklung. So stand zum Beispiel im Forschungsprojekt PEGASUS<sup>2</sup>, das im Jahr 2019 abgeschlossen wurde, das Testen hochautomatisierter Fahrzeugfunktionen am Anwendungsfall eines Autobahn-Chauffeurs (SAE Level 3) im Mittelpunkt. Für die Entwicklung und das Testen automatisierter Fahrzeuge sollen zukünftig insbesondere simulationsbasierte Methoden und Werkzeuge einen wertvollen Beitrag liefern.

Das Forschungsprojekt *SET Level* setzt genau an diesem Punkt an. *SET Level* konzentriert sich auf simulationsbasierte Methoden und Werkzeuge, die während der Entwicklung und dem Testen automatisierter

---

<sup>1</sup><https://setlevel.de/>, abgerufen am 14.09.2021.

<sup>2</sup><https://www.pegasusprojekt.de/de/>, abgerufen am 14.09.2021.

Fahrzeuge eingesetzt werden können. Als zentraler Anwendungsfall wird das automatisierte Fahren (SAE Level 4 und 5) in urbanen Räumen betrachtet. Es werden numerische Simulationenmethoden 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 Energie (BMWi) mit 16,5 Millionen Euro über eine Laufzeit von dreieinhalb Jahren gefördert.

SET Level knüpft unmittelbar an die im Projekt PEGASUS generierten Ergebnisse an. SET Level ist eng mit dem Projekt VVMethoden<sup>3</sup> verzahnt, bei dem Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik ebenfalls beteiligt sind (siehe Kapitel 9). In VVMethoden werden eine Systematik sowie Methoden für den praxistauglichen Sicherheitsnachweis für vollautomatisierte und fahrerlose Fahrzeuge im urbanen Umfeld entwickelt. Beide Projekte gehören als Nachfolgeprojekte von PEGASUS zur „PEGASUS Projektfamilie“. Ziel der „PEGASUS Projektfamilie“ ist es, einen Gesamtansatz zur Verifikation und Validierung automatisierter Systeme zu entwickeln und zu industrialisieren.

Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik bearbeiten in SET Level Aufgaben mit unterschiedlichen Schwerpunkten. Die in den Projekten PEGASUS und aFAS<sup>4</sup> entwickelten Methoden und Werkzeuge zur Sze-

---

<sup>3</sup><https://www.vvm-projekt.de/>, abgerufen am 14.09.2021.

<sup>4</sup><https://ieeexplore.ieee.org/document/7313207>, abgerufen am 14.09.2021.

nariengenerierung und Anforderungserhebung an Simulationsmodelle werden in SET Level weiterverfolgt. Zusätzlich 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. Ein weiterer Beitrag des Instituts für Regelungstechnik ist eine Leistungsbeschreibung der Simulationsumgebung und ihrer Komponenten. Dadurch wird die Grundlage für eine effektive und effiziente Zusammenstellung und Kopplung von Simulationsmodellen für die Durchführung der Simulationsläufe geschaffen.

Im Berichtszeitraum lagen Schwerpunkte des Instituts für Regelungstechnik auf einer abstrakten Szenariobeschreibungssprache und auf der Definition von Referenzszenarien. Hierzu hat ein Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik eine initiale Version einer Ontologie zur Beschreibung funktionaler Szenarien erarbeitet. Die Ontologie baut auf Vorarbeiten am Institut, beispielsweise der Strukturierung über das 5-Ebenen-Modell<sup>5</sup>, auf und wurde um zusätzliche Sprachkonzepte im Hinblick auf den urbanen Anwendungsfall erweitert. Der Fokus der Ontologie liegt dabei zunächst auf der Beschreibung der Straßeninfrastruktur. Neben verschiedenen Szenenobjekten, wie Fahrstreifen, Fußgängerüberwegen oder Verkehrszeichen, enthält die Ontologie auch geometrische Entitäten, wie verschiedene Modelle zur Beschreibung der Fahrstreifenbreite (linear, konstant, kubisch) und funktionale Entitäten (beispielsweise zur Beschreibung der Fahrtrichtung). Diese Domänenontologie ermöglicht die formale Beschreibung einfacher Kreuzungstopologien auf Ebene der funktionalen Szenarien und stellt somit die Basis für eine eindeutige und automatisiert weiterverarbeitbare Szena-

---

<sup>5</sup><https://arxiv.org/abs/1704.01006>, abgerufen am 07.10.2021.

rienrepräsentation dar. Um die Anwendbarkeit der Sprachkonzepte zu prüfen, wurden auf Grundlage der entwickelten Ontologie zwei Kreuzungen auf dem Braunschweiger Stadtring prototypisch modelliert.

Weiterhin hat ein Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik im Berichtszeitraum eine Veröffentlichung zum Thema Terminologie und Taxonomie für szenarienbasierte Entwicklungs- und Testansätze geschrieben. Diese Veröffentlichung wurde auf arXiv vorveröffentlicht<sup>6</sup> und bei IEEE Access zur Veröffentlichung angenommen. In dieser Veröffentlichung leisten wir einen Beitrag zu einer konsistenten und abgestimmten Taxonomie für szenarienbasierte Entwicklungs- und Testansätze für automatisierte Fahrzeuge. Wir entwickeln einen Rahmen für die Strukturierung der Taxonomie. Innerhalb dieses Rahmens schlagen wir ein Basisvokabular vor, indem wir Begriffe identifizieren und beschreiben, die wir für einen Überblick über solche szenarienbasierten Entwicklungs- und Testansätze für besonders relevant halten. Zusätzlich visualisieren wir diese Begriffe und die Beziehungen zwischen ihnen mit UML-Diagrammen und erläutern die Anwendung des vorgestellten Basisvokabulars mit einem Beispiel.

Außerdem hat der Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik im Berichtszeitraum an einer Veröffentlichung zum Thema Taxonomie für Qualität in simulationsbasiertem Entwickeln und Testen von automatisierten Fahrsystemen mitgewirkt. Auch diese Veröffentlichungen wurden auf arXiv vorveröffentlicht<sup>7</sup> und bei IEEE Access zur Begutachtung eingereicht. Eine Rückmeldung zu dieser Veröffentlichung ist noch ausstehend. In dieser Veröffentlichung schlagen wir eine Taxonomie für eine systematische Klassifizierung der Qualität im Kontext einer Simulation im Entwicklungs- und Testprozess vor. Dazu geben wir eine

---

<sup>6</sup><https://arxiv.org/abs/2104.09097>, abgerufen am 14.10.2021.

<sup>7</sup><https://arxiv.org/abs/2102.06588>, abgerufen am 14.10.2021.

Definition zu relevanten qualitätsbezogenen Begriffen, um Mehrdeutigkeiten zu vermeiden. Wir unterteilen die Simulationsqualität in drei Hauptkategorien, die während des szenarienbasierten Testens in der Simulation auftreten können: die Qualität des Simulationsmodells oder -werkzeugs, die Qualität eines Fahrzeugs oder seiner Komponenten und die Qualität der zu testenden Szenarien. Zusätzlich schlagen wir 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.



# 9 VVMethoden

*von Till Menzel, Robert Graubohm, Felix Grün, Marcus Nolte, Nayel F. Salem*

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

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

VVMethoden setzt auf den Ergebnissen aus dem Projekt PEGASUS<sup>1</sup> auf. In PEGASUS wurde ein Ansatz zur szenarienbasierten Absicherung von SAE Level 3 Fahrfunktionen mit Fokus auf dem Anwendungsfall Autobahn entwickelt. Das Projekt VVMethoden erweitert die PEGASUS-

---

<sup>1</sup><https://www.pegasusprojekt.de/de/>, abgerufen am 16.09.2021.

Ergebnisse auf SAE Level 4 und 5 Fahrfunktionen unter Berücksichtigung des Anwendungsfalls urbane Kreuzung. Des Weiteren werden in VVMethoden der Entwicklungsprozess und die Sicherheitsnachweise der Fahrfunktionen integriert betrachtet. Dies folgt dem Entwurfsprinzip „Design für Testbarkeit“ und ermöglicht es, Teilsysteme und Komponenten bereits vor der Gesamtsystemintegration zu qualifizieren. Zeitgleich wird auf diese Weise ein früher Austausch von Testfällen und Testergebnissen zwischen OEMs und Zulieferern ermöglicht.

Ein weiteres Nachfolgeprojekt von PEGASUS, an dem Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik beteiligt sind, ist das Projekt SET Level (siehe Kapitel 8). Der Fokus von SET Level liegt dabei auf der Entwicklung einer Simulationsplattform, die auch in VVMethoden eingesetzt wird. Sowohl SET Level als auch VVMethoden gehören zur „PEGASUS Projektfamilie“ und pflegen einen intensiven Austausch miteinander. Ziel der „PEGASUS Projektfamilie“ ist es, einen Gesamtansatz zur Verifikation und Validierung automatisierter Systeme zu entwickeln und zu industrialisieren.

In VVMethoden haben Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik Aufgaben mit unterschiedlichen Schwerpunkten übernommen. Zunächst bringen die Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik die Erfahrungen aus den Projekten aFAS<sup>2</sup> und UNICARagil<sup>3</sup> ein und erarbeiten eine strukturierte Beschreibung des betrachteten Entwicklungsgegenstandes (engl. *Item Definition*).

Aufbauend auf einer vorab erarbeiteten Struktur wurden die Inhalte dieser Beschreibung des Entwicklungsgegenstands im Berichtszeitraum unter den Projektpartnern abgestimmt und in einer ersten belastbaren Version des Dokuments zusammengeführt. Dabei ist zu beachten, dass

---

<sup>2</sup><https://ieeexplore.ieee.org/document/7313207>, abgerufen am 16.09.2021.

<sup>3</sup><https://www.unicaragil.de/de/>, abgerufen am 16.09.2021.

die Beschreibung ein lebendiges Dokument darstellt, das laufend an neue Entwicklungen und Entscheidungen im Projekt angepasst wird. Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik koordinieren diese fort-dauernden inhaltlichen Arbeiten im Projekt.

Auf Basis der Konkretisierung des Entwicklungsgegenstands unterstützen Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik die Ableitung eines Sicherheitskonzepts für den Entwicklungsgegenstand und die Definition einer funktionalen Systemarchitektur. Im Rahmen der Grundlagenarbeit haben sich Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik an der Erarbeitung eines Formalismus zur Beschreibung des zu implementierenden Verhaltens eines Fahrzeugs im Straßenverkehr beteiligt. Der Formalismus des Phänomen-Signal-Modells<sup>4</sup> stellt eine wesentliche Grundlage für die weitere Analyse von Gefährdungen und damit der Argumentation sicheren und regelkonformen Verhaltens dar. Zusätzlich wurden Arbeiten zur Analyse des geltenden Rechts im Straßenverkehr begleitet und eine Methode zur durchgängigen Formalisierung von Anforderungen an das Verhalten eines automatisierten Fahrzeugs im Straßenverkehr erarbeitet. In einer ersten beispielhaften Untersuchung wurde ein ausgewählter Paragraph der Straßenverkehrsordnung in einem Anwendungsfall analysiert und die Methode prototypisch hinsichtlich ihrer Umsetzbarkeit untersucht. Um in zukünftigen Beiträgen insbesondere den Einfluss ethischer Aspekte auf die Spezifikation von Verhalten analysieren zu können, ist die Methode agnostisch zum Typ der Anforderungsquelle gestaltet.

Darüber hinaus haben sich Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik bei der Erarbeitung einer manöverbasierten Methode zur Gefährdungsidentifikation eingebracht. Auf Basis dieser Arbeiten konnten so erste beispielhafte Sicherheitsziele qualitativ abgeleitet werden.

---

<sup>4</sup><https://arxiv.org/pdf/2108.00252.pdf>

Für die Entwicklung der funktionalen Architektur haben Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik Diskussionen mit einem Fokus auf geeignete Beschreibungsweisen für die Architektur mit den beteiligten Projektpartnern weiter vorangetrieben. Die bisher erarbeiteten Konzepte wurden im Projektkontext iteriert und konkretisiert. Als ein wichtiges Element der Architekturbetrachtungen hat sich aus diesen Iterationen ein zunächst als „Wissensspeicher“ bezeichnetes Konzept herausgestellt, welches beispielsweise sowohl die Repräsentation von Entwicklerwissen, aber auch die Repräsentation von Kontextwissen des Fahrzeugs in konkreten Verkehrsszenarien umfasst. Damit dient es auch als zentrales Konzept zur Ableitung von Monitoren zur Systemlaufzeit (Selbstrepräsentation).

Im Rahmen der Erarbeitung einer durchgängigen Sicherheitsargumentation haben Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik mit den beteiligten Projektpartnern Ideen für eine Argumentationsstruktur diskutiert. In diesem Rahmen haben Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik ihre Erfahrungen aus den Projekten aFAS, PEGASUS und dem Stadtpiloten eingebracht. Weiterhin haben sich Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik im Berichtszeitraum an den Diskussionen zu einer Sicherheitsargumentation mit der Goal Structuring Notation (GSN) beteiligt. Als Ergebnis dieser Diskussionen konnten erste Entwürfe einer Argumentationsstruktur erarbeitet werden.

Weiterführend bringt das Institut für Regelungstechnik seinen Referenzsensorikprüfstand in das Projekt ein und erhebt und labelt Daten im Braunschweiger Stadtgebiet.

Ein weiterer Schwerpunkt des Instituts für Regelungstechnik im Projekt VVMethoden liegt auf der Erstellung und Parametrierung von Szenarien im Rahmen eines integrierten Entwicklungs- und Testprozesses. Hierzu haben Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik die kon-

zeptionellen Arbeiten vertieft. Im Hinblick auf eine strukturierte und nachverfolgbare Generierung von Szenarien werden unterschiedlich abstrakte Beschreibungsformen benötigt: funktionale Szenarien, logische Szenarien und konkrete Szenarien. Funktionale Szenarien stellen dabei eine sprachliche Beschreibung dar. Logische Szenarien definieren die Szenarieninhalte mithilfe eines Parameterraumes inklusive möglicher Wertebereiche. Konkrete Szenarien ordnen jedem Parameter einen eindeutigen Wert zu. Im Rahmen der Szenariendetaillierung untersucht ein Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik die automatisierte Überführung von funktionalen zu logischen Szenarien. Der Kerngedanke des Ansatzes besteht darin, Annahmen, die für die Szenariendetaillierung getroffen werden wie Anforderungen an den Ablauf der Szenarien, Abhängigkeiten aus den Datenformaten oder Randbedingungen aus Normen & Richtlinien, zu formalisieren und automatisiert auf die funktionalen Szenarien anzuwenden. Der Fokus der Arbeiten des Instituts für Regelungstechnik liegt dabei zunächst auf der Beschreibung der Straßengeometrie und -topologie.



# 10 Workshops „Ensuring and Validating Safety for Automated Vehicles“

*von Torben Stolte*

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 erfolgreichen Workshops auf der ITSC 2018 (Maui, HI, USA) und der IV 2019 (Paris, Frankreich), fallen in den aktuellen Berichtszeitraum die beiden Fortsetzungen der Serie, die im Rahmen der IV 2020 (Las Vegas, NV, USA) und der IV 2021 (Nagoya, Japan) aufgrund der pandemischen Lage virtuell durchgeführt wurden. Für beide Work-

shops haben wir einen Mix unterschiedlicher Formate gewählt. Forscherinnen und Forscher konnten ihre Beiträge als Workshop-Papiere einreichen, die im Workshop vorgetragen und mit dem Plenum diskutiert werden konnten. Diese Beiträge durchliefen im Vorwege den regulären Review-Prozess der Konferenz und wurden, sofern angenommen, im Konferenzband veröffentlicht. Ein weiteres Format waren Gastbeiträge, die ebenfalls aktuelle Forschungsergebnisse präsentierten, die jedoch nicht den Reviewprozess durchliefen. Zudem haben sich als drittes Format zusammenfassende Panel Discussions bewährt.

Die Workshop-Serie erfreut sich steigender Resonanz, die sich in zahlreichen Paper-Einreichungen und dem großen Unterstützerkreis widerspiegelt. Unterstützt wird der Workshop von vielen Partnern aus Wissenschaft und Industrie, denen an dieser Stelle herzlich gedankt sei:

- 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),
- Jeffrey Kane Johnson (Mapless AI, USA),
- 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),
- Jack Weast (Intel, USA),
- Hermann Winner (TU Darmstadt) und
- Markus Maurer.

Zur IV 2020 wurden 18 Workshop-Papiere eingereicht, von denen zehn Papiere das Review-Verfahren mit einem positiven Votum durchlaufen haben. Aufgrund der zahlreichen angenommenen Paper wurde der Workshop zweitägig organisiert. Ein weiterer Grund für die Aufteilung war die Zeitverschiebung zwischen den Standorten der Vortragenden, die aus Amerika, Europa und Asien stammten.

Der Workshop auf der IV 2021 war im Gegensatz zu dem der IV 2020 eintägig. Von allen Workshops der IV stellte unser Workshop mit 16 eingereichten Papieren den größten Anteil. Von diesen wurden fünf zur Präsentation im Review-Verfahren angenommen. Die im Vergleich zur IV 2020 geringere Anzahl an angenommenen Workshop-Papieren ermöglichte, den Workshop durch mehrere Gastbeiträge noch abwechslungsreicher zu gestalten, siehe Tabelle 10.2. Hervorzuheben ist auch die spannende virtuelle Podiumsdiskussion nach dem Impulsvortrag von Marcus Nolte. Für das Podium konnten renommierte Wissenschaftler aus Industrie und Wissenschaft gewonnen werden: Martin Törngren (KTH, Schweden), Jack Weast (Intel, USA) und Krzysztof Czarnecki (University of Waterloo, Kanada).

Aufgrund der positiven Rückmeldungen laufen derzeit die Planungen für den 5. Workshop „Ensuring and Validating Safety for Automated Vehicles“ für die IV 2022 in Aachen.

<b>Titel</b>	<b>Vortragende, Autorinnen &amp; Autoren</b>
Opening Remarks	<i>Torben Stolte</i>
A Generic Simulation Platform for Cooperative Adaptive Cruise Control under Partially Connected and Automated Environment <sup>1</sup>	<i>Jintao Lai, Jia Hu, Zheng Chen, Lian Cui, Xiaoguang Yang</i>
Application of Evolutionary Algorithms and Criticality Metrics for the Verification and Validation of Automated Driving Systems at Urban Intersections <sup>1</sup>	<i>Andreas Bussler, Lukas Hartjen, Robin Philipp, Fabian Schuldt</i>
A Validation Methodology for the Minimization of Unknown Unknowns in Autonomous Vehicle Systems <sup>1</sup>	<i>Mohammad Hejase, Mathieu Barbier, Umit Ozguner, Javier Ibanez-Guzman, Tankut Acarman</i>
Safety of the Intended Driving Behavior Using Rulebooks <sup>1</sup>	<i>Anne Collins</i>
Lane Level Context and Hidden Space Characterization for Autonomous Driving <sup>1</sup>	<i>Corentin Sanchez, Philippe Xu, Alexandre Armand, Philippe Bonnifait</i>
Fundamental Considerations around Scenario-Based Testing for Automated Driving <sup>1</sup>	<i>Christian Neurohr, Lukas Westhofen, Tabea Henning, Thies de Graaff, Eike Möhlmann, Eckard Böde</i>
Identification of Hazards in Urban Driving Situations Using Accident Categorizations <sup>1</sup>	<i>Sabine Krause, Fritz Busch</i>
A Modular Architecture for Procedural Generation of Towns, Intersections and Scenarios for Testing Autonomous Vehicles <sup>1</sup>	<i>Ishaan Paranjape, Abdul Jawad, Yanwen Xu, Asiiyah Song, Jim Whitehead</i>
Sense-Assess-eXplain (SAX): Building Trust in Autonomous Vehicles in Challenging Real-World Driving Scenarios <sup>1</sup>	<i>Matthew Gadd, Daniele De Martini, Letizia Marchegiani, Paul Newman, Lars Kunze</i>
The Virtues of Automated Vehicle Safety – Mapping Vehicle Safety Approaches to Their Underlying Ethical Frameworks <sup>1</sup>	<i>J. Christian Gerdes</i>
Final Discussion	<i>Torben Stolte</i>

<sup>1</sup> Im regulären Reviewprozess angenommenes Workshop-Papier

Tabelle 10.1: 3. Workshop „Ensuring and Validating Safety for Automated Vehicles“, Intelligent Vehicles Symposium 2020, Las Vegas, NV, USA.

<b>Titel</b>	<b>Vortragende, Autorinnen &amp; Autoren</b>
Opening Remarks	<i>Torben Stolte</i>
Parameter-Based Testing and Debugging of Autonomous Driving Systems <sup>1</sup>	<i>Paolo Arcaini, Alessandro Calò, Fuyuki Ishikawa, Thomas Laurent, Xiao-Yi Zhang, Shaukat Ali, Florian Hauer, Anthony Ventresque</i>
Constrained Sampling from a Kernel Density Estimator to Generate Scenarios for the Assessment of Automated Vehicles <sup>1</sup>	<i>Erwin de Gelder, Eric Cator, Jan-Pieter Paardekooper, Olaf Op den Camp, Bart De Schutter</i>
Overview on ADS regulation around the world: path to public road deployment <sup>2</sup>	<i>Jack Weast (Intel)</i>
Advances in Adaptive Stress Testing for AV Safety Assessment <sup>2</sup>	<i>Anthony Corso (Stanford Intelligent Systems Laboratory, SISL)</i>
Spatial Sampling and Integrity in Lane Grid Maps <sup>1</sup>	<i>Corentin Sanchez, Philippe Xu, Alexandre Armand, Philippe Bonnifait</i>
Validation of Simulation-Based Testing: Bypassing Domain Shift with Label-to-Image Synthesis <sup>1</sup>	<i>Julia Rosenzweig, Eduardo Brito, Hans-Ulrich Kobialka, Maram Akila, Nico M. Schmidt, Peter Schlicht, Jan David Schneider, Fabian Hüger, Matthias Rottmann, Sebastian Houben, Tim Wirtz</i>
Fundamental Design Criteria for Logical Scenarios in Simulation-Based Safety Validation of Automated Driving Using Sensor Model Knowledge <sup>1</sup>	<i>Lukas Elster, Clemens Linnhoff, Philipp Rosenberger, Simon Schmidt, Rainer Stark, Hermann Winner</i>
Toward a Comprehensive Assurance Argument for the Release of Automated Vehicles – Challenges, Insights, and First Results from the PEGASUS Family Project “VVMETHODS” <sup>2</sup>	<i>Marcus Nolte (IfR)</i>
Panel Discussion	<i>Markus Maurer</i>

<sup>1</sup> Im regulären Reviewprozess angenommenes Workshop-Papier, <sup>2</sup> Gastbeitrag

Tabelle 10.2: 4. Workshop „Ensuring and Validating Safety for Automated Vehicles“, Intelligent Vehicles Symposium 2021, Nagoya, Japan.



# 11 Forschungspartnerschaft mit CRAiEDL (uOttawa)

*von Nayel Fabian Salem und Marcus Nolte*

Viele der Fragen, die auch über diesen Jahresbericht verteilt unsere Forschung zur Sicherheit und zu den Risiken des automatisierten Fahrens begleiten, haben ihren Ursprung im Projekt „Wertebasierte Verhaltensentscheidung“ (Kapitel 4). Erste Fragen zu ethischen Aspekten des automatisierten Fahrens in diesem Kontext wurden dabei 2016 in zwei parallellaufenden Projekten in Braunschweig und an der Stanford University mit dem Dynamic Design Lab (DDL) um Chris Gerdes, bzw. der California Polytechnic University, San Luis Obispo mit Patrick Lin bearbeitet. Wesentliche Beiträge wurden am DDL durch Jason Millar geleistet. Jason ist inzwischen Associate Professor an der University of Ottawa. Er treibt im Rahmen seiner Arbeitsgruppe mit dem Namen CRAiEDL (Canadian Robotics and AI Ethical Design Lab) die Forschung im Bereich interdisziplinärer Arbeit zwischen EthikerInnen und IngenieurInnen. Er und seine MitarbeiterInnen adressieren Themen wie unter anderem die Regulierung künstlicher Intelligenz im öffentlichen Sektor, Medizintechnik und ihre ethischen Implikationen aber auch ethische Entwurfsprozesse für automatisierte Fahrzeuge.

Im vergangenen Berichtszeitraum habe ich, Nayel Salem, unter deutsch-kanadischer Betreuung meine Masterarbeit mit dem Thema „Design and Implementation of a Framework for Requirements Representation and Inferring Parameters for the Decision-Making Module at Runtime for an Autonomous Vehicle“ verfasst. Im Rahmen des Austausches

wurden gemeinsame Themen für zukünftige Forschungsaktivitäten zwischen dem Institut für Regelungstechnik und CRAiEDL identifiziert. Am 29. Juli 2021 wurde die Kollaboration beider Partner mit einem gemeinsamen Forschungsübereinkommen offiziell gewürdigt und trägt seither den internen Arbeitstitel Joint Lab for Ethical Automated Vehicles.

Aktuell stehen Arbeiten zu einem gemeinsamen Buchkapitel im Mittelpunkt des interdisziplinären Austausches zwischen den beiden Forschungsgruppen. Im geplanten Buchkapitel wird unter anderem der Einfluss ethischer Betrachtungen auf die Konzeption hinter den Begriffen Risiko und Sicherheit diskutiert.

Wir danken unseren kanadischen Partnern, vor allem Jason Millar und Sophie Le Page für diese exzellente Zusammenarbeit.

**Teil III**

**Publikationen und  
Medienberichte**



## 12 Publikationen

BECK, H. N.; SALEM, N. F.; HABER, V.; RAUSCHENBACH, M.; REICH, J.: Phänomen-Signal-Modell: Formalismus, Graph und Anwendung. In: *arXiv:2108.00252 [physics]*, 2021

BUCHHOLZ, M.; GIES, F.; DANZER, A.; HENNING, M.; HERMANN, C.; HERZOG, M.; HORN, M.; SCHÖN, M.; REXIN, N.; DIETMAYER, K.; FERNANDEZ, C.; JANOSOVITS, J.; KAMRAN, D.; KINZIG, C.; LAUER, M.; MOLINOS, E.; STILLER, C.; ACKERMANN, S.; HOMOLLA, T.; WINNER, H.; GOTTSCHALG, G.; LEINEN, S.; BECKER, M.; FEILER, J.; HOFFMANN, S.; DIERMEYER, F.; LAMPE, B.; BEEMELMANNS, T.; VAN KEMPEN, R.; WOOPEN, T.; ECKSTEIN, L.; VOGET, N.; MOORMANN, D.; JATZKOWSKI, I.; STOLTE, T.; MAURER, M.; GRAF, J.; HINÜBER, E. V.; SIEPENKÖTTER, N.: Automation of the UNICARagil Vehicles. In: *29th Aachen Colloquium*. Aachen, 2020

JATZKOWSKI, I.; MENZEL, T.; BOCK, A.; MAURER, M.: A Knowledge-Based Approach for the Automatic Construction of Skill Graphs for Online Monitoring. In: *2021 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*. Nagoya, Japan, 2021

JATZKOWSKI, I.; NOLTE, M.; STOLTE, T.; MENZEL, T.; GRAUBOHM, R.; ERNST, S.; STEIMLE, M.; SALEM, N. F.; RICHELMANN, J.; MAURER, M.: Zum Fahrmanöverbegriff im Kontext automatisierter Straßenfahrzeuge. In: *Technischer Bericht*, 2021

MAURER, M.: The inherent risk of autonomous road vehicles. In: *SafetyWeek 2021*, 02.09.2021. – Vortrag in hybridem Format

MAURER, M.: Das inhärente Risiko autonomer Straßenfahrzeuge. In: *Keynote, Automotive Software Engineering Workshop 2021*, 22.02.2021. – virtueller Vortrag

NOLTE, M.; JATZKOWSKI, I.; ERNST, S.; MAURER, M.: Supporting Safe Decision Making Through Holistic System-Level Representations & Monitoring – A Summary and Taxonomy of Self-Representation Concepts for Automated Vehicles. In: *arXiv:2007.13807 [cs, eess]*, 2020

RIEKEN, J.: Ein Beitrag zur 3D-Umfeldwahrnehmung für automatisierte Fahrzeuge im urbanen Raum. In: *Dissertation, TU Braunschweig*. Braunschweig, 2020

SCHRÄDER, T.; STOLTE, T.; GRAUBOHM, R.; NOLTE, M.; MAURER, M.: Compensating for the Absence of a Required Accompanying Person: A Draft of a Functional System Architecture for an Automated Vehicle. In: *2021 IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*. Indianapolis, IN, USA, 2021

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: *arXiv:2102.06588 [cs.SE]*, 2021

STEIMLE, M.; MENZEL, T.; MAURER, M.: Towards 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: *arXiv:2104.09097 [cs.SE]*, 2021

STEIMLE, M.; WEBER, N.: 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: *arXiv:2109.03146 [cs.SE]*, 2021

STOLTE, T.: Actuator Fault-Tolerant Vehicle Motion Control: A Survey. In: *arXiv:2103.13671 [eess.SY]*, 2021

STOLTE, T.; ACKERMANN, S.; GRAUBOHM, R.; JATZKOWSKI, I.; KLAMANN, B.; WINNER, H.; MAURER, M.: A Taxonomy to Unify Fault Tolerance Regimes for Automotive Systems: Defining Fail-Operational, Fail-Degraded, and Fail-Safe. In: *arXiv:2106.11042 [eess.SY]*, 2021

STOLTE, T.; GRAUBOHM, R.; JATZKOWSKI, I.; MAURER, M.; ACKERMANN, S.; KLAMANN, B.; LIPPERT, M.; WINNER, H.: Towards Safety Concepts for Automated Vehicles by the Example of the Project UNICARagil. In: *29th Aachen Colloquium*. Aachen, 2020



# 13 Die Arbeitsgruppe in den Medien

Unser Institut konnte auch im akademischen Jahr 2020/2021 wiederum ein großes Medienecho erzielen. Im Folgenden findet sich eine Auswahl von Beiträgen und Artikeln in diversen Medienformaten.

## 13.1 Radio und Fernsehen

Medium	Datum	Artikel
NDR	08.10.2020	Hallo Niedersachsen - Zehn Jahre nach Leonie. Weg zum autonomen Fahren noch weit

## 13.2 Printmedien

Medium	Datum	Artikel
Les Echos	19.01.2021	L'avenir de la voiture autonome passe par les transports en commun
Braunschweiger Zeitung	16.02.2021	Dr. Drift gewinnt den Carolo-Cup@Home
Audimax ING	01.02.2021	Drive my car – Entwicklung autonomes Fahren, was heisst das für den Arbeitsmarkt?
ADAC Motor Welt	20.05.2021	Kurz vor knapp - Auto & Innovation Autonomes Fahren
Badisches Tagesblatt Baden-Baden	28.07.2021	Größte Herausforderung: Umweltbedingungen
General-Anzeiger – Bonner Stadtanzeiger Bonn	04.09.2021	Raritäten in der Verkehrsrealität

## 13.3 Veröffentlichungen auf Internetseiten

Medium	Datum	Artikel
NDR.de	08.10.2020	Zehn Jahre nach „Leonie“: Weg zum autonomen Fahren noch weit
mixed.de	10.02.2021	Autonomes Fahren: Bundeskabinett billigt umstrittenen Gesetzentwurf
Tagesspiegel.de	11.02.2020	Autonomes Fahren: „Technische Aufsicht“ ist umstritten
Science Media Center	11.02.2020	Statement zum Gesetzentwurf zum automatischen Fahren im Kabinett
Heise Online	13.02.2021	Aufsicht für Robo-Autos: „Der Mensch ist ein schlechter Überwacher“
Tagesspiegel.de	27.05.2021	Porträt von Markus Maurer
LN-online (Lübecker Nachrichten)	19.06.2021	Selbstfahrende Autos: Wann rollen sie auf Deutschlands Straßen – und wie weit ist die Technik?
Ingenieur.de	23.07.2021	Testphase für Prototyp eines autonomen Fahrzeugs startet jetzt
automobil-industrie.vogel.de	10.09.2021	Autonomes Fahren: „Seid transparent und aufrichtig“

## 13.4 Tagesspiegel Background Porträt vom 27.05.2021

*Einleitung von Marcus Nolte*

Der folgende Artikel stammt aus dem Format *Tagesspiegel Background*<sup>1</sup> Verkehr & Smart Mobility einer Reihe von Fachbriefings des Tagesspiegels, in der u.a. tägliche Analysen & Hintergründe, Nachrichten und Porträts zum Thema veröffentlicht werden. Trotz des (naturgemäß) personenzentrierten Formats der Porträts, fasst der Artikel, unserer Meinung nach, prägnant einige zentrale Forschungsfragen zusammen, mit denen wir uns täglich beschäftigen. Deshalb möchten wir ihn hier gerne mit freundlicher Genehmigung der Tagesspiegel Redaktion Background Verkehr & Smart Mobility abdrucken (Fettdruck wie im Original).

# TAGESSPIEGEL BACKGROUND

## Porträt von Markus Maurer – Tagesspiegel Background Verkehr & Smart Mobility

*von Julia Fietz, veröffentlicht am 27.05.2021*

Ein **kleiner Shuttlebus** zieht im hessischen Bad Soden-Salmünster seine Kreise. Er bremst, wenn es nötig ist, und verringert seine Geschwindigkeit, wenn Hindernisse auftauchen. Darin unterscheidet er sich nicht von anderen Fahrzeugen. In einer Sache allerdings schon. Das Lenkrad hat nicht etwa ein Busfahrer in der Hand. **Der Fahrersitz bleibt leer.**

---

<sup>1</sup><https://background.tagesspiegel.de/>

Sieht so die Zukunft aus? Stellt man Markus Maurer diese Frage, winkt er ab. „Es ist noch nicht bewiesen, dass es so kommt.“ Der Professor für elektronische Fahrzeugsysteme leitet an der **TU Braunschweig das Institut für Regelungstechnik**, welches sich auf die Sicherheit beim autonomen Fahren spezialisiert hat. Das Team von mehr als 20 Mitarbeitenden geht in seiner Forschung der These nach, dass jenen Fahrzeugen ein **inhärentes Risiko** innewohne, das sich zwar nicht eliminieren, dafür aber verringern lasse. In seiner Diplomarbeit hat sich Maurer mit der Codierung für Mobilfunk beschäftigt, ein sehr theoretisches, trockenes Unterfangen. „**Nach zwei Sätzen** konnte man jedes Gespräch über seine Arbeit beenden, weil das nie jemand nachvollziehen konnte“ sagt er und lacht. Obwohl der gebürtige **Bonner** seit 34 Jahren nicht mehr dort wohnt, ist ihm die den **Rheinländern** zugeschriebene entspannte Art geblieben. Er scherzt gerne und ist ein angenehmer Erzähler. Die Rolle des **Lehrenden** liegt ihm. Dabei kam Maurer eher durch Zufall zu seinem Fachgebiet.

### Mit dem Testauto nach Dänemark

In der Wirtschaftskrise 1993 fand der Ingenieur eine Promotionsstelle an der Universität der Bundeswehr in Neubiberg bei München. Sein Doktorvater Ernst **Dickmanns** beschäftigte sich mit dem autonomen Fahren. Maurer hängte die Codierung an den Nagel und wandte sich ganz dem Thema zu, dass ihn die nächsten Jahrzehnte begleiten sollte. Dickmanns entwickelte den Prototyp eines Wagens, der **mithilfe von Kameras** erfassen konnte, was vor und hinter ihm vor sich ging, und in der Lage war, die Spur zu wechseln oder zu überholen. Der Prototyp absolvierte **1995** erfolgreich eine Testfahrt nach Dänemark. Auf dem Fahrersitz saß ein Mitarbeiter, der im Notfall eingreifen sollte – der Doktorand Maurer.

Vier Jahre später unterschrieb Maurer einen Vertrag bei **Audi**, wo er pünktlich zur Jahrtausendwende zu arbeiten begann. Seine Promotion schloss er bei seinem neuen Arbeitgeber im Sommer 2000 ab. In den folgenden Jahren entwickelte Maurer verschiedene Projekte zum autonomen Fahren, unter anderem die **automatische Notbremse**, und erhielt 2007 den Ruf an die TU Braunschweig.

Im Zuge der Notbremse beriet sich Maurer mit dem Münchner Wirtschaftsethiker **Karl Homann** über die ethische Vertretbarkeit einer Technologie, die Leben retten wie gefährden könnte. Für Maurer waren diese Gespräche ein Weckruf. „Wir haben in Deutschland gar keine Diskurstadition, bei neuen Technologien vor der Markteinführung über **ihre Risiken** zu sprechen.“ Dabei sei diese unbedingt nötig, scheitere aber oft schon an verschiedenen Definitionen von Sicherheit. „In der Technik sprechen wir beim Thema Sicherheit von the absence of unreasonable risk, also **von der Abwesenheit eines verantwortungslosen Risikos**, was ein inhärentes Restrisiko impliziert.“ Alle anderen gesellschaftlichen Akteure meinten hingegen die Abwesenheit jedweden Risikos.

### **Die Autoindustrie fördert die Forschung**

Beschreibt der 53-Jährige die Forschung seiner Arbeitsgruppe, klingt es beinahe, als hätten die Fahrzeuge **menschliche Eigenschaften**. Eine Analogie, die nicht von ungefähr kommt, bestätigt Maurer. „Jedes Auto muss seine eigenen Fähigkeiten kennen.“ Sei ein Mensch nicht zuverlässig, wisse dieser für gewöhnlich auch nicht, wozu er imstande sei.

Über den Zweck der autonomen Fahrzeuge, die Motivation, sie überhaupt erst zu entwickeln, äußert sich Maurer zurückhaltend. „Wenn ich jetzt über den Nutzen referiere, referiere ich über die Arbeit an-

derer – wir sind reine Techniker, **den Nutzen überlegen sich andere.**“ Die Fahrzeuge könnten eine Alternative für Menschen sein, die heute nicht mehr mobil sind. Damit eine solche Möglichkeit in greifbare Nähe rücken kann, ist das Institut auf die Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen angewiesen. Unterstützung erhalten die Forscher außerdem durch die Bundesregierung, Unternehmen wie **Volkswagen als wichtigsten Sponsor** und insbesondere auch durch die **Daimler und Benz Stiftung**, die sie bereits bei zwei wichtigen großen Projekten gefördert hat.

Der Zukunft seiner Branche blicke er optimistisch entgegen, sagt Maurer. Allerdings müssten die Automobilhersteller aufpassen, nicht den Anschluss zu verlieren. Mit den globalen Großkonzernen kämen neue Player auf den Markt, die über **viel Geld und Software-Wissen** verfügen würden. „Ich glaube, wenn wir in Deutschland und Europa unsere Stärken nutzen, werden wir eine echte Chance haben.“ Dass es eine deutsche Antwort auf diese Entwicklungen geben wird, dessen ist sich Maurer sicher. *Julia Fietz*

#### **Vier Fragen an Markus Maurer:**

##### **1. Welches Auto kaufen Sie als nächstes?**

Das ist noch nicht entschieden. Mein aktuelles Auto, einen Audi A6, Jahrgang 2006, möchte ich so lange wie möglich weiterfahren.

##### **2. Wie halten Sie es mit dem Fliegen?**

Vor der Pandemie bin ich, wenn immer zeitlich möglich, einmal pro Jahr für einen mehrwöchigen Aufenthalt ins Silicon Valley geflogen. Hier wird derzeit der Entwicklungstakt im autonomen Fahren vorgegeben. Diese Flüge würde ich gerne wieder aufneh-

men. Sonst kann ich weitgehend aufs Fliegen verzichten: Braunschweig hat eine gute Bahnanbindung.

3. **Wer gibt in der Mobilitätsbranche das Tempo vor?**

In Bereich des autonomen Fahrens Waymo; traditionelle Automobilkonzerne wie Daimler und Volkswagen waren international lange führend im Bereich der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen. Wir hoffen, dass sie die Führung auch in der Entwicklung zum autonomen Fahren zurückerobern können.

4. **Wo würden Sie gerne das Rad neu erfinden?**

In der Risikokommunikation: Sicherheitskritische Innovationen sollten erst nach einem breiten öffentlichen Diskurs eingeführt werden.





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

ISBN: 978-3-9823341-0-3