



# Elektronische Fahrzeugsysteme 2023

Jahresbericht: Akademisches Jahr 2022/2023

Markus Maurer

Marvin Loba (Hrsg.)



Die TU Braunschweig bekennt sich zu einem verantwortungsvollen Umgang mit Ressourcen. Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier.

### **Titelbild**

Fahrzeug *autoELF* (Projekt UNICAR*agil*) fährt auf einem Testgelände (Aldenhoven Testing Center, 28.04.2023)

Copyright: © UNICAR*agil*, Tobias Schröder

### **Impressum**

Druck: Beyrich Digital Service GmbH & Co. KG,  
Braunschweig

Copyright: © 2023  
Technische Universität Braunschweig  
Institut für Regelungstechnik  
Prof. Dr.-Ing. Markus Maurer  
Marvin Loba (Hrsg.)

ISBN: 978-3-9823341-2-7

# Inhaltsverzeichnis

<b>Preface</b>	<b>5</b>
<b>Vorwort</b>	<b>11</b>
<b>Die AG Elektronische Fahrzeugsysteme</b>	<b>19</b>
Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter . . . . .	19
Neue Kolleginnen und Kollegen . . . . .	20
Abgänge . . . . .	25
<b>I Berichte aus der Lehre</b>	<b>29</b>
<b>1 Neues aus der Lehre</b>	<b>31</b>
1.1 Absolvierte Industriepraktika . . . . .	32
1.2 Advanced Topics in Automotive Systems Engineering	32
1.3 Oberseminar Elektronische Fahrzeugsysteme ( <i>Advanced Seminar Electronic Vehicle Systems</i> ) . . . . .	35
1.4 Prüfungsergebnisse . . . . .	40
1.5 Seminar und Praktikum Modellfahrzeugbau . . . . .	41
1.6 Seminarvorträge . . . . .	42
1.7 Teamprojekt . . . . .	45
1.8 Übersicht angebotener Lehrveranstaltungen . . . . .	46
<b>2 Abgeschlossene studentische Arbeiten</b>	<b>49</b>

<b>II</b>	<b>Berichte aus der Forschung</b>	<b>51</b>
<b>3</b>	<b>Wissenschaftlicher Austausch</b>	<b>53</b>
3.1	Research stay of Agapius Bou Ghosn . . . . .	53
3.2	Research stay of Elliot Weiss . . . . .	55
3.3	Kolloquium „Elektronische Fahrzeugsysteme“ . . . . .	57
3.4	Workshop „Ensuring and Validating Safety for Automated Vehicles“ (EVSAV) . . . . .	59
<b>4</b>	<b>Beiträge in Forschungsprojekten</b>	<b>63</b>
4.1	ATLAS-L4 . . . . .	64
4.2	AUTOtech.agil . . . . .	72
4.3	Forschungsbedarf Teleoperation . . . . .	76
4.4	SET Level . . . . .	77
4.5	UNICARagil . . . . .	83
4.6	VVMethoden . . . . .	93
4.7	Wertebasierte Verhaltensentscheidung . . . . .	98
<b>5</b>	<b>Beiträge zum Runden Tisch „Autonomes Fahren“ des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr</b>	<b>103</b>
5.1	Themenfeld „Sicherheit und Risiko“ . . . . .	103
5.2	Arbeitsgruppe „Absicherung“ . . . . .	110
5.3	Arbeitsgruppe „Entwicklungsprozess“ . . . . .	111
5.4	Arbeitsgruppe „Wertebasierte Entwicklung“ . . . . .	114
<b>III</b>	<b>Publikationen und Medienberichte</b>	<b>117</b>
<b>6</b>	<b>Publikationen der Arbeitsgruppe</b>	<b>119</b>
<b>7</b>	<b>Die Arbeitsgruppe in den Medien</b>	<b>121</b>

# Preface

*von Markus Maurer<sup>1</sup>*

“Crisis mode” was chosen as the “Word of the Year 2023” by the German Language Society.<sup>2</sup> In fact, the many crises also characterize this review of the academic year 2022/23.

The Russian war of aggression against Ukraine led to immeasurable suffering there and to our “living through a watershed era,”<sup>3</sup> the extent of which we probably still do not fully appreciate today. The re-equipping of the German military and the end of the “peace dividend” will lead to a shift in priorities in public budgets over the next decade, which will be painful for many. Russia’s transformation from a supplier of cheap raw materials to being a threat to a free Europe increases energy costs in Germany at a time when the energy supply is already in a state of transition.

Geopolitical uncertainty is hitting a country that is only just recovering from the first pandemic suffered by people living today. Long Covid affects many people. The sickness rate peaked in 2022,<sup>4</sup> probably followed by a new record in 2023.<sup>5</sup> The extent to which broken educational biographies and knowledge gaps of pupils and students due to the in-

---

<sup>1</sup>Translated from the “Vorwort” with the help of [www.deepl.com](http://www.deepl.com) and revised by Veronika Krapf

<sup>2</sup>Gesellschaft für deutsche Sprache e.V., <https://gfds.de/wort-des-jahres-2023/>; accessed on 2/3/2024

<sup>3</sup>Federal Chancellor Olaf Scholz in the German Bundestag on 2/27/2022

<sup>4</sup><https://www.iwd.de/artikel/krankenstand-in-deutschland-498654/>; accessed on 2/3/2024

<sup>5</sup>Handelsblatt, 1/24/2024, <https://www.handelsblatt.com/karriere/krankenstand-wie-haeufig-fallen-arbeitnehmer-in-deutschland-aus-/28945886.html>; accessed on 2/3/2024

—

terruption of face-to-face teaching weigh on society will probably not be known for years.

Behind these crises, climate change is currently taking a back seat in public awareness; the transformation towards a society with lower CO<sub>2</sub> emissions is nevertheless underway. The German automotive industry, which has increasingly dominated the international development of vehicles with combustion engines for decades, is clearly feeling its effects. In electromobility, they are facing tough competition from the pioneer in this field and a Chinese automotive industry that is strategically supported by the Chinese government. Companies from other industries that are used to developing innovative products systemically could have important advantages over German car manufacturers and their culture of continuous, incremental, component-oriented improvement processes. It therefore comes as no surprise when the CEO of the Volkswagen brand, Thomas Schäfer, states internally that the roof is on fire,<sup>6</sup> and the *Manager Magazin* headlines “Emergency Audi” and “SOS in Ingolstadt” in January 2024.

We are not economists and are therefore reluctant to make an individual assessment of the economic situation in the German automotive industry. Unfortunately, everyday experience supports the view expressed in the economic trade press that the German automotive industry is under fundamental threat. Excellent managers are leaving their companies. The impression arises that many companies in the industry now lack the assessment skills how to obtain meaningful advice and reinforcement.

Students are voting with their feet and avoiding electrical and mechanical engineering courses at many universities. Interest in research and development in the automotive industry has fallen sharply in the cur-

---

<sup>6</sup>“the roof is on fire,” quoted from *Handelsblatt* of 7/13/2023; accessed on 2/3/2024

rent small year groups of Bachelor's students, at least in the electrical engineering courses at Technische Universität Braunschweig.

Since 2010, we have often pointed out that autonomous road vehicles have great potential for society, but that great efforts are still required before autonomous road vehicles will become a reality.<sup>7</sup> In the phase of exaggerated expectations as to when autonomous driving would be ready for series production, we found ourselves in the initially completely unexpected role of admonisher for many years.<sup>8</sup> Developments in the field of autonomous road vehicles over the last decade have confirmed our cautiously optimistic view of the research field; many euphoric market participants have paid a high price, had to adapt their plans or have already disappeared from the market.

It is almost easy to forget that Waymo now offers autonomous driving on public roads in San Francisco. In December 2023, I was able to experience several rides through San Francisco with Waymo, without a safety driver in the car. For decision-makers who doubt the future of autonomous road vehicles, I recommend traveling to San Francisco and using Waymo vehicles. As there is a long waiting list, please check in advance that the trip can take place at the desired time. Of course, it is not possible to deduce from individual journeys whether the level of safety required by society is already being met. However, as it was with me, personal impressions may strengthen the conviction that this means of transport is the future.

---

<sup>7</sup>e.g., "Who controls the vehicle of the future?," Markus Maurer, lecture at a colloquium at Daimler AG in honour of Hans-Georg Metzler, March 16, 2010

<sup>8</sup>e.g., "Autonomous Automobiles - Current Challenges in Research and Development," Markus Maurer, lecture at the Dagstuhl Seminar 15462 "The Mobile Revolution - Machine Intelligence for Autonomous Vehicles," 11/11/2015

Under the impression of disappointed expectations of autonomous driving, also decision-makers at the Federal Ministry for Digital and Transport (BMDV) have remembered our comparatively cautious forecasts for autonomous vehicles on public roads. They asked us to stimulate dialog with stakeholders in society on the “focus field safety and risk” at the “Round Table Autonomous Driving.” Until then, I had not realized how frustrated some decision-makers in public authorities were that German vehicle manufacturers had not introduced automated and autonomous road vehicles as quickly as announced.

With the “focus field safety and risk” dialog forum, we were able to demonstrate all the cornerstones of “value-based development”: the balancing of values in autonomous road vehicles is anticipated by the engineers in the company; fundamental conflicts, the “hot potatoes of autonomous driving,”<sup>9</sup> are at least openly discussed with stakeholders in society and at conferences.

In addition to the “Round Table,” our advice was also sought in the “Teleoperation” project group of the Federal Highway Research Institute (BASt) and in the BASt Scientific Advisory Board.

An important basis for our scientific concept is created in projects that are publicly funded or funded by the Daimler and Benz Foundation. This year, we would like to thank those responsible at the Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action (BMWK) for funding the ATLAS-L4, Set Level and VVMethods projects, those responsible at the Federal Ministry of Education and Research (BMBF) for funding

---

<sup>9</sup>“Das inhärente Risiko autonomer Straßenfahrzeuge,” Markus Maurer, lecture at the “Braunschweig Mobility Days - autonom und digital,” 6/2/2023; “German Round Table Automated Driving - Focus Area ‘Safety and Risk’: Toward an Open and Transparent Debate about Chances and Risks of Automated Driving,” Marcus Nolte, lecture at the workshop “Ensuring and Validating Safety for Automated Vehicles,” Intelligent Vehicles Symposium 2023, Anchorage

the UNICAR*agil* and AUTOtech*agil* projects and Dr. Klein from the Daimler and Benz Foundation for funding the “Value-based Decision Making” project. This year, I particularly recommend reading the article on UNICAR*agil* and the final event in Aldenhoven (see section 4.5). Ms. Hausherr from NDR has made a wonderful film on the basic idea of the *autoELF* research vehicle developed in UNICAR*agil*.<sup>10</sup> We would not have formulated the conceptual core of “value-based development” without the many years of support from the Daimler and Benz Foundation.

For me personally, the academic year 2022/23 was the first academic year after the pandemic in which I taught in person again. I was very moved by the students’ reports about their loneliness, and often also about their depression, during the time of virtual teaching. It took many months before we were able to rebuild the usual trust and dialog in the lecture that we knew from times before the pandemic.

The internationalization of our working group is progressing. Agapius Bou Ghosn, a doctoral student from Arnaud de La Fortelle’s working group at Mines Paris, and Elliot Weiss, a doctoral student from Chris Gerdes’ working group at Stanford University, both spent several months conducting research with us on site in Braunschweig. The English-language sections of this yearbook are increasing; the yearbook is becoming more internationally accessible. Our seminar “Advanced Topics in Automotive Systems Engineering” was particularly popular with international students, some of whom joined this hybrid seminar virtually from abroad. In the virtual Oberseminar with leading interna-

---

<sup>10</sup>[https://www.ndr.de/nachrichten/niedersachsen/braunschweig\\_harz\\_goettingen/Senioren-testen-autonomes-Fahrzeug-von-TU-Braunschweig\\_auto1332.html](https://www.ndr.de/nachrichten/niedersachsen/braunschweig_harz_goettingen/Senioren-testen-autonomes-Fahrzeug-von-TU-Braunschweig_auto1332.html), accessed on 2/3/2024

tional scientists, academic staff and students were once again able to experience specialist discussions at the highest scientific level.

This year's delay in publishing this yearbook also has a thoroughly positive background. It could only be completed after my research stay with Chris Gerdes at Stanford in the fall of 2023, which I will report on in more detail in the next yearbook.

There are many reasons to thank our research partners in Germany and abroad again this year!

The success stories from teaching and research contrast strangely with the crises outlined at the beginning. This also reflects questions that are currently of particular concern to me:

- What does “living through a watershed era” mean for our institute, our staff, and our students?
- What solutions are we developing for an earth that is currently warming significantly?
- What role does Germany play in the research and development of autonomous road vehicles?

After proofreading this annual report and writing this foreword, the emotional conflict between concern about the challenges ahead and gratitude when looking back on what we have achieved is once again outweighed by deep gratitude, especially towards our team at the Institute of Control Engineering, towards our partners in industry and science, towards our sponsors and towards everyone who supports us at Technische Universität Braunschweig!

Gratitude that gives us confidence for the tasks ahead.

# Vorwort

*von Markus Maurer*

„Krisenmodus“ wurde von der Gesellschaft für deutsche Sprache als „Wort des Jahres 2023“ gewählt.<sup>1</sup> Tatsächlich prägen die vielfältigen Krisen auch diesen Rückblick auf das akademische Jahr 2022/23.

Der russische Angriffskrieg auf die Ukraine führte dort zu unermesslichem Leid und zu einer „Zeitenwende“<sup>2</sup>, deren Tragweite wir wahrscheinlich selbst heute noch nicht vollständig ermessen. Die Wiederausrüstung des deutschen Militärs und das Ende der „Friedensdividende“ werden im nächsten Jahrzehnt zu einer Verschiebung der Prioritäten in den öffentlichen Haushalten führen, die für viele schmerzvoll sein wird. Der Wandel Russlands vom Lieferanten günstiger Rohstoffe zur Bedrohung für das freie Europa erhöht die Energiekosten in Deutschland in einer Zeit, in der sich die Energieversorgung ohnehin im Umbruch befindet.

Die geopolitische Unsicherheit trifft ein Land, das sich gerade erst von der ersten Pandemie erholt, die die heute lebenden Menschen durchlitten haben. Long Covid betrifft viele Menschen, der Krankenstand war im Jahr 2022 auf einem Höchststand<sup>3</sup>, wahrscheinlich gefolgt von einem neuen Rekord im Jahr 2023<sup>4</sup>. Wie schwer gebrochene Bildungs-

---

<sup>1</sup>Gesellschaft für deutsche Sprache e.V., <https://gfds.de/wort-des-jahres-2023>; abgerufen am 3.2.2024

<sup>2</sup>Bundeskanzler Olaf Scholz am 27.2.2022 im deutschen Bundestag

<sup>3</sup><https://www.iwd.de/artikel/krankenstand-in-deutschland-498654/>; abgerufen am 3.2.2024

<sup>4</sup>Handelsblatt am 24.1.2024, <https://www.handelsblatt.com/karriere/krankenstand-wie-haeufig-fallen-arbeitnehmer-in-deutschland-aus-/28945886.html>; abgerufen am 3.2.2024

biographien und persönliche Wissenslücken der Schüler\*innen und Studierenden durch die Unterbrechung des Präsenzünterrichts jenseits der persönlichen Belastungen für die Gesellschaft wiegen, wird wohl erst in Jahren bekannt werden.

Hinter diese Krisen rückt derzeit der Klimawandel aus der öffentlichen Aufmerksamkeit in den Hintergrund; die Transformation hin zu einer Gesellschaft mit geringeren CO<sub>2</sub>-Emissionen ist dennoch im Gange. Das spürt die deutsche Automobilindustrie deutlich, die über Jahrzehnte die Entwicklung von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren international zunehmend dominierte. In der Elektromobilität müssen sie sich einem harten Wettbewerb mit dem Pionier in diesem Feld und einer staatlicherseits strategisch geförderten chinesischen Automobilindustrie stellen. Konzerne aus anderen Branchen, die es gewohnt sind, innovative Produkte systemisch zu entwickeln, könnten gegenüber den deutschen Automobilherstellern und ihrer Kultur des kontinuierlichen, inkrementellen, bauteilorientierten Verbesserungsprozesses wichtige Vorteile haben. So überrascht es nicht, wenn der CEO der Marke Volkswagen, Thomas Schäfer, intern feststellt, dass das Dach brennt,<sup>5</sup> und das Manager Magazin im Januar 2024 titelt „Notfall Audi“ und „SOS in Ingolstadt“.

Wir sind keine Ökonomen und halten uns entsprechend mit einer eigenständigen Bewertung der wirtschaftlichen Situation der deutschen Automobilindustrie zurück. Leider stützen Erfahrungen im Alltag die in der wirtschaftlichen Fachpresse geäußerte These, dass die deutsche Automobilindustrie fundamental bedroht wird. Exzellente Führungskräfte verlassen ihre Unternehmen. Es entsteht der Eindruck, dass inzwischen in vielen Unternehmen der Branche die Bewertungskompetenz fehlt, wie man sich sinnvoll beraten lassen und verstärken kann.

---

<sup>5</sup> „the roof is on fire“, zitiert nach Handelsblatt vom 13.7.2023; abgerufen am 3.2.2024

Die Studierenden stimmen mit den Füßen ab und meiden an vielen technischen Universitäten die Studiengänge der Elektrotechnik und des Maschinenbaus. Das Interesse an Forschung und Entwicklung in der Automobilindustrie ist in den aktuell kleinen Jahrgängen im Bachelor-Studium, zumindest in den Studiengängen der Elektrotechnik an der Technischen Universität Braunschweig, stark zurückgegangen.

Seit 2010 haben wir vielfach darauf hingewiesen, dass autonome Straßenfahrzeuge große Potenziale für die Gesellschaft aufweisen, dass es aber noch großer Anstrengungen bedarf, bis autonome Straßenfahrzeuge Wirklichkeit werden.<sup>6</sup> In der Phase der übertriebenen Erwartung, wann das autonome Fahren serienreif würde, haben wir uns viele Jahre in der zunächst völlig unerwarteten Rolle der Mahner wiedergefunden.<sup>7</sup> Die Entwicklung auf dem Gebiet der autonomen Straßenfahrzeuge im letzten Jahrzehnt hat unseren vorsichtig optimistischen Blick auf das Forschungsfeld bestätigt; viele euphorische Marktteilnehmer haben hohes Lehrgeld gezahlt, mussten ihre Pläne anpassen oder sind bereits vom Markt verschwunden.

Dabei droht fast in Vergessenheit zu geraten, dass Waymo inzwischen autonome Fahrten im öffentlichen Straßenverkehr in San Francisco anbietet. Im Dezember 2023 durfte ich mehrere Fahrten durch San Francisco mit Waymo erleben, ohne Sicherheitsfahrer\*innen im Auto. Entscheidungsträgern, die an der Zukunft autonomer Straßenfahrzeuge zweifeln, empfehle ich die Reise nach San Francisco und die Nutzung der Waymo-Fahrzeuge. Da es eine lange Warteliste gibt, bitte vorab

---

<sup>6</sup>z. B. „Wer steuert das Fahrzeug der Zukunft?“, Markus Maurer, Vortrag auf einem Kolloquium bei der Daimler AG zur Verabschiedung von Hans-Georg Metzler, 16.3.2010

<sup>7</sup>z. B. „Autonomous Automobiles – Current Challenges in Research and Development“, Markus Maurer, Vortrag auf dem Dagstuhl Seminar 15462 „The Mobile Revolution – Machine Intelligence for Autonomous Vehicles“, 11.11.2015

klären, dass die Fahrt auch zum gewünschten Zeitpunkt stattfinden kann. Natürlich lässt sich von einzelnen Fahrten nicht ableiten, ob das gesellschaftlich geforderte Sicherheitsniveau bereits erfüllt wird. Der persönliche Eindruck mag aber — wie bei mir — die Überzeugung stärken, dass diesem Verkehrsmittel die Zukunft gehört.

Unter dem Eindruck enttäuschter Erwartungen an das autonome Fahren haben sich auch Entscheidungsträger beim Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) an unsere vergleichsweise zurückhaltenden Prognosen für autonome Fahrzeuge im öffentlichen Straßenverkehr erinnert. Sie haben uns gebeten, den Dialog mit Stakeholdern der Gesellschaft im „Themenfeld Sicherheit und Risiko“ am „Runden Tisch Autonomes Fahren“ zu stimulieren. Bis dahin war mir entgangen, wie frustriert manche Entscheidungsträger in Behörden darüber sind, dass die deutschen Fahrzeughersteller nicht wie angekündigt zeitnah automatisierte und autonome Straßenfahrzeuge eingeführt haben.

Mit dem Dialogforum des „Themenfelds Sicherheit und Risiko“ konnten wir alle Eckpfeiler der „wertebasierten Entwicklung“ demonstrieren: die Werteabwägung im autonomen Straßenfahrzeug wird von den Ingenieur\*innen im Unternehmen antizipiert; fundamentale Konflikte, die „heißen Kartoffeln des Autonomen Fahrens“,<sup>8</sup> werden zumindest mit Stakeholdern der Gesellschaft und auf Konferenzen offen diskutiert.

Neben dem „Runden Tisch“ wurde unsere Beratung auch in der Projektgruppe „Teleoperation“ der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) und im wissenschaftlichen Beirat der BASt gesucht.

---

<sup>8</sup>„Das inhärente Risiko autonomer Straßenfahrzeuge“, Markus Maurer, Vortrag auf den „Braunschweig Mobility Days – autonom und digital“, 2.6.2023; „German Round Table Automated Driving – Focus Area ‚Safety and Risk‘: Toward an Open and Transparent Debate about Chances and Risks of Automated Driving“, Marcus Nolte, Vortrag auf dem Workshop „Ensuring and Validating Safety for Automated Vehicles“, Intelligent Vehicles Symposium 2023, Anchorage

Eine wichtige Basis für unsere wissenschaftliche Konzeption wird in Projekten geschaffen, die öffentlich oder von der Daimler und Benz Stiftung gefördert wurden. In diesem Jahr bedanken wir uns bei den Verantwortlichen im Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) für die Förderung der Projekte ATLAS-L4, Set Level und VVMethoden, bei den Verantwortlichen im Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die Förderung der Projekte UNICARagil und AUTOtech.agil und bei Herrn Dr. Klein von der Daimler und Benz Stiftung für die Förderung im Projekt „Value-based Decision Making“. Besonders empfehle ich im vorliegenden Jahrbuch die Lektüre des Artikels zu UNICARagil und zum Abschlussevent in Aldenhoven (siehe Abschnitt 4.5). Frau Hausherr vom NDR hat die Grundidee des in UNICARagil entwickelten Forschungsfahrzeugs *autoELF* wunderbar verfilmt.<sup>9</sup> Den konzeptionellen Kern der „wertebasierten Entwicklung“ hätten wir ohne die langjährige Förderung der Daimler und Benz Stiftung nicht ausformuliert.

Das akademische Jahr 2022/23 war für mich persönlich das erste akademische Jahr nach der Pandemie, in dem ich wieder in Präsenz lehren durfte. Die Berichte der Studierenden über ihre Einsamkeit in der Zeit der virtuellen Lehre und nicht selten auch über ihre Depressionen haben mich sehr bewegt. Es hat viele Monate gedauert, bis wir wieder das übliche Vertrauen und den Dialog in der Vorlesung aufbauen konnten, den wir aus Zeiten vor der Pandemie kannten.

Die Internationalisierung unserer Arbeitsgruppe schreitet voran. Agapius Bou Ghosn, Doktorand aus der Arbeitsgruppe von Arnaud de La Fortelle an der Mines Paris und Elliot Weiss, Doktorand aus der

---

<sup>9</sup>[https://www.ndr.de/nachrichten/niedersachsen/braunschweig\\_harz\\_goettingen/Senioren-testen-autonomes-Fahrzeug-von-TU-Braunschweig\\_auto1332.html](https://www.ndr.de/nachrichten/niedersachsen/braunschweig_harz_goettingen/Senioren-testen-autonomes-Fahrzeug-von-TU-Braunschweig_auto1332.html), abgerufen am 3.2.2024

Arbeitsgruppe von Chris Gerdes an der Stanford University, haben beide mehrere Monate mit uns gemeinsam vor Ort in Braunschweig geforscht. Die englischsprachigen Anteile an diesem Jahrbuch nehmen zu; das Jahrbuch wird international zugänglicher. Unser Seminar „Advanced Topics in Automotive Systems Engineering“ war gerade bei internationalen Studierenden beliebt, die sich in diesem hybriden Seminar zumindest teilweise virtuell aus dem Ausland zuschalteten. In den virtuell angebotenen Oberseminaren mit international führenden Wissenschaftler\*innen konnten wissenschaftliche Mitarbeiter und Studierende wieder Fachdiskussionen auf höchstem wissenschaftlichen Niveau erleben.

Auch die diesjährige Verzögerung, mit der Sie dieses Jahrbuch erhalten, hat einen durchweg positiven Hintergrund. Die Fertigstellung des Jahrbuches konnte erst nach meinem Forschungsaufenthalt bei Chris Gerdes in Stanford im Herbst 2023 erfolgen, über den ich im nächsten Jahrbuch ausführlicher berichten werde.

Viele Gründe, um auch in diesem Jahr wieder unseren Forschungspartner\*innen im In- und Ausland zu danken!

Die Erfolgsberichte aus Lehre und Forschung kontrastieren merkwürdig mit den eingangs skizzierten Krisen. Das spiegeln auch Fragen wider, die mich derzeit besonders beschäftigen:

- Was bedeutet die „Zeitenwende“ für unser Institut, für unsere Mitarbeiter\*innen und unsere Studierenden?
- Welche Lösungen erarbeiten wir für eine Erde, die sich derzeit deutlich erwärmt?
- Welche Rolle spielt Deutschland in der Erforschung und Entwicklung autonomer Straßenfahrzeuge?

Im emotionalen Widerstreit zwischen Sorge um die bevorstehenden Herausforderungen und Dank im Rückblick auf das Erreichte überwiegt nach dem Korrekturlesen dieses Jahresberichtes und dem Verfassen dieses Vorwortes einmal mehr tiefe Dankbarkeit, vor allem gegenüber unserem Team am Institut für Regelungstechnik, gegenüber unseren Partnern in Industrie und Wissenschaft, gegenüber unseren Förderern und gegenüber allen, die uns in der Technischen Universität Braunschweig unterstützen!

Dankbarkeit, die zuversichtlich macht für die kommenden Aufgaben.



# Die AG Elektronische Fahrzeugsysteme

## Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter

Im akademischen Jahr 2022/2023 waren folgende Mitarbeiter\*innen in der Arbeitsgruppe Elektronische Fahrzeugsysteme beschäftigt:

<b>Name</b>	<b>Aufgabenbereich</b>
Prof. Dr.-Ing. Markus Maurer	Leitung
Prof. Dr.-Ing. Thomas Form	Honorarprofessor
Dipl.-Ing. Bernd Amlang	Sicherheitsbeauftragter
Dr.-Ing. Marcus Grobe	Wissenschaftler
Dr. phil. Veronika Krapf	Assistenz
Stefanie Scheffer	Assistenz
B.Sc. Leon Götz	Wissenschaftler
B.Sc. Michael Honkomp	Wissenschaftler
M.Sc. Felix Bothe	Wissenschaftler
M.Sc. Niklas Braun	Wissenschaftler
M.Sc. Leon Johann Brettin	Wissenschaftler
M.Sc. Robert Graubohm	Wissenschaftler
M.Sc. Felix Grün	Wissenschaftler
M.Sc. Marvin Loba	Wissenschaftler
M.Sc. Till Menzel	Wissenschaftler
M.Sc. Marcus Nolte	Wissenschaftler
M.Sc. Nayel Fabian Salem	Wissenschaftler
M.Sc. Tobias Schröder	Wissenschaftler
M.Sc. Richard Schubert	Wissenschaftler

---

M.Sc. Markus Steimle	Wissenschaftler
Anton Grünke	Technik
Peter Schwetge	Technik
Meister Andreas Rusniok	Technik
Loris Colkos	Auszubildender Technik
Ginger Ika Jozis	Auszubildende Technik

---

Tabelle 1: Mitarbeiter der Arbeitsgruppe Elektronische Fahrzeugsysteme

## Neue Kolleginnen und Kollegen

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

### Felix Bothe



Den Weg zum Institut für Regelungstechnik fand ich während meines Masterstudiums an der TU Braunschweig. Dort absolvierte ich den Studiengang Elektronische Systeme in Fahrzeugtechnik, Luft- und Raumfahrt. Auf der Suche nach einer Abschlussarbeit fand ich hier am Institut ein spannendes Thema im Projekt UNICAR*agil*. Ziel der Arbeit

war es, ein Konzept für eine Innenraumwahrnehmung eines autonomen Familienfahrzeuges zu entwerfen. Das System soll Nutzergruppen die Fahrt ermöglichen, die unter normalen Umständen auf eine Begleitperson angewiesen sind. Neben konzeptioneller Arbeit wurden auch Teile des Systems mit einem Prototyp realisiert. Im Anschluss an die Masterarbeit begann ich meine Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter im April 2023. Neben anfänglicher Unterstützung im Projekt VVM konnte ich ein interessantes Themenfeld im Bereich der Szenariengenerierung identifizieren. Hierbei geht es um die Ableitung von Szenarien aus realen Verkehrssituationen. Eine Übersicht über mögliche Ansätze konnte ich bereits im Rahmen der „Advanced Topics for Automotive Systems Engineering“ geben und mit den Teilnehmern diskutieren. Weitergeführt werden diese Arbeiten im Projekt ATLAS-L4.

In der Lehre übernehme ich die Übungen zu verschiedenen Filterverfahren im Rahmen der Vorlesung *Automatisierte Straßenfahrzeuge: von der Assistenz zur Autonomie* und zu systemtheoretischen Grundlagen in der Vorlesung *Fahrzeugsystemtechnik*. Darüber hinaus beteilige ich mich am Aufbau und der Planung eines neuen Labors, in welchem maschinelle Lernverfahren für die Anwendung im Bereich der Fahrzeugtechnik untersucht werden sollen.

## Niklas Braun



Anfang 2021 trat ich als studentische Hilfskraft im Science Track dem Institut für Regelungstechnik bei. Hierdurch ergab sich die Möglichkeit, meine Masterarbeit in Kooperation mit dem *KTH Royal Institute of Technology* (Arbeitsgruppe von Martin Törngren) in Stockholm zu verfassen. Im Rahmen dieser Arbeit ergaben sich Anknüpfungspunkte zu dekompositionalen Entwicklungsmethoden, welche neben der Anwendung für szenarienbasiertes Testen in der Simulation auch für die Entwicklung automatisierter Fahrfunktionen genutzt werden könnten. Dieses Thema konnte ich ebenso wie die Beschreibung von Operational Design Domains in meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter seit Januar 2023 weiterverfolgen.

Hauptsächlich bringe ich Arbeiten im Projekt *AUTOtech.agil* bei der durchgängigen Sicherheitsbetrachtung sowie Sicherheitskonzeption automatisierter Fahrzeuge ein. Ein weiteres persönliches Highlight ist die Gelegenheit, beim Themenfeld Sicherheit und Risiko am Runden Tisch Autonomes Fahren, siehe Abschnitt 5.1, an der Erfassung relevanter Terminologie und als Schriftführer des Vorbereitungssteams mitzuwirken. In der Lehre unterstütze ich die Vorlesung *Grundlagen der Elektrotechnik* mit großen Übungen zu Magnetfeldern und Schaltvorgängen und habe die Organisation folgender Lehrveranstaltungen übernommen:

- *Advanced Topics in Automotive Systems Engineering* (englischsprachige Veranstaltung, siehe Abschnitt 1.2) – Studierende bereiten sich mit Unterstützung eines professionellen Coachings auf einen wissenschaftlichen Fachvortrag vor, halten diesen und führen eine wissenschaftliche Diskussion zum Vortragsthema. Thematisch stehen die Vorträge regelmäßig im engen Bezug zu aktuellen Forschungsinhalten des Instituts.
- *Seminarvorträge* (siehe Abschnitt 1.6) – Studierende erarbeiten semesterbegleitend selbstständig ein wissenschaftliches Thema und halten hierzu einen Vortrag auf deutsch oder englisch.
- *Master-Teamprojekt* (siehe Abschnitt 1.7) – Gruppen von mindestens drei Studierenden planen und führen ein Projekt durch, in welchem sie die Methoden und Kenntnisse aus dem Studium in der Praxis anwenden.

## Michael Honkomp



Ich bin im August 2022 für meine Bachelorarbeit ans Institut für Regelungstechnik gekommen und bin seitdem als Hilfwissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut tätig.

Ich habe nach meinem Abitur eine Lehre zum Kraftfahrzeugmechatroniker absolviert und direkt im Anschluss die Meisterschule im Kraftfahrzeugtechnikerhandwerk abgeschlossen. Nach all der praktischen Ausbildung habe ich mein Elektrotechnik-Studium an der TU Braunschweig begonnen und bin dann mit meiner Bachelorarbeit am Institut für Regelungstechnik gelandet. Im Rahmen der Bachelorarbeit habe ich mich mit probabilistischen Maßen für die Gütebewertung von Trajektorien für hochautomatisierte und autonome Fahrzeuge befasst.

Nach dem erfolgreichen Abschluss des Bachelorstudiums habe ich direkt das Masterstudium der Elektrotechnik begonnen und bin dem Science Track des Instituts beigetreten, um meine Begeisterung für das wissenschaftliche Arbeiten weiter zu fördern und einen tieferen Einblick in die Institutsarbeit und die Forschung des Instituts zu gewinnen. Ich beschäftige mich seit dem Start im Science Track in Zusammenarbeit mit Marvin Loba mit der quantitativen Abbildung und Propagation von Unsicherheiten in der Sicherheitsargumentation für Automotive-Anwendungen. Im Rahmen meines Masterstudiums vertiefe ich mich zusätzlich in den Bereichen der theoretischen und praktischen Regelungstechnik und der Systemtheorie.

## Abgänge

### Till Menzel

*von Marcus Nolte*

„Moin!“ – Mit Till hat uns im Sommer einer unserer dienstältesten Mitarbeiter in Richtung der Industrie verlassen. Ich selber kenne Till seit dem ersten Tag unseres gemeinsamen Studiums (man ist das lang her...). Von daher ist es schon irgendwie seltsam, dass der Platz in Büro 702 plötzlich frei ist.

Allerdings kann ich so auch berichten: Tills Interesse für das automatisierte Fahren und auch seine Zeit am Institut begannen früh. Schon im zweiten Semester wurde er (gerüchteweise nach einer „1,0“ in Grundlagen der Elektrotechnik) als HiWi bei Richard Matthaei mit der Dokumentation unserer inzwischen „alten Dame“ Leonie betraut. Nach Stationen im Team CDLC (Till kann deutlich besser programmieren als löten) und erfolgreichen Carolo-Cup Teilnahmen sowie Bachelor- und Masterarbeit am Institut hat er sich nach Abschluss seines Masters dann dafür entschieden, dem Institut treu zu bleiben. Vom Experten für die Poseschätzung („Einzahl! Man schätzt nur eine!“) wurde Till auf dieser Reise zum Experten für Szenarien und Wissensrepräsentation. Wurden Konzepte sehr abstrakt und Diskussionen zu „meta“ konnte man so immer auf Tills nordisch-rationales Gemüt zählen, um die in solchen Diskussionen verknoteten Gehirne wieder zu entknoten.

Abseits der abstrakten Arbeit ist Till allerdings auch der trainierteste Boulderer in unserer Gruppe und lässt auch technischere Routen gerne mal einfach aussehen. Manchmal auch so einfach, dass Andere, deren Ehrgeiz beim Zuschauen geweckt wird, reihenweise wie nasse Säcke

aus der Wand fallen. Und dabei auch gerne mal von einem nordisch-trockenen „tjo“ begleitet werden.

Nordisch beschreibt im Übrigen auch Tills Humor sehr treffend (er kommt aus einer kleinen Stadt am Nord-Ostsee-Kanal, für uns Niedersachsen also fast schon aus Dänemark): Manchmal zurückhaltend, etwas trocken, aber immer pointiert in der Lage, den Büroalltag aufzulockern. In diesem Sinne möchte ich mich bei Dir für viele Jahre mit unzähligen spannenden bis lustigen Diskussionen, langen CDLC-Testabenden, der ein oder anderen Wanderung und dem ein oder anderen Whisky (und allem anderen, was ich jetzt vergessen habe) bedanken. – Und Dir alles gute für Deine private und berufliche Zukunft wünschen – „Tschüss!“.

## **Peter Schwetge**

*von Veronika Krapf*

Als ich vor etlichen Jahren nach Braunschweig wechselte, gehörte Peter Schwetge schon zum Urgestein des Instituts für Regelungstechnik. Der damalige Institutsleiter Walter Schumacher hatte ihn im Frühjahr 2002 als Spezialisten für erforderliche Lötarbeiten eingestellt. Und in der Tat – mit im Auge eingeklemmter Lupe vermochte er wahre filigrane Meisterwerke an SMD (surface mounted devices) zu fertigen. Auch auf weniger kleinteilig diffizile Aufgaben wie das Konfektionieren von Kabeln verstand er sich perfekt. Für mich war Peter immer erste Anlaufstelle, wenn irgendein Gerät im Büro mal wieder seinen Dienst versagte. Peter wusste, ob und wie sich eine Reparatur bewerkstelligen ließ. Seine freundliche, hilfsbereite Art habe ich im oft hektischen Institutsalltag als wohltuend erlebt. Er sprang immer ein, wenn irgendwo Not am Mann war.

Auf seine Urlaubsberichte war ich immer besonders gespannt. Oft hatten seine Reisen ihn, den passionierten Motorradfahrer, in entlegene Gebirgsregionen Europas geführt. In Begleitung seiner Frau erkundete er das Innere Sardiniens und Korsikas. Ganz besonders aber hat es ihm der Balkan angetan. Eindrucksvoll die Fotos und Erzählungen von mehrwöchigen Touren mit Freunden über die Pässe in Albanien und Mazedonien.

Mitte des Jahres hat Peter das IfR verlassen, um seinen wohlverdienten Ruhestand anzutreten. Wir vermissen das gute kollegiale Zusammensein mit dir, Peter, und wünschen dir für die kommenden Jahre alles Gute, gute Gesundheit, noch viele schöne Reisen in die Nähe und die Ferne und viel Freude an deinen Kindern und Kindeskindern.

## **Tobias Schröder**

*von Leon Johann Brettin*

### **„Die autoELF ist fertig!“**

Dass dieser Satz Wirklichkeit wurde...dafür bist Du maßgeblich mit verantwortlich. 5 Jahre waren es, in denen Du die Gelegenheit hattest am UNICARagil-Projekt mitzuwirken. Vor 5 Jahren, als Du das erste Mal einen Fuß hier ans Institut gesetzt hattest, gab es noch fast nichts. Kein fertiges Fahrzeug, keinen konkreten Plan, sondern nur eine Idee: den Bau eines autonomen Familienfahrzeugs. Mit diesen Informationen bist Du damals, kurz nach Projektbeginn, mit Torben und Inga zum Konsortialtreffen gefahren. Gerne erzählst Du auch noch heute von der Anfangszeit von UNICARagil, von den ersten Diskussionen in ersten Meetings zum Projekt, von Begebenheiten bei den ersten Abendveranstaltungen und von Erlebnissen in der Geisterbahn mit den anderen Konsortialteilnehmern. In den fünf Jahren von UNICARagil hast Du

keines der Konsortialtreffen je verpasst und warst immer bereit, auch Arbeiten zu übernehmen, die eben gemacht werden mussten. Ein Beispiel hierfür ist die Konstruktion des Erprobungsfahrerarbeitsplatzes, für den es auf einmal jemanden brauchte und welcher, auch dank dir, kurz vorm Abschluss von UNICAR*agil* in allen Fahrzeugen zum Testen der Fahrfunktion genutzt werden konnte. Dank deiner lösungsorientierten Arbeitsweise hast Du Probleme lösen können, die eben gelöst werden mussten, damit die Elfe als Fahrzeug zu dem wurde, was sie heute ist. So wurden Urlaube geschoben, Sitze beschafft und am Wochenende gearbeitet, alles für das große Ziel, in dem Projekt das zu schaffen, was eben geschafft werden musste.

In deiner Zeit hast Du auch viele Studierende dafür begeistern können, an diesem Ziel mitzuarbeiten. So war in den Endphasen eigentlich immer etwas los in der Fahrzeughalle und es wurde mit guter Laune und einem gelegentlichen Feierabendbier gemeinsam probiert, geschraubt und (*Du vielleicht etwas weniger*) programmiert. Aber nicht nur die Studierenden konntest Du begeistern: Auch mich hast Du damals von meinem eigenen Thema *abgeworben* (wie Markus es immer wieder gerne beschreibt) und dafür gesorgt, dass ich damals immer stetiger mehr zu tun gesehen habe, um das Fahrzeug zu einem digitalen Wohnzimmer zu machen. Doch nach viel Arbeit, Einsatz und Engagement ist das Fahrzeug, und damit auch der Grund, weswegen Du damals gekommen bist, nun fertig und deine Zeit am Institut damit auch vorüber. Du bist wieder zurück gegangen zu einem großen Automobilhersteller in der Region, stehst aber im persönlichen Austausch dem Institut immer noch nahe und lässt dich gerne auch nochmal zu einer gemütlichen Runde blicken.

Alles Gute auf deinem weiteren Weg und vielen Dank für deine Zeit hier am Institut!

**Teil I**

# **Berichte aus der Lehre**



# **1 Neues aus der Lehre**

## 1.1 Absolvierte Industriepraktika

Im akademischen Jahr 2022/2023 wurden Industriepraktika von unserer Arbeitsgruppe bei folgenden Firmen betreut:

- carValoo GmbH (Thyssen Krupp AG)
- EDAG Engineering GmbH
- FEV Norddeutschland GmbH
- IAV GmbH
- Lions Racing Team e.V.
- Mercedes-Benz Group AG
- Pilz GmbH
- Recycling Fabrik GmbH
- Umlaut Systems GmbH
- Volkswagen AG

## 1.2 Advanced Topics in Automotive Systems Engineering

*von Niklas Braun*

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

In den Terminen halten die Teilnehmenden einen wissenschaftlichen Fachvortrag zu einem zuvor festgelegten Thema. Bei der Ausarbeitung ihrer Vorträge werden die Studierenden von einem\*einer wissenschaftlichen Mitarbeiter\*in betreut. Nach einer an jeden Vortrag anknüpfenden Fragerunde geben die Teilnehmenden der Veranstaltung den Vortragenden ausführliches Feedback zur Vortragsweise. Darüber hinaus nimmt ein\*e Expert\*in des Sprachenzentrums an der Veranstaltung teil und gibt detaillierte Rückmeldung zur Ausdrucksweise sowie zum Vortrag insgesamt. Die Veranstaltung bietet sowohl Studierenden als auch wissenschaftlichen Mitarbeiter\*innen die Möglichkeit, unterschiedliche Kompetenzen zu verbessern. So wird nicht nur das Erarbeiten und das Präsentieren eines wissenschaftlichen Themas praktiziert, sondern auch das Geben und Nehmen von Kritik sowie das fachliche Diskutieren auf Englisch. Die Teilnehmenden werden so auf die Vorstellung von Forschungsergebnissen auf internationalen Konferenzen, aber auch auf das spätere Berufsleben vorbereitet.

Motiviert durch die anfänglichen Diskussionen im Themenfeld Sicherheit und Risiko, dessen Aktivitäten in Abschnitt 5.1 näher beschrieben sind, wurde in der diesjährigen Ausgabe der Advanced Topics ein Schwerpunkt auf die Risikokommunikation automatisierter Fahrzeuge gelegt. In zwei Veranstaltungsblöcken zu diesem Thema haben sich Studierende und wissenschaftliche Mitarbeiter\*innen in Kleingruppen mit verschiedenen Aspekten der stakeholdergerechten Kommunikation auseinandergesetzt. Unter anderem stellen die unter den Stakeholdern stark variierenden Kenntnisse domänenspezifischer Sprache, der Zugang zu und Bereitschaft zur Nutzung von Kommunikationskanälen sowie die vielfach verknüpften Anwendungsfälle und Artefakte von Kommunikation bedeutende Herausforderungen dar. Weiterhin bestehen offene Fragen bezüglich der Kommunikationsinhalte und der Verantwortung für die Kommunikation. In ihren Vorträgen haben Stu-

dierende verschiedene Aspekte der Diskussion aufgegriffen und teils zum Gegenstand, teils zum Mittel ihrer eigenen Kommunikation während ihrer Vorträge gemacht.

Wie bereits in den Vorjahren wurde die Veranstaltung im Sommersemester 2023 durch die englischsprachige Kommunikationstrainerin Linda Block unterstützt. Erstmals seit 2020 fand die Veranstaltung wieder in Präsenz statt. Durch einen hohen Anteil an Teilnehmenden, die im Rahmen internationaler Austauschprogramme an die TU Braunschweig gekommen sind, war die Veranstaltung auch in diesem Jahr wieder sehr international geprägt. Die Präsentation wissenschaftlicher Inhalte und deren kritische Bewertung waren für die meisten Teilnehmenden neue Erfahrungen.

Im Jahr 2023 wurden die folgenden Vorträge gehalten:

- AI Safety in Automotive Engineering
- Prediction of Semantic Segmentation Masks and Latent Representations
- Safety, Risk and Acceptance: Communicating Assumptions – an Engineering Perspective
- Vehicle Horizontal Dynamics Control – Utilizing Analytical Wheel Force Allocation and Single-wheel Control
- Data-Driven Generation of Scenarios for the Assessment of Automated Vehicles
- Waymo – Overview of Published Research and Operational Insights
- Stilgoe & Cohen – Rejecting Acceptance: Learning from Public Dialogue on Self-Driving Vehicles

- Supporting Trust through Knowledge of ADAS and ADS
- Deep Ensembles and Dropout Methods – what it has to do with Uncertainty
- A Concept for Self-aware Road Vehicles
- Shared Control and Decision Making
- Inherent Risk in Automated Driving – How Systems Engineering can (Maybe) Help Engineers Communicate
- Toward Automated Driving using Scenario-Based Development and Test Approaches and Simulation

## 1.3 Oberseminar Elektronische Fahrzeugsysteme (Advanced Seminar Electronic Vehicle Systems)

*von Marvin Loba*

### **English Abstract**

The Oberseminar “Electronic Vehicle Systems” was conducted in the winter semester 2022/2023 and in the summer semester 2023. The seminar was held as a five-day block course in both semesters. In both semesters, the event was hosted virtually and, in addition to providing insights into scientific work, held exciting contributions from renowned speakers from around the world for the attending graduate students.

The Oberseminar offers a format for interested students and academic staff in which they can get to know academic presentations and discussions at the highest international level. It also offers introductory courses in scientific work. Ambitious students are thus given a good

basis for deciding whether they want to do in-depth academic work, for example as part of a dissertation.

In addition to a wide range of participants from across Germany, including representatives from the automotive industry and various university chairs, the virtual setup allowed for vivid international participation from other countries in Europe, China, Canada, and the USA. Recurring participants include the research groups of Chris Gerdes (Stanford University, USA), Jason Millar (University of Ottawa, Canada), Krzysztof Czarnecki (University of Waterloo, Canada) and Hong Wang (Tsinghua University, China). Last year, the working group of Martin Törngren (KTH Royal Institute of Technology, Stockholm) also joined the seminar. And for the first time representatives of manufacturers headquartered in the U.S. (Waymo, NVIDIA, and Pony.AI) and researchers from the U.S. National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) participated with a presentation.

Thematically, the topics listed in tables 1.1 and 1.2 were discussed intensively. We would like to thank all presenters for their participation. At the same time, thanks go to all participants for their lively and insightful contributions. We are already looking forward to welcoming many familiar faces in the next academic year.

<b>Speaker</b>	<b>Title of presentation</b>
Hong Wang (Tsinghua University)	Research on SOTIF in Decision-making for Autonomous Vehicles in Urban Complex Traffic Scenarios
Markus Maurer (TU Braunschweig)	A Framework for Ensuring Safety of Autonomous Vehicles
Richard Schubert (TU Braunschweig)	Introduction to Scientific Work I
Markus Maurer (TU Braunschweig)	Workshop: Inherent Risk – Shaping a Dialog with Society

<b>Speaker</b>	<b>Title of presentation</b>
Martin Törngren (KTH Royal Institute of Technology)	An Open Research Testbed for Connected Automated Vehicles
Elliot Weiss (Stanford University)	Shared Decision Making and Control: Recent Progress and Future Ideas for TU Braunschweig
Chris Gerdes (Stanford University)	Translating Legal Requirements on Human Drivers to Engineering Requirements on Automated Vehicles
Marvin Loba (TU Braunschweig)	Introduction to Scientific Work II
Leon Johann Brettin (TU Braunschweig)	Introduction to Scientific Work III
Marco Pavone (Stanford University, NVIDIA)	AI Safety for Autonomous Vehicles
Nayel Fabian Salem (TU Braunschweig)	Risk Management Core - Towards an Explicit Representation of Risk in Automated Driving
José Sanchez (KTH Royal Institute of Technology)	Situational Awareness for Autonomous Agents Under Limited Sensing
Jason Millar (University of Ottawa)	CRAiEDL – Research Activities and Identification of Joint Work Potentials
Agapius Bou Ghosn (MINES Paris Tech)	Learning-Based Observers Applied to the Stadtpilot Vehicle

Tabelle 1.1: Topics of the Oberseminar in winter semester 2022/2023

<b>Speaker</b>	<b>Presentation of title</b>
Hong Wang (Tsinghua University)	Chinese SOTIF Solution for Intelligent and Connected Vehicles
Richard Schubert (TU Braunschweig)	Conformal Prediction of Motion Control Performance for Automated Vehicles
Richard Schubert (TU Braunschweig)	Introduction to Scientific Work I
Vanessa Stange (TU Braunschweig)	Families' Perspectives on Autonomous Vehicles

<b>Speaker</b>	<b>Presentation of title</b>
Torsten Fleischer (Karlsruher Institut für Technologie)	Safety and Acceptance – A View of Two Mysteries
Leon Johann Brettin (TU Braunschweig)	Introduction to Scientific Work II
Steven Peters (TU Darmstadt)	Purpose of AD – the Darmstadt View on Automated Vehicles
Elliot Weiss (Stanford University)	Technology and Knowledge Transfer with TU Braunschweig
Steven Shladover (University of Berkeley)	Practical Challenges to Assessing the Safety of Driverless Vehicle Operations in an Urban Environment
Markus Maurer, Nayel Fabian Salem, Marcus Nolte und Marvin Loba (TU Braunschweig)	German Round Table “Autonomous Driving” - Focus Area “Safety and Risk”
Bowen Weng (Transportation Research Center Inc. on assignment to NHTSA U.S. DoT)	On Performance Metrics of Automated Driving Systems: Algorithms and Diversity Analysis
Andreas Reschka (Pony.AI)	From SAE L4 to L3 and L2+ – a Global Perspective
Marvin Loba (TU Braunschweig)	Introduction to Scientific Work III
Francesca Favaro, Trent Victor, Kris Kusano, Johan Engstrom, Scott Schnelle (Waymo LLC)	Safety Impact for Automated Driving System - An Analysis of the Waymo Driver Performance

Tabelle 1.2: Topics of the Oberseminar in summer semester 2023

*Please find the German version below.*

Das Oberseminar „Elektronische Fahrzeugsysteme“ wurde im Wintersemester 2022/2023 und im Sommersemester 2023 angeboten. Das Seminar fand in beiden Semestern als fünftägige Blockveranstaltung statt. In beiden Semestern wurde die Veranstaltung virtuell ausgerichtet und hielt neben Einblicken in das wissenschaftliche Arbeiten für die anwesenden Masterstudierenden spannende Beiträge renommierter Vortragender aus der ganzen Welt bereit.

Das Oberseminar bietet ein Format für interessierte Studierende und wissenschaftliche Mitarbeiter, in dem sie wissenschaftliche Präsentationen und Diskussionen auf höchstem internationalen Niveau kennenlernen dürfen. Es bietet zusätzlich Einführungskurse in das wissenschaftliche Arbeiten. Ambitionierte Studierende erhalten damit eine gute Entscheidungsgrundlage, ob sie – etwa im Rahmen einer Dissertation – vertieft wissenschaftlich arbeiten wollen.

Neben einem breit über Deutschland gestreuten Teilnehmerkreis mit Vertretern der Automobilindustrie sowie unterschiedlicher Lehrstühle erlaubte das virtuelle Setup eine rege internationale Beteiligung aus anderen europäischen Ländern, China, Kanada und den USA. Wiederkehrende Teilnehmer sind dabei unter anderem die Forschungsgruppen von Chris Gerdes (Stanford University, USA), Jason Millar (University of Ottawa, Kanada), Krzysztof Czarnecki (University of Waterloo, Kanada) und Hong Wang (Tsinghua University, China). Im vergangenen Jahr konnten zusätzlich die Arbeitsgruppe von Martin Törngren (KTH Royal Institute of Technology, Stockholm) als teilnehmende Partei gewonnen werden. Zudem nahmen erstmalig Vertreter von Herstellern mit Hauptsitz in den USA (Waymo, NVIDIA und Pony.AI) und Forscher der US-Bundesbehörde für Straßen- und Fahrzeugsicherheit NHTSA mit einem Vortrag teil.

Thematisch wurden die in Tabellen 1.1 und 1.2 aufgelisteten Themen intensiv diskutiert. Allen Vortragenden sei herzlich für ihre Beteiligung gedankt. Gleichzeitig gilt sämtlichen Teilnehmenden Dank für die lebhaften und erkenntnisreichen Diskussionsbeiträge. Wir freuen uns bereits, zahlreiche bekannte Gesichter auch im nächsten akademischen Jahr begrüßen zu dürfen.

## 1.4 Prüfungsergebnisse

Im Berichtszeitraum wurden folgende schriftliche Prüfungen abgelegt:

<b>Name des Fachs</b>	<b>Anzahl der Prüfungen</b>	<b>Durchschnitts- note</b>
Datenbussysteme	56	3,19
Elektromagnetische Verträglichkeit	42	3,6
Elektronische Fahrzeugsysteme	55	3,5
Fahrzeugsystemtechnik	47	3,19
Automatisierte Straßenfahrzeuge: Von der Assistenz zur Autonomie	33	3,36
Grundlagen der Elektrotechnik	100	3,6

Tabelle 1.3: Anzahl der Prüfungen im Rahmen unserer Lehrveranstaltungen

## 1.5 Seminar und Praktikum Modellfahrzeugbau

*von Bernd Amlang*

Seit dem Wintersemester 2021/2022 bietet die Arbeitsgruppe für elektronische Fahrzeugsysteme die Veranstaltung „Seminar und Praktikum Modellfahrzeugbau“ an. Die Veranstaltung wurde mit dem Ziel gestartet, Studierenden in frühen Semestern Einblicke in handwerkliche Tätigkeiten zu ermöglichen und sie erste Erfahrungen mit der Konzipierung, Entwicklung und Realisierung technischer Systeme sammeln zu lassen. Ein weiterer Aspekt ist der Wissenstransfer im Bereich des Projektmanagements. Hierbei wird den Studierenden die Möglichkeit gegeben, eine umfangreiche Aufgabe über einen längeren Zeitraum selbstorganisiert in einem Team zu lösen.

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

Nachdem die beiden erstmaligen Durchgänge mit jeweils einer Gruppe erfolgten, hatten wir im Sommersemester 2023 vier Gruppen mit insgesamt 11 Teilnehmern und Teilnehmerinnen. Auch in diesem Semester hatten die Teilnehmenden die Aufgabe, ein Fahrzeug zu realisieren, das einem Leitdraht folgt. Diese Aufgabe konnte, trotz der großen Motivation der Teilnehmenden, nicht von allen Gruppen erfolgreich gelöst werden.

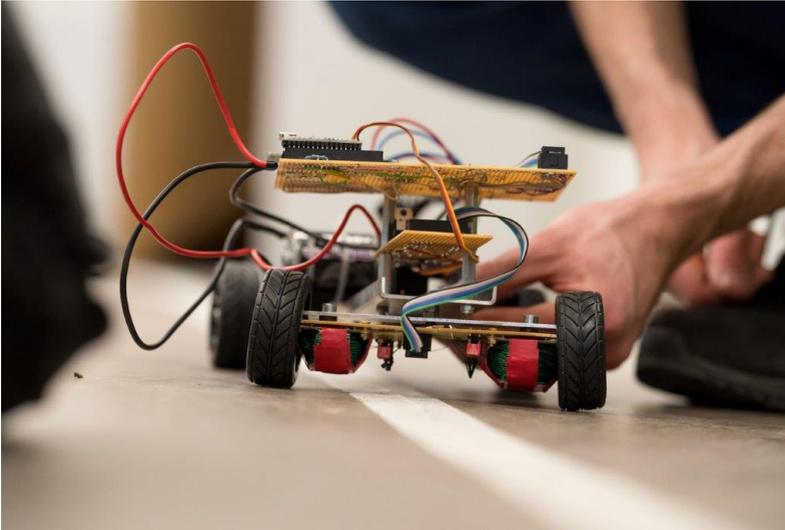


Abbildung 1.1: Modellfahrzeug, das im Rahmen des Labors aufgebaut wurde.

## 1.6 Seminarvorträge

*von Niklas Braun*

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

und Halten wissenschaftlicher Vorträge sowie im Geben und Nehmen von Feedback zu sammeln.

Im vergangenen Jahr wurden die folgenden Vorträge gehalten:

### **Wintersemester 2022/2023**

- Unsicherheiten in einer Sicherheitsargumentation
- Absicherung von Wahrnehmungsfunktionen, die auf maschinellem Lernen basieren
- SCRUM for Safety – SCRUM im sicherheitskritischen Kontext
- Teleoperation außerhalb Deutschlands und der USA
- Kommunikation von Fahrfunktion zu Mensch – eine Übersicht
- Der Ansatz der Kritikalitätsanalyse und ihr Beitrag zur Absicherung automatisierter Fahrzeuge
- Teleoperation: Research and Application in China
- Trajektorienplanung unter Unsicherheit
- Welchen Zweck hat die Verhaltensspezifikation automatisierter Fahrsysteme? – eine Einordnung im Rahmen der ISO 21448

### **Sommersemester 2023**

- Francesca Favarò – Safety Supervisory Control, Mode-Based Hazard Monitoring, and Temporal Logic
- Rust in Safety Critical Systems
- Herausforderungen bei der Auswertung von Unsicherheiten maschineller Perzeption

- Anwendung der Subjective Logic nach Jøsang für die Unsicherheitspropagation in Safety Cases
- Vergleich von Teleoperationssystemen in verschiedenen Domänen
- Deep Kalman Filter
- Lane Keeping Assist – Regulierung, Kundenerwartung und Systemausprägungen
- Nancy Levesons Perspective on “A Systems Approach to Safety and Resilience”

## 1.7 Teamprojekt

von Robert Graubohm

Das Teamprojekt ist eine Studienleistung im Masterstudiengang *Elektronische Systeme in Fahrzeugtechnik, Luft- und Raumfahrt*. Darüber hinaus ist eine Durchführung alternativ zum Industriepraktikum in weiteren Masterstudiengängen der *Fakultät für Elektrotechnik, Informationstechnik, Physik* möglich. Gruppen von mindestens drei Studierenden führen in diesem Modul anhand einer übergeordneten Themenstellung die Umsetzung eines informationstechnischen Systems auf Basis von Analyse- und Entwurfsmethoden beispielhaft durch. Durch die semesterbegleitende, zeitlich begrenzte und in großen Teilen selbstorganisierte Gruppenarbeit werden dabei auch projektorientiertes Vorgehen im Team und interdisziplinäre Herangehensweise vermittelt. Am Institut für Regelungstechnik werden für das Teamprojekt Aufgabenstellungen aus den Forschungsthemen *Automatisiertes Fahren, Fahrdynamik* und *Fahrzeugsystemtechnik* bearbeitet. Darüber hinaus ist die Absolvierung des Teamprojekts im Zuge fortgesetzter Mitarbeit in einer studentischen Initiative dieser Felder möglich. Inhalt und Ausrichtung der Themen werden in jedem Semester an den aktuellen Arbeitsstand aktueller Projekte des Instituts angepasst. Dadurch können die Studierenden neben Soft Skills und praktischen Erfahrungen auch einen Einblick in den aktuellen Stand der Forschung erhalten. Da in den Forschungsprojekten häufig Versuchsträger entwickelt und betrieben werden, können Studierende vielfach die Ergebnisse ihrer Arbeiten auch praktisch erleben.

In den beiden vergangenen Semestern wurden folgende Themen behandelt:

- Development and implementation of a robust lane calculation for an automated model vehicle
- Gestaltung und Implementierung einer Webseite zur Darstellung von Informationen zu autoELF

## 1.8 Übersicht angebotener Lehrveranstaltungen

Folgende Veranstaltungen haben wir im Wintersemester des vergangenen akademischen Jahrs angeboten:

<b>Veranstaltung</b>	<b>Vortragende</b>
Datenbussysteme	Dr.-Ing. Marcus Grobe
Elektronische Fahrzeugsysteme	Prof. Dr.-Ing. Thomas Form
Fahrzeugsystemtechnik	Prof. Dr.-Ing. Markus Maurer
Grundlagen der Elektrotechnik 1	Prof. Dr.-Ing. Markus Maurer
Hochvoltsicherheit im Kraftfahrzeug	Dipl.-Ing. Bernd Amlang
Teamprojekt	M. Sc. Robert Graubohm
Oberseminar Elektronische Fahrzeugsysteme	Prof. Dr.-Ing. Markus Maurer
Seminar und Praktikum Modellfahrzeugbau	Prof. Dr.-Ing. Markus Maurer

Tabelle 1.4: Veranstaltungen im Wintersemester 2022/2023

Folgende Veranstaltungen haben wir im Sommersemester des vergangenen akademischen Jahrs angeboten:

<b>Veranstaltung</b>	<b>Vortragende</b>
Advanced Topics in Automotive Systems Engineering	Prof. Dr.-Ing. Markus Maurer
Automatisierte Straßenfahrzeuge: von der Assistenz zur Autonomie	Prof. Dr.-Ing. Markus Maurer
Elektromagnetische Verträglichkeit in der Fahrzeugtechnik	Prof. Dr.-Ing. Thomas Form
Grundlagen der Elektrotechnik 2	Prof. Dr.-Ing. Markus Maurer
Teamprojekt	M. Sc. Robert Graubohm
Oberseminar Elektronische Fahrzeugsysteme	Prof. Dr.-Ing. Markus Maurer
Seminar und Praktikum Modellfahrzeugbau	Prof. Dr.-Ing. Markus Maurer
Test automatisierter Fahrfunktionen in der Simulation	M. Sc. Markus Steimle

Tabelle 1.5: Veranstaltungen im Sommersemester 2023



## 2 Abgeschlossene studentische Arbeiten

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

*Entwurf und Implementierung einer formalen Verhaltensspezifikation automatisierter Straßenfahrzeuge am Beispiel eines urbanen Anwendungsfalls, Masterarbeit, 2022*

*Untersuchung probabilistischer Maße für die Gütebewertung geplanter Trajektorien, Bachelorarbeit, 2022*

*Beiträge zur Anwendung des Sicherheitslebenszyklus automatisierter Fahrsysteme auf das teleoperierte Fahren, Masterarbeit, 2023*

*Entwicklung und Evaluierung eines probabilistischen Ansatzes zur Objektdetektion und -verfolgung für Mixed-Reality-Anwendungen im Versuchsfahrzeug X1, Masterarbeit, 2023*

*Entwurf eines Innenraumwahrnehmungssystems für ein autonomes Familienfahrzeug, Masterarbeit, 2023*

*Entwurf eines Systems zur Zugangskontrolle für ein autonomes Familienfahrzeug, Bachelorarbeit, 2023*

*Evaluierung der Eignung von OpenX-Formaten für die Entwicklung einer Laufzeitumgebung, Bachelorarbeit, 2023*

*Herleitung einer Sicherheitsargumentation eines automatisierten Fahrsystems unter der Verwendung von Sicherheitsanalysen, Masterarbeit, 2023*

*Identifikation einer Funktion zur Abbildung von Aktorpotentialen auf das Gütemaß eines Trajektorienfolgereglers, Masterarbeit, 2023*

*Konzeption und Implementierung eines Werkzeuges für die Integration von ontologiebasierten Konzepten in eine modellbasierte Entwicklungsplattform, Masterarbeit, 2023*

*Umgang mit SOTIF in internationalen Initiativen im Kontext der Inhalte der SOTIF-Norm ISO 21448, Masterarbeit, 2023*

*Unterstützung der szenarienbasierten Validierung automatisierter Fahr-systeme in der Simulation mit Hilfe von Design Contracts, Masterarbeit, 2023*

**Teil II**

**Berichte aus der  
Forschung**



# 3 Wissenschaftlicher Austausch

## 3.1 Research stay of Agapius Bou Ghosn

*von Agapius Bou Ghosn*

In September 2022, the collaboration between Mines Paris and TU Braunschweig resulted in my three-month visit to Braunschweig to test learning-based control strategies on autonomous vehicles located in the laboratory of the Institute for Control Engineering of the university.

My Ph.D. thesis focuses on using neural networks to represent the complex dynamics of vehicles, especially in high dynamic maneuvers, where conventional, deterministic vehicle models fail. As the thesis targets different aspects of the architecture of the autonomous vehicle, it puts great focus on vehicle state observers. Having proven the power of learning-based observers in comparison with deterministic ones in simulated environments, the visit to TU Braunschweig aimed to show the extension of the developed work to actual vehicles.

The work was effected mainly on the Stadtpilot vehicle shown in Figure 3.1. The vehicle is equipped with standard in-car sensors and a high-precision iTraceRT sensor.

The vehicle was used to collect sensor data in low-dynamic and high-dynamic drives to be able to develop velocity and side-slip angle learning-based observers. The goal was to use the standard in-car sensors to provide estimates as close as possible to the high-precision iTraceRT sensor. The overall work was divided into four phases: data collection, architecture definition, training, and testing. The realized



Abbildung 3.1: Stadtpilot vehicle.

tests have shown the effectiveness of the provided methods with respect to several state-of-the-art deterministic and learned methods.

Many researchers at the Institute gave the experiments great importance and were dedicated to the success of the mission. In particular, Marcus Nolte, a highly skilled Ph.D. student at the Institute invested time and effort in the data collection procedure and the solution development.

The work done at the Control Institute in TU Braunschweig has led to a contribution in the field of learning-based observers which was presented at the IEEE Intelligent Vehicles Symposium in Anchorage, Alaska, USA.

## 3.2 Research stay of Elliot Weiss

*von Elliot Weiss*

This summer, I had the amazing opportunity to conduct a three-month research exchange in Prof. Markus Maurer's group at the Institut für Regelungstechnik. I have been collaborating remotely with the group for more than three years, and I had always hoped to visit the lab for a longer period of time to work together in person. During a visit last October from Prof. Maurer to our group at Stanford (the Dynamic Design Lab under Prof. Chris Gerdes), we arranged for me to visit the IfR and implement some of my code on their test vehicles.

My PhD work involves developing novel shared control systems and testing these systems on a Human&Vehicle-in-the-Loop (Hu&ViL) platform that combines virtual reality with a full-sized vehicle. Since the Hu&ViL platform I built up at Stanford is based on a similar system at TU Braunschweig (called "ViL"), there was a clear opportunity to test my shared control system on this original Hu&ViL platform in the IfR. Through modifications to the computer architecture present on ViL and various adaptations to my code to account for the differences in hardware between the two platforms, we got the system working and were able to run numerous experiments at the Eddesse Flughafen proving ground (see Figure 3.2). These experiments enabled a wide range of users at the institute to try driving with my shared control system for the first time, providing countless new insights on my work.

This exchange enabled collaboration on a multitude of additional topics. One particularly interesting area that I explored this summer with fellow PhD student Leon Brettin was vehicle teleoperation. Using the knowledge needed to transfer my shared control system to TU Braunschweig, we were able to quickly build up a low-latency remote operation



Abbildung 3.2: Elliot Weiss running the shared control system on ViL on the proving ground in Peine-Eddesse.

system on ViL for prototyping future teleoperation concepts (see Figure 3.3). This system displays a virtual version of the real driving scene for the operator, eliminating the need to send large quantities of HD video data. Getting to develop a teleoperation system at IfR during my research exchange was an unexpected and very exciting project.

The work this summer was only possible with extensive support from Markus Steimle, who worked side-by-side with me to solve all of the technical challenges that arose while trying to implement code on a new hardware system. I would also like to thank Prof. Maurer and the rest of the staff in the IfR for welcoming me and making sure I had everything I needed for a successful research exchange. Lastly, thank you to my labmates in the IfR for being great collaborators and even better friends.



Abbildung 3.3: Leon Brettin using the remote operation system on ViL on the Campus Nord of TU Braunschweig.

### 3.3 Kolloquium „Elektronische Fahrzeugsysteme“

*von Marvin Loba*

Im Berichtszeitraum fand das Kolloquium „Elektronische Fahrzeugsysteme“ zum zweiten Jahr in Folge statt. Das Kolloquium ist ursprünglich dem Wunsch nach einem neuen Austauschformat für aktive Mitglieder, ehemalige Mitarbeiter sowie Freunde des Instituts entwachsen. Die Zielsetzung besteht einerseits darin, eine Plattform zu etablieren, die Diskussionen aktueller Themen aus dem Bereich des automatisierten Fahrens erlaubt. Andererseits soll die Möglichkeit im Vordergrund stehen, den Dialog zwischen Angehörigen und Freunden des Instituts über diesen Rahmen lebhaft zu gestalten und nachhaltig zu befördern. Im letzten Berichtszeitraum wurden zwei Treffen organisiert – eines fand virtuell statt, das andere hybrid.

Den ersten Beitrag lieferte Christian Labonte, Designstrategie bei der Audi AG. In diesem Vortrag teilte er grundsätzliche Gedanken zur Zukunft des Automobils. In den Mittelpunkt seines Vortrags rückte die Frage, wie das richtige Produktdesign dem Benutzer seinen Sinn und Zweck vermittelt. Am Beispiel der über hundertjährigen Geschichte des Automobils schlüsselte er die für das Produktdesign bestimmenden Faktoren – resultierend aus Technologie, Nutzerbedürfnissen und Markenidentität – auf. Dabei ging er auf die Transformation aus der Verbrennerwelt in die neue Welt des E-Antriebs ein. Zusätzlich vertiefte er zukünftige Herausforderungen, die das automatisierte Fahren für die Disziplin „Design“ mit sich bringen. Im Sinne eines möglichst geselligen Zusammenkommens wurde im Nachgang an die fachlichen Diskussionsrunden ein Raum für „virtuelle Geselligkeit“ geschaffen, in dem sich die Anwesenden anknüpfend austauschen konnten.

Tobias Schröder, der mittlerweile bei der Volkswagen ADMT Hannover GmbH tätig ist, hielt den zweiten Vortrag. Bei diesem blickte er auf seine Zeit am Institut zurück und gab Einblicke in die Konzeption und den Aufbau eines automatisierten Familienfahrzeugs. Konkret handelte es sich dabei um den Anwendungsfall *autoELF* aus dem Projekt UNICAR*agil* (siehe Abschnitt 4.5). In diesem Zuge wurden Hindernisse während der Innenraumintegration und die verfolgten Lösungsansätze dargestellt. Ein Schwerpunkt der Präsentation lag auf den Erkenntnissen, die aus eingehenden Anforderungsanalysen potentieller Nutzer eines Mehrgenerationenfahrzeugs hervorgingen. So wurde beispielsweise deutlich, dass die Gewährleistung von Barrierefreiheit durch automatisierte Fahrzeuge große Herausforderungen und somit zukünftigen Forschungsbedarf mit sich bringt. Im Nachgang zu der Präsentation gab es zusätzlich die Möglichkeit für die Teilnehmenden, das Fahrzeug *autoELF* direkt in der Fahrzeughalle am Campus Nord der TU Braunschweig zu begutachten.

Vortragender	Thema
Christian Labonte	Produktsemantik zukünftiger Mobilität
Tobias Schröder	autoELF – Konzipierung eines autonomen Familienfahrzeugs

Tabelle 3.1: Themen des Kolloquiums „Elektronische Fahrzeugsysteme“ im Jahr 2023

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

## 3.4 Workshop „Ensuring and Validating Safety for Automated Vehicles“ (EVSAV)

*von Marcus Nolte*

Der sichere Betrieb von automatisierten Straßenfahrzeugen im öffentlichen Straßenverkehr kann als zentrales Forschungs- und Entwicklungsziel der ITS-Community betrachtet werden. Zwingende Voraussetzung für den Betrieb im öffentlichen Straßenverkehr ist, dass ein Nachweis der Sicherheit der automatisierten Fahrfunktionen gelingt. Zwar gewinnt das Thema Sicherheit in der ITS-Community zunehmend an Bedeutung, ist in unserer Wahrnehmung jedoch immer noch unterrepräsentiert in den Veröffentlichungen, z. B. auf einschlägigen Konferenzen wie dem Intelligent Vehicles Symposium (IV) oder der Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC). Damit einher geht, dass die Forscherinnen und Forscher enger vernetzt sein können.

ten. 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 dem ersten Post-Covid-Workshop auf der IV 2022 in Aachen konnten wir uns dieses Jahr auf der IV in Anchorage, Alaska treffen. Der hybride Charakter des Workshops wurde, wie in 2022, beibehalten. Neben der Präsentation und Diskussion von eingereichten Beiträgen konnten wir das Programm wieder durch eingeladene Vorträge und eine gemeinsame Panel-Diskussionen ergänzen. Die Resonanz auf den Workshop ist nach wie vor hoch. Wir konnten vor Ort und online insgesamt etwa 50 Teilnehmerinnen und Teilnehmer begrüßen, die durch ihre Diskussionsbeiträge den Workshop bereichert haben. Auch die Zahl der Partner aus Wissenschaft und Industrie, die die Organisation des Workshops unterstützen, ist nach wie vor erfreulich groß. Wir wollen uns daher herzlich bei unseren Co-Organisatoren in diesem Berichtszeitraum bedanken:

- Ignacio Alvarez (Intel, USA),
- Nacer E. Chelbi (Université de Sherbrooke, Kanada),
- Krzysztof Czarnecki (University of Waterloo, Kanada),
- J. Christian Gerdes (Stanford University, USA),
- Denis Gingras (Université de Sherbrooke, Kanada),
- Jia Hu (Tongji Universität, China),
- Mykel Kochenderfer (Stanford University, USA),
- Arnaud de La Fortelle (MINES ParisTech, Frankreich),

- Maximilian Naumann (Karlsruher Institut für Technologie),
- Fabian Oboril (Intel),
- Marco Pavone (nvidia, Stanford University, USA),
- Christoph Stiller (Karlsruher Institut für Technologie),
- Martin Törngren (KTH, Schweden),
- Hong Wang (Tsinghua University, China) und
- Markus Maurer (IfR, virtuell).

Auch in 2023 wollen wir die Workshop-Reihe, dieses Jahr auf der ITSC in Edmonton, weiterführen.

<b>Title</b>	<b>Speakers &amp; authors</b>	<b>Time</b>
Opening Remarks	<i>Marcus Nolte</i>	08:30
On Quantification for SOTIF Validation of Automated Driving Systems <sup>1</sup>	<i>Lina Putze, Lukas Westhofen, Tjark Koopmann, Eckard Böde, Christian Neurohr</i>	08:35
Shaping Safety Concepts in the Iterative Design Process of Automated Driving Functions <sup>2</sup>	<i>Robert Graubohm</i>	09:05
AI Safety for Automated Vehicles <sup>2</sup>	<i>Apoorva Sharma</i>	09:35
Translating Legal Requirements on Human Drivers to Engineering Requirements on Automated Vehicles <sup>2</sup>	<i>J. Christian Gerdes</i>	10:35
Communicating Safety Assurance: The Forgotten Aspect <sup>2</sup>	<i>Siddartha Khastgir</i>	11:05
German “Round Table Automated Driving” — Focus Area “Safety & Risk”: Toward an Open and Transparent Debate about Chances and Risks of Automated Driving <sup>2</sup>	<i>Marcus Nolte</i>	11:35
Panel Discussion	<i>Moderation: Marcus Nolte, Participation: All attending persons</i>	12:05

<sup>1</sup>Workshop paper accepted in regular review process <sup>2</sup>Guest contribution

Tabelle 3.2: 6. Workshop „Ensuring and Validating Safety for Automated Vehicles“, Intelligent Vehicles Symposium 2023, June 4<sup>th</sup>, Anchorage, Organization: Marcus Nolte et al.

## **4 Beiträge in Forschungsprojekten**

## 4.1 ATLAS-L4

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

### **English Abstract**

The German Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action (BMWK) funds the research project *ATLAS-L4 (Automatisierter Transport zwischen Logistikzentren auf Schnellstraßen im Level 4)*, launched in January 2022, within a period of 3 years. The project ATLAS-L4 focuses on developing and deploying automated trucks (SAE Level 4) on highways. The project is intended to demonstrate that using such vehicles on the highway is feasible, thus laying the foundation for innovative transportation and logistics concepts. ATLAS-L4 pursues the following overarching goals: To effectively contribute to avoiding congestion and accidents, to operate vehicles fuel-efficiently, and to reduce the lack of drivers by eliminating less attractive driving tasks. The main contributions of researchers of the Institute of Control Engineering relate to vehicle safety. The assurance and validation of safe vehicle behavior is a mandatory prerequisite for releasing the vehicles to public road traffic. Researchers of the Institute of Control Engineering work on tasks with different focal points. When applying for approval of vehicle release to public traffic, manufacturers should provide an understandable argument that explains how the statement of a sufficient level of safety for the intended vehicle operation is supported by the collected development evidence. So, one way to prove the absence of unreasonable risks is to provide a structured safety argumentation. Providing a safety argumentation for a system without a human fallback presents manufacturers with new challenges. Hence, there currently is an urgent need for clarification on the safety argumentation required for an SAE Level 4 vehicle. One

aspect of demonstrating the necessary care in a product liability case is that development must be carried out according to the state of the art. Therefore, various standards and laws are analyzed in the project and discussed concerning the implications of complying with them for a safety argumentation. The topics of system safety in the context of functional safety (FuSi) and safety of intended functionality (SOTIF), as well as the self-monitoring of an automated vehicle, are investigated starting from an analysis of the requirements for the dynamic driving task. Our main contribution can be summarized as research on how to maintain traceability and explainability of these requirements throughout the system life cycle. Furthermore, the verification and safety validation of automated vehicles are considered in more detail. For this purpose, creating and implementing a corresponding test plan is investigated. Such a test plan is a written document that describes in detail the test objectives to be achieved (i.e., verification and safety validation) and the means and schedule for achieving them, organized to coordinate the testing activities. In addition, a functional system architecture for the vehicle system will be developed.

---

*Please find the German version below.*

Im Forschungsprojekt *ATLAS-L4*<sup>1</sup> (Automatisierter Transport zwischen Logistikzentren auf Schnellstraßen im Level 4) werden die Entwicklung und der Einsatz von automatisierten Lastkraftwagen (SAE Level 4) auf Autobahnen und Schnellstraßen erforscht. *ATLAS-L4* soll zeigen, dass der Einsatz von solchen Fahrzeugen auf der Autobahn machbar ist und so die Basis für innovative Transport- und Logistikkonzepte legen. Durch das automatisierte Fahren zwischen Logistikzentren auf der Autobahn werden in *ATLAS-L4* die folgenden übergreifenden Ziele

---

<sup>1</sup><https://www.atlas-l4.com>, abgerufen am 29.08.2023.

verfolgt: Leisten eines wirksamen Beitrags zur Vermeidung von Staus und Unfällen, verbrauchseffizienter Betrieb der Fahrzeuge und Eindämmung des Fahrpersonalmangels durch den Wegfall weniger attraktiver Fahraufgaben.

*Auszug aus der Pressemitteilung vom 29.03.2022<sup>2</sup> mit geringfügigen redaktionellen Änderungen:*

„In einer globalisierten Welt sind Lkw für den Transport von Waren unverzichtbar. Aber die Branche steht unter Druck: Staus verursachen allein in Deutschland jedes Jahr einen volkswirtschaftlichen Schaden in Milliardenhöhe und rund 90 Prozent der Unfälle auf den Straßen resultieren aus menschlichem Versagen. Zudem bremst der Mangel an Berufskraftfahrerinnen und -fahrern das Wirtschaftswachstum und könnte in Zukunft zu Versorgungsengpässen führen. Zahlen des Branchenverbands BGL (Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung e. V.) verdeutlichen den Ernst der Lage: In Deutschland fehlen schon heute mindestens 60.000 Fahrerinnen und Fahrer – und dieser Mangel wird sich weiter verschlimmern. Denn rund 17.000 Berufseinsteigerinnen und -einsteiger stehen jedes Jahr etwa 30.000 Berufskraftfahrerinnen und -fahrer gegenüber, die in Rente gehen.

Automatisierte Lkw gemäß SAE Level 4 bieten hier Lösungsansätze. Sie verbessern die Sicherheit im Verkehr, können dazu beitragen, Staus durch vorausschauende Planung zu reduzieren und

---

<sup>2</sup>„Presseinformationen – ATLAS-L4: Förderprojekt mit Partnern aus Fahrzeugindustrie, Softwareentwicklung, Wissenschaft und Verwaltung bringt autonome Trucks auf die Straße.“, ATLAS-L4 Projektkonsortium, Pressekontakt Gregor Jentzsch (MAN Truck & Bus), Pressemitteilung, URL: [https://www.atlas-l4.com/fileadmin/media/downloads/ATLAS/220329\\_Presseinformation\\_Atlas-L4-Projekt.pdf](https://www.atlas-l4.com/fileadmin/media/downloads/ATLAS/220329_Presseinformation_Atlas-L4-Projekt.pdf) (abgerufen am: 09.10.2023), 29.03.2022.

Einsatzzeiten zu optimieren. Zugleich fahren automatisierte Lkw gleichmäßiger, was sie kraftstoffeffizienter und somit umweltfreundlicher macht. Automatisierte Abläufe entlang der Lieferkette – beispielsweise auf Betriebshöfen, an Umschlagplätzen oder zwischen Logistikzentren – entlasten Fahrerinnen und Fahrer und können dazu beitragen, das Berufsbild attraktiver zu machen: Ein Gewinn für die Beschäftigten, die Gesellschaft, die Unternehmen und nicht zuletzt für die Umwelt.

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

Die 12 Partner aus Industrie, Wissenschaft und Infrastrukturbetreibern nahmen am 01. Januar 2022 ihre Arbeit auf. Jeder Partner bringt dabei seine individuelle Expertise in die Entwicklung des Prototypen-Lkws ein. Abbildung 4.1 zeigt ein Beispielfahrzeug. Das Projekt ATLAS-L4 wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) über eine Laufzeit von 3 Jahren (bis Dezember 2024<sup>3</sup>) gefördert.

Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik bearbeiten im Projekt ATLAS-L4 Aufgaben mit unterschiedlichen Schwerpunkten. Basierend auf der Analyse von einzuhaltenden Gesetzen und Normen werden die Erstellung einer Sicherheitsargumentation für ein automatisiertes Fahrzeug untersucht. Die Themen Systemsicherheit im Kontext der funktionalen Sicherheit (FuSi) und der Sicherheit der beabsichtigten

---

<sup>3</sup>Das Projekt wurde ursprünglich bis Dezember 2024 geplant, wurde aber erstmal nur bis September 2024 (wie im letzten Jahresbericht geschrieben) bewilligt. Mittlerweile wurde die ursprünglich geplante Projektlaufzeit bis Dezember 2024 bewilligt.



Abbildung 4.1: Beispielfahrzeug im Projekt ATLAS-L4 (Anmerkung: Das Logo des WIVW fehlt in dieser Abbildung) ©MAN

Funktionalität (SOTIF) sowie die Selbstüberwachung eines automatisierten Fahrzeugs werden ausgehend von einer Analyse der Anforderungen an die dynamische Fahraufgabe erforscht. Weiterhin werden die Gesamtfahrzeugverifikation und die Sicherheitsvalidierung automatisierter Fahrzeuge näher betrachtet. Dazu wird die Erstellung und Umsetzung eines zugehörigen Testkonzepts untersucht. Zusätzlich wird eine funktionale Systemarchitektur für das Fahrzeugsystem erarbeitet.

Die Einführung automatisierter Straßenfahrzeuge birgt diverse Herausforderungen. Die Komplexität des Kontexts der offenen Welt, in dem sich die zu entwickelnden Systeme zukünftig bewegen sollen, führt zu einer erhöhten Entwicklungsunsicherheit. Um einen Beitrag zur Risikoreduktion für den Betrieb der Systeme zu leisten, sollte die Entwicklung nach dem Stand der Technik erfolgen. Vor diesem Hintergrund ist unter anderem die Konformität mit etablierten Normen erforderlich. Diese kann helfen, die notwendige Sorgfalt während der Entwicklung im

Produkthaftungsfall zu belegen. Somit stellt die Konformität mit einschlägigen Normen insbesondere die Grundlage einer Freigabe der Fahrzeuge für den öffentlichen Straßenverkehr dar. Im Rahmen des Projekts wird daher eine Analyse relevanter Dokumente angestrebt, die unterschiedlichen Standardisierungsaktivitäten (ISO, IEC, IEEE, UL, BSI) entspringen.

Im Berichtszeitraum wurde die Dokumentation in Form eines Analyseartefakts fortgeführt. Dieses bündelt die Kernbeiträge der betrachteten Normen sowie der unterstützenden Dokumente und formuliert zentrale Schnittstellen zwischen den Dokumenten. In der Analyse sollen sicherheitsrelevante Aspekte und Randbedingungen an die Entwicklung eines automatisierten Fahrzeugs in nachvollziehbarer Weise mit den zugrundeliegenden normativen Dokumenten verknüpft werden. Um diese Aspekte strukturiert darzulegen, erfolgt in dem Analyseartefakt eine Verortung der untersuchten Dokumente in abgeleitete Kategorien. Bei diesen Kategorien handelt es sich einerseits um zentrale Sicherheitsdomänen, wie etwa die Funktionale Sicherheit oder die Verhaltenssicherheit. Andererseits stellen durchgängige Themen abgegrenzte Verortungskategorien dar, wie beispielsweise die Stakeholderpartizipation und die Berücksichtigung von menschlichen Werten oder Lebenszyklusbetrachtungen und die kontinuierliche Verbesserung nach Inverkehrbringen der Systeme. Im Rahmen der Analyse finden „Fokusanalysen“ für die verschiedenen Verortungskategorien statt. Die Beschreibung der Analyseergebnisse in einem entsprechenden Dokument wurde im Berichtszeitraum zunehmend geschärft. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Normenanalyse soll im Projekt ein Rahmenwerk für die Erstellung und Pflege einer Sicherheitsargumentation erstellt werden, das Ausführungen zu relevanten Forschungsbedarfen in diesem Zusammenhang enthält. Mit der Konkretisierung der zugehörigen Forschungsfragen und der wissenschaftlichen Durchdringung potentieller

Ansätze zum Adressieren dieser Fragen wurde im Berichtszeitraum ebenfalls begonnen.

Im Kontext der Formulierung funktionaler Anforderungen engagierten sich Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik im Rahmen eines Wissenstransfers mit dem Förderprojekt VVMethoden. Kern des Austausches bestand in der Präsentation und Diskussion von Ansätzen zum Risikomanagement, der Verhaltensspezifikation und der modellbasierten Systementwicklung. Diese Ansätze wurden im vergangenen Jahr mit ersten Modellen operationalisiert, um Beiträge zur durchgängigen Sicherheitsbetrachtung im Projekt ATLAS-L4 zu leisten. Dazu wurde unter anderem geprüft, in wie weit sich am Institut existierende Modelle zur Architekturbeschreibung zur Anwendung im Projektkontext eignen. Konkret wurden Ontologien zur Modellierung der Betriebsumgebung eines automatisierten Fahrzeugs und Ontologien zur Verhaltensspezifikation in eine Sprache zur modellbasierten Systementwicklung (SysML) konvertiert und exemplarisch in einer Entwicklungsumgebung angewendet, um Modelle auf dieser Grundlage zu erzeugen.

Im Berichtszeitraum wurden zudem die Themen Selbstüberwachung und Selbstwahrnehmung automatisierter Fahrzeuge von den Mitarbeitern des Instituts für Regelungstechnik bearbeitet. Die Eigenschaft der Selbstwahrnehmung im Sinne des englischen Begriffs *Self-Awareness* beschreibt die Fähigkeit eines Systems, z. B. eines automatisierten Fahrzeugs, seine eigenen Fähigkeiten einschätzen zu können, seine funktionalen Grenzen und seine zulässige Operationsdomäne bestimmen zu können und auf dieser Basis adäquate Entscheidungen zu treffen. Im Rahmen des Projekts ATLAS-L4 wird das Ziel verfolgt, ein Konzept für einen automatisierten Lkw mit Selbstwahrnehmung zu entwickeln. In diesem Berichtszeitraum wurde die Prüfung der Überwachungsaufgaben menschlicher Fahrer im Hinblick auf verschiedene Automati-

sierungsgrade gemäß des deutschen „Gesetzes zum automatisierten Fahren“ abgeschlossen. Unter diesem Titel werden Änderungen am Straßenverkehrsgesetzes (StVG) zusammengefasst, welche den nötigen Rechtsrahmen für automatisierte Kraftfahrzeuge bis einschließlich SAE Level 4 schaffen, sodass diese in festgelegten Betriebsbereichen im öffentlichen Straßenverkehr fahren können. Hierbei wurden manuelle Fahrzeuge, Fahrzeuge mit Fahrerassistenzsystemen und automatisierte Fahrzeuge berücksichtigt. Zudem wurden Fortschritte in der Konzeption der Selbstüberwachung erzielt. Im Rahmen dieser Fortschritte wurde auch die Ableitung konkreter Metriken für die Sicherheitsbetrachtung diskutiert, welche durch das Monitoring zur Laufzeit überwacht werden müssen.

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

Projektpartner diskutiert. Als exemplarisches Testobjekt wird die im Rahmen des Projekts entwickelte Trajektorienplanungskomponente des Automated Driving Systems verwendet. Dazu wurde im Berichtszeitraum mit der Erstellung einer Simulationsarchitektur und Testarchitektur begonnen, welche die Einbindung dieser Komponente in die Simulation berücksichtigt.

## 4.2 AUTOtech.agil

*von Richard Schubert und Niklas Braun*

### **English Abstract**

Within the collaborative project *AUTOtech.agil*, an open software and hardware architecture for future mobility systems is being developed, aiming to proactively shape the transformation of road traffic. Funded by the German Federal Ministry of Education and Research (BMBWF) with approximately 25 million Euros, the consortium includes 17 labs from nine universities and several companies, led by the Institute for Automotive Engineering (ika) of RWTH Aachen. TU Braunschweig participates through its Institutes for Control Engineering (IfR) and Computer Engineering and Communication Networks (IDA).

A primary goal is to create an open software architecture suitable for both current and future vehicle and mobility concepts. Building on the foundation set by the predecessor project *UNICARagil* for autonomous vehicles, *AUTOtech.agil* expands this, focusing on software and tooling, to connect an entire traffic system. Emphasis is also on the standardization of interfaces and modularization to ensure versatile application and easy updating of individual components using a modular principle. Infrastructure-bound sensors, cooperative concepts, connection to a

control center, and cloud-based information exchange are among the research priorities.

The Institute for Control Engineering focuses on developing methods for the comprehensive safety review of automated vehicles in such a mobility system and on their runtime monitoring via system-wide monitoring. In the project's first year, research showcases were defined in collaboration with project partners, resulting in an initial version of an item definition. Challenges include dynamic orchestration of individual functional components and its influence on a holistic safety assurance. Stakeholder analysis has been conducted to support the development process and the subsequent assurance. In addition to safety considerations during development and validation, the project also emphasizes self-monitoring during operation. Details have been discussed within several consortium-wide workshops and a dedicated safety and security workshop. We are especially pleased to have hosted a consortium-wide workshop at TU Braunschweig in April 2023. We would like to thank all partners in AUTOTECH.agil for the good cooperation throughout the past year.

---

*Please find the German version below.*

Im Rahmen des Verbundprojekts AUTOTECH.agil wird eine offene Software- und Hardware-Architektur für zukünftige Mobilitätssysteme entwickelt, mit dem Ziel die Transformation des Straßenverkehrs aktiv mitzugestalten. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) fördert dieses Projekt mit etwa 25 Mio. Euro. Das Konsortium umfasst 17 Lehrstühle von neun Universitäten sowie mehrere Unternehmen unter der Leitung des Instituts für Kraftfahrzeuge (ika) der RWTH Aachen. Die TU Braunschweig ist durch die Institute für Regelungstechnik sowie Datentechnik und Kommunikationsnetze

(IDA) beteiligt. Das Projekt startete im Oktober 2022.

Ein wesentliches Ziel des Projekts ist es, eine offene Software-Architektur zu schaffen, die sowohl für bestehende als auch zukünftige Fahrzeug- und Mobilitätskonzepte geeignet ist. Die im Vorgängerprojekt UNICAR*agil* entwickelte Architektur für fahrerlose Fahrzeuge bildet die Grundlage dafür. In AUTOtech*agil* wird diese erweitert, insbesondere im Bereich Software und Tooling, um ein gesamtes Verkehrssystem damit zu vernetzen. Der Schwerpunkt liegt auch auf der Standardisierung von Schnittstellen und Modularisierung, um eine vielseitige Anwendung sowie die Aktualisierung und Erweiterung einzelner Bausteine nach einem Baukastenprinzip zu ermöglichen. Dieses Baukastenprinzip soll die Integration von Veränderungen in verschiedenen Phasen, sprich während der Forschung und Entwicklung sowie der Produktion und im Betrieb erleichtern. Auch infrastrukturgebundene Sensorik und kooperative Konzepte werden intensiv erforscht. Die Anbindung an eine Leitwarte oder Leitzentrale sowie der Informationsaustausch über eine Cloud stellen weitere Forschungsschwerpunkte dar.

Die Schwerpunkte des Instituts für Regelungstechnik liegen in der Entwicklung von Methoden zur durchgängigen Sicherheitsbetrachtung automatisierter Fahrzeuge in einem solchen Mobilitätssystem sowie deren Laufzeitüberwachung durch ein systemweites Monitoring. Im vergangenen ersten Jahr des Projekts wurden gemäß Projektvorhaben Konzepte und Anforderungen formuliert.

Konkret bedeutet dies, dass gemeinsam mit den Projektpartnern gemeinsame Anwendungsfälle der Sicherheitsbetrachtung definiert wurden, die in einer ersten Version einer Systembeschreibung (engl. Item Definition) mündeten. Zur Beschreibung der funktionalen und operationellen

Anwendungsfälle wurden exemplarische Stakeholder identifiziert und ihre Bedürfnisse formuliert. Durch den Blick auf das gesamte Mobilitätssystem konnten Anwendungsfälle für die Sicherheitsbetrachtung identifiziert werden, die über einzelne Fahrzeuge hinausgehen. Eine Herausforderung für die Systembeschreibung stellt dabei die dynamische Orchestrierung der einzelnen funktionalen Komponenten dar. Um eine entwicklungsbegleitende Stakeholderkommunikation aufzubauen, wurden unter den Stakeholdern potentielle Kommunikationspartner ausgewählt und die Landschaft der Übersetzungsarbeit initial skizziert. Neben der Sicherheitsbetrachtung während der Entwicklung steht in AUTotech.agil auch die Selbstüberwachung der Fahrzeuge im Betrieb im Fokus. Im Kontext der Laufzeitüberwachung wurden Anforderungen an die Entwicklung eines systemweiten Monitors formuliert. Eine Übersicht der wesentlichen Präsenztreffen sei in Tabelle 4.1 gegeben. Insbesondere freuen wir uns, einen der Konsortialworkshops an der TU Braunschweig ausgerichtet zu haben.

<b>Datum</b>	<b>Anlass</b>	<b>Teilnehmende</b>
10.10.2022 – 11.10.2022	Kick-Off-Veranstaltung zum Projektbeginn in Aachen	Robert Graubohm, Richard Schubert
13.02.2023 – 14.02.2023	Konsortialworkshop an der RWTH Aachen	Niklas Braun, Ri- chard Schubert
18.04.2023 – 19.04.2023	Konsortialworkshop an der TU Braunschweig	alle Projektbeteilig- ten des IfR
18.07.2023 – 19.07.2023	Konsortialworkshop an der TU München	Niklas Braun, Ri- chard Schubert
09.10.2023 – 11.10.2023	Sicherheitsworkshop an der TU Darmstadt	Niklas Braun, Ri- chard Schubert

Tabelle 4.1: Zusammenkünfte innerhalb des Projekts AUTotech.agil mit Beteiligung von Mitarbeitern des Instituts für Regelungstechnik

Die Arbeitsgruppe Elektronische Fahrzeugsysteme dankt auch an dieser Stelle dem Bundesministerium für Bildung und Forschung für die Förderung des Vorhabens und allen Projektpartnern für die gute Zusammenarbeit im vergangenen Jahr.

## 4.3 Forschungsbedarf Teleoperation

*von Leon Johann Brettin und Nayel Fabian Salem*

### **English Abstract**

In regard to the new legal situation for technical supervision and the growing interest from industry, a group coordinated by the Federal Highway Research Institute (Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST)) has been formed in which the participating partners pursue the goal of identifying research needs in the subject area of teleoperation of automated road vehicles. During this year, many of these research needs were discussed and compiled in a document in the form of research questions.

---

*Please find the German version below.*

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

Die interdisziplinäre Forschungsgruppe teilt sich in folgende fünf Cluster auf:

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

In diesem Jahr wurde in mehreren Plenumstreffen und Treffen zwischen und in den Clustern diskutiert und ein gemeinsames Verständnis der Thematik erarbeitet. Dabei wurden gezielt Diskussionen zu sicherheitskritischen Themen geführt. Anschließend wurden anhand ausgewählter Szenarien Forschungsfragen zu den jeweiligen Clustern erarbeitet, diskutiert und weiter verfeinert, so dass am Ende ein Fragenkatalog mit über 100 Forschungsfragen, aufgeteilt auf die einzelnen Cluster, erstellt werden konnte. Im Cluster 1 *Fahrzeug, Betriebsbereich, Funktionssicherheit*, in dem das IfR tätig ist, wurden hierbei Forschungsfragen in den Kategorien „*Motivatoren für die Teleoperation*“, „*Sicherheitsfragen*“ und „*Anforderungen*“ getätigt. Diese spiegeln die Schwerpunktthemen des Clusters wider.

Das Dokument selbst wurde im Winter dieses Jahres fertiggestellt und dient als Handreichung für Forschungsfragen im Bereich der Teleoperation.

## 4.4 SET Level

*von Markus Steimle und Till Menzel*

**English Abstract**

The German Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action (BMWK) funded the research project *SET Level (Simulation-Based Engineering and Testing of Automated Driving)*, which was launched in March 2019 and finished in October 2022, with around 16.5 million euros. The project SET Level is a successor project to the project PEGASUS (Projekt zur Etablierung von generell akzeptierten Gütekriterien, Werkzeugen und Methoden sowie Szenarien und Situationen zur Freigabe hochautomatisierter Fahrfunktionen) and a project in the PEGASUS family. The project SET Level focused on simulation-based methods and tools that can be used to develop and test automated vehicles. Automated driving (SAE Level 4 and 5) in urban areas was considered as a central use case. Researchers from the Institute of Control Engineering worked on tasks with different focal points. Methods and tools for scenario generation and requirements derivation for simulation models were investigated. Furthermore, simulation goals and simulation principles were derived and defined. In addition, functional requirements for the simulation were identified. Further contributions included the development of approaches to describe the performance of the simulation environment and its components, which provided a basis for an effective and efficient compilation and coupling of simulation models for the execution of the simulation runs. Important insights gained during the project period include validating individual simulation models and simulation model interconnections; that is, how to prove for a simulation model or simulation model interconnection that it provides sufficiently valid simulation results for a specific application, for example, for validating the safety of an automated driving function. These topics are still unsolved after the project period and require further research.

Im Forschungsprojekt *SET Level*<sup>4</sup> (Simulationsbasiertes Entwickeln und Testen von automatisiertem Fahren), welches im Oktober 2022 erfolgreich abgeschlossen wurde, wurden 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. Zu Beginn des Projekts *SET Level* war die Entwicklung von automatisierten Fahrfunktionen so weit fortgeschritten, dass für ausgewählte verkehrliche Situationen automatisierte Fahrfunktionen demonstriert werden konnten. Diese Demonstrationen fanden allerdings unter eng definierten Bedingungen statt. Für die Freigabe beziehungsweise Markteinführung der entsprechenden Fahrzeuge waren sie deshalb nicht hinreichend. Daher rückte zunehmend das Thema der Absicherung automatisierter Fahrzeuge in den Fokus der Forschung und Entwicklung. So stand zum Beispiel im Forschungsprojekt *PEGASUS*<sup>5</sup>, das im Jahr 2019 abgeschlossen wurde, das Testen hochautomatisierter Fahrfunktionen am Anwendungsfall eines Autobahn-Chauffeurs (SAE Level 3) im Mittelpunkt. Für die Entwicklung und das Testen automatisierter Fahrzeuge sollten zukünftig insbesondere simulationsbasierte Methoden und Werkzeuge einen wertvollen Beitrag liefern.

Das Forschungsprojekt *SET Level* setzte genau an diesem Punkt an. *SET Level* konzentrierte sich auf simulationsbasierte Methoden und Werkzeuge, die während der Entwicklung und dem Testen automatisierter Fahrzeuge eingesetzt werden können. Als zentraler Anwendungsfall wurde das automatisierte Fahren (SAE Level 4 und 5) in urbanen Räumen betrachtet. Es wurden numerische Simulationsmethoden weiterentwi-

---

<sup>4</sup><https://setlevel.de/>, abgerufen am 28.08.2023.

<sup>5</sup><https://www.pegasusprojekt.de/de/>, abgerufen am 28.08.2023.

ckelt sowie neue Mechanismen zur Modellkopplung konzipiert und umgesetzt. Des Weiteren wurden Simulationsmodelle punktuell neu entwickelt, die neben dem jeweiligen korrekten Verhalten auch ein zu erwartendes nicht-normatives Verhalten ausreichend valide abbilden. Ein wichtiger Aspekt dabei war die Schaffung einer Architektur für eine universell, möglichst offen und modular einsetzbare Simulationsplattform, die in Standardisierungsaktivitäten eingeflossen ist. Die 20 Partner aus Industrie (OEMs und Zulieferer) und Wissenschaft nahmen am 01. März 2019 ihre Arbeit auf. SET Level wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) mit 16,5 Millionen Euro über eine Laufzeit von 44 Monaten gefördert.

SET Level knüpfte unmittelbar an die im Projekt PEGASUS generierten Ergebnisse an. SET Level war eng mit dem Projekt VVMMethoden<sup>6</sup> verzahnt, an dem Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik ebenfalls beteiligt sind (siehe Kapitel 4.6). In VVMMethoden werden eine Systematik sowie Methoden für den praxistauglichen Sicherheitsnachweis für automatisierte und autonome Fahrzeuge (gemäß BASt-Taxonomie) 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 bearbeiteten in SET Level Aufgaben mit unterschiedlichen Schwerpunkten. Die im Projekt aFAS<sup>7</sup> und im Rahmen eines Unterauftrags im Projekt PEGASUS entwickelten Methoden und Werkzeuge zur Szenariengenerierung und Anforderungserhebung an Simulationsmodelle wurden im Projekt SET Level weiterverfolgt. Weiterhin leiteten Mitarbeiter des Instituts für

---

<sup>6</sup><https://www.vvm-projekt.de/>, abgerufen am 28.08.2023.

<sup>7</sup><https://ieeexplore.ieee.org/document/7313207>, abgerufen am 28.08.2023.

Regelungstechnik Simulationsziele und Simulationsprinzipien her und definierten diese. Zusätzlich identifizierten sie funktionale Anforderungen an die Simulation. Dabei wurden unter anderem die Erfahrungen aus dem Projekt Stadtpilot berücksichtigt. Weitere Beiträge des Instituts für Regelungstechnik waren die Entwicklung von Ansätzen zur Leistungsbeschreibung der Simulationsumgebung und ihrer Komponenten. Dadurch wurde eine Grundlage für eine effektive und effiziente Zusammenstellung und Kopplung von Simulationsmodellen für die Durchführung der Simulationsläufe geschaffen.

Während der Projektlaufzeit wurden unter Mitarbeit von Mitarbeitern des Instituts für Regelungstechnik drei Journalartikel veröffentlicht. Diese sind nachfolgend aufgelistet:

- Steimle, M.; Menzel, T.; Maurer, M.: Toward a consistent taxonomy for scenario-based development and test approaches for automated vehicles: A proposal for a structuring framework, a basic vocabulary, and its application. In: *IEEE Access* 9 (2021), S. 147828–147854. – doi: 10.1109/ACCESS.2021.3123504.
- Schütt, B.; Steimle, M.; Kramer, B.; Behnecke, D.; Sax, E.: A taxonomy for quality in simulation-based development and testing of automated driving systems. In: *IEEE Access* 10 (2022), S. 18631–18644. – doi: 10.1109/ACCESS.2022.3149542<sup>8</sup>.
- Steimle, M.; Weber, N.; Maurer, M.: Toward generating sufficiently valid test case results: A method for systematically assigning test cases to test bench configurations in a scenario-based test approach for automated vehicles. In *IEEE Access* 10 (2022), S. 6260–6285. – doi: 10.1109/ACCESS.2022.3141198.

---

<sup>8</sup>Barbara Schütt und Markus Steimle sind bei diesem Journalartikel gleichrangige Erstautoren. Schütt und Steimle trugen gleichermaßen zu dem Journalartikel bei und wurden in alphabetischer Reihenfolge aufgelistet.

Wichtige Erkenntnisse, die während der Projektlaufzeit gewonnen wurden, beinhalten die Themen Validierung von einzelnen Simulationsmodellen und Simulationsmodellverbänden; das heißt, wie nachgewiesen werden kann, dass ein Simulationsmodell oder Simulationsmodellverbund für einen bestimmten Einsatzzweck ausreichend valide Simulationsergebnisse liefert, z. B. für die Validierung der Sicherheit einer automatisierten Fahrfunktion. Diese Themen sind auch nach der Projektlaufzeit ungeklärt und bedürfen weiteren Forschungsarbeiten.

Ein Highlight im Berichtszeitraum war das Abschlussevent, welches im BMW FIZ Forum in München abgehalten wurde. Aufgrund der Coronapandemie konnten kurzfristig nur die direkt am Abschlussevent beteiligten Projektmitarbeiter vor Ort teilnehmen. Für die Gäste wurden die Vorträge live übertragen. Die aufgebauten Messestände wurden mit Vorträgen und der Möglichkeit zum Stellen von Fragen durch die Gäste zu bestimmten Zeiten ebenfalls live übertragen. Die zugehörigen Folien und Videoaufzeichnungen wurden auf der SET Level Homepage veröffentlicht<sup>9</sup>.

Abschließend möchten wir allen Projektbeteiligten für die erfolgreiche Zusammenarbeit sowie dem Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz für die Bewilligung des Projekts danken.

---

<sup>9</sup><https://setlevel.de/neuigkeiten/abschlussevent-praesentationen-und-videoaufzeichnungen>, abgerufen am 28.08.2023

## 4.5 UNICARagil

*von Robert Graubohm, Marvin Loba, Leon Johann Brettin und Richard Schubert*

### **English Abstract**

The German Federal Ministry of Education and Research (BMBF) funded the UNICARagil project, which was launched in February 2018 and completed in May 2023, with around 32 million euros. The consortium consisted of several universities as well as some industrial partners. Within UNICARagil the conception, realization, and assurance of a new disruptive, modular, as well as scalable vehicle architecture and vehicle platform were researched. A key feature was the novelty of the approaches. This was intended to address the challenges of introducing automated road vehicles in urban areas without “legacy” issues. As a contribution to the overall goals of the project and in particular to the success of the final demonstration in Aldenhoven in May 2023, the Institute of Control Engineering at the TU Braunschweig investigated the following topics:

- development of a safety concept and support of the implementation
- development and implementation of a concept for self-awareness
- conception and implementation of the use case *autoELF* (vision: a driverless multigenerational vehicle in private ownership)

---

*Please find the German version below.*

Etwa 400 Gäste waren im Mai 2023 Teil der Abschlussveranstaltung des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) mit

rund 32 Millionen Euro geförderten Projekts UNICAR*agil*. Seit Projektstart im Jahr 2018 wurden vier Fahrzeugprototypen entwickelt und aufgebaut (gezeigt in Abbildung 4.2), die im Rahmen der Abschlussveranstaltung vorgestellt und demonstriert wurden. Entscheidend für den Projekterfolg war, dass die auf dem Gebiet der Fahrzeugautomatisierung führenden deutschen Universitäten in enger Kooperation ihre interdisziplinäre Expertise einbrachten, um die vielfältigen Herausforderungen bei der Entwicklung automatisierter Fahrzeuge zu adressieren. Das Konsortium bestand aus insgesamt acht Universitäten und neun Industriepartnern. Auf universitärer Seite waren 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 waren die Atlatec GmbH, die flyXdrive GmbH, die iMAR Navigation GmbH, die IPG Automotive GmbH, die Schaeffler Technologies AG & Co. KG, die Vires Simulationstechnologie GmbH, die Maxion Wheels Holding GmbH, die Valeo Schalter und Sensoren GmbH und die Thinking Cars GmbH vertreten.

Die vier modular aufgebauten Fahrzeugprototypen, die im Rahmen des Projekts entwickelt und demonstriert wurden, stellen unterschiedliche Anwendungsfälle zukünftiger automatisierter Fahrzeuge dar (v.l.n.r. in Abbildung 4.2):

- *autoSHUTTLE*: automatisiertes Fahrzeug für den Personennahverkehr
- *autoTAXI*: automatisiertes Taxi
- *autoELF*: automatisiertes Fahrzeug im Besitz einer Familie, das generationsübergreifenden Anforderungen gerecht wird



Abbildung 4.2: Die vier UNICARagil-Fahrzeugprototypen auf dem Gelände der Abschlussveranstaltung ©Timo Woopen

- *autoCARGO*: Lieferfahrzeug inklusive der notwendigen Handhabungstechnik, das automatisiert Pakete ausliefert

Die Basis der Fahrzeuge bildet eine modulare Plattform, welche in UNICARagil mit zwei unterschiedlichen Radständen realisiert wurde. Bei der Entwicklung lag ein Fokus auf der Verwendung möglichst vieler gleicher Komponenten und Funktionen. Zu diesen gehören unter anderem zwei Besonderheiten der Fahrzeuge: Vier Dynamikmodule, die bis zu 90° Lenkwinkel ermöglichen, sowie die einzelnen funktionalen Module der Fahrfunktion. Letztere bilden die gesamte Verarbeitungskette von der maschinellen Wahrnehmung bis hin zu der Aktuatorik ab. Die maschinelle Umfeldwahrnehmung wurde mit vier Sensormodulen an den Ecken des Fahrzeugs realisiert, die Radar-, Lidar- und Kameratechnologien kombinieren. Eine Skizze des Gesamtkonzepts ist in Abbildung 4.3 dargestellt.

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

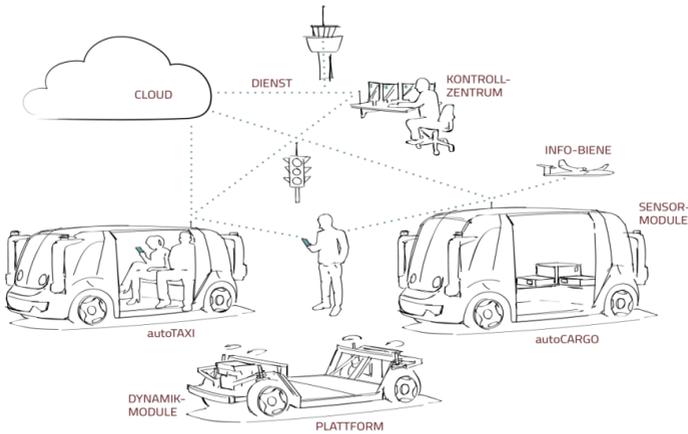


Abbildung 4.3: Skizze des Gesamtkonzepts des Projekts UNICARagil ©ika

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

Bei *autoELF* handelt es sich um ein *automatisiertes Fahrzeug im Familienbesitz*. Bei der Konzipierung des Fahrzeugs wurde das Ziel verfolgt, die selbständige Nutzung durch Familienmitglieder zu ermöglichen, die bei der Nutzung eines konventionellen Pkw auf die Hilfe einer Begleitperson angewiesen sind. Neben Kindern umfasst dies beispielsweise ältere Personen und Personen mit körperlichen Einschränkungen. Auf diese Weise profitieren nicht allein die Passagiere von der so realisier-

ten Mobilität, sondern auch Angehörige, für die bisher erforderliche Fahrten zum Zweck der Begleitung entfallen.

Nachdem in den ersten Projektjahren die konzeptionelle Ausrichtung des Fahrzeugs im Mittelpunkt stand und zunächst Entwürfe für die Gestaltung des Innenraums entwickelt wurden, konnten im letzten Projektjahr konzentriert fahrzeugspezifische Bauteile konstruiert und für den Einbau in das Fahrzeug vorbereitet werden. Der finale Einbau sämtlicher Bauteile in das Fahrzeug wurde zu Beginn des Jahres 2023 abgeschlossen. Außerdem wurde die Realisierung fahrzeuginterner Bedienoberflächen und einer Smartphone-App, über die sich das Fahrzeug innerhalb einer Familie koordinieren lässt, abgeschlossen. Begleitend zur Finalisierung des Fahrzeuginnenraums und nach der Demonstration des Fahrzeugs im Zuge der Abschlussveranstaltung wurde jeweils eine Nutzerstudie mit dem Fahrzeug durchgeführt: Probanden waren in einem Fall Kinder und im anderen Fall ältere Personen, also die primären Zielgruppen für das Konzept des Fahrzeugs.

Der zeitgerechte Abschluss der Innenraumgestaltung des Fahrzeugprototypen *autoELF* (gezeigt in Abbildungen 4.4 und 4.5) stellt einen wichtigen Projekterfolg seitens des Instituts dar, da der Innenraum wesentlich zur Konzeptpräsentation im Rahmen der Abschlussdemonstration beitrug.

Im Kontext der *Sicherheit* der Fahrzeuge lag der Schwerpunkt auf der Entwicklung eines ganzheitlichen Sicherheitskonzepts für die automatisierte Fahrfunktion. Die Betrachtungen gingen aufbauend auf den Erfahrungen aus dem Projekt aFAS („Automatisch fahrerlos fahrendes Absicherungsfahrzeug für Arbeitsstellen auf Autobahnen“) über den Fokus der „Funktionalen Sicherheit“ gemäß ISO 26262 hinaus. Zentrale Herausforderungen lagen in dem inhärenten Risiko des automatisierten Fahrens, das unter anderem aus generischen Messunsicherheiten,



Abbildung 4.4: Innenraum des Fahrzeugprototypen *autoELF* ©Tobias Schröder

der mit Ungewissheit behafteten Prädiktion des Verhaltens anderer Verkehrsteilnehmer\*innen, unvollständigem Wissen und Anforderungen sowie einer naturgemäß begrenzten Testtiefe hervorgeht.

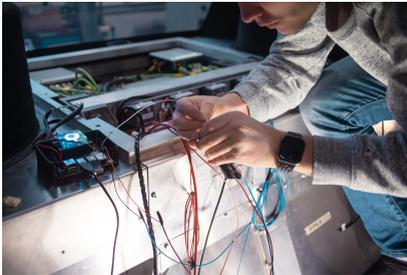
Für das Sicherheitskonzept wurden, ausgehend von einem Pflichten- und Lastenheft und einer Systembeschreibung (engl. Item Definition), ausgewählte repräsentative Szenarien betrachtet. Die Item Definition wurde in Anlehnung an die ISO 26262 erstellt und kontinuierlich im Projektverlauf gepflegt. Für die Szenarien wurde in einem ersten Schritt ein Sollverhalten definiert, das sicheres Verhalten repräsentiert. Anschließend wurde in den jeweiligen Szenarien mögliches unsicheres Verhalten betrachtet. Dieses konnte zum einen hinsichtlich des davon



Von der Sitzkiste...



...zum Innenraum!



Provisorische Verkabelung für Innenraumfunktionen



Rollator auf Einstiegshilfe



autoELF in der Fahrzeughalle



WiMi- und HiWi-Gruppenbild am Demonstrationstag

Abbildung 4.5: Entwicklungseindrücke *autoELF* (Bilder ©Tobias Schröder)

ausgehenden Risikos bewertet werden und zum anderen konnten Ursachen für das Verhalten im System identifiziert werden. Mit Hilfe dieser identifizierten Ursachen wurde anschließend ein projektweites Sicherheitskonzept entwickelt. Komplementär dazu erfolgte 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 musste, um die dokumentierten Konzepte fortwährend zu verfeinern.

Maßgebliche Unterstützung fanden diese Bestrebungen, die insbesondere eine sichere Demonstration der Fahrzeugprototypen im Rahmen der Abschlussveranstaltung ermöglichten, durch Absicherungsaktivitäten der TU Darmstadt. Dort wurden projektbegleitend Ansätze der fahraufgabenspezifischen sowie der modularen Absicherung verfolgt. Darüber hinaus wurde an der TU Darmstadt die Funktion „Sicheres Anhalten“ implementiert, mit dem unter bestimmten Bedingungen während der Abschlussdemonstration der Übergang in einen risikominimalen Zustand im Falle signifikanter Degradation essenzieller Fahrzeugfunktionen demonstriert werden konnte.

In den letzten Projektmonaten stand in der Domäne *Sicherheit* insbesondere die Koordination und Unterstützung des Prozesses der individuellen Fahrzeugfreigabe im Vordergrund. Das zugehörige Vorgehen war als entwicklungsbegleitendes Instrument vorgesehen, das zu der Gewährleistung eines hinreichend geringen Risikoniveaus für den Versuchsbetrieb und die Abschlussdemonstration beitragen konnte. Unter Berücksichtigung einer fahrzeugweiten Sicherheitsargumentation für den Erprobungs- und Demonstrationsbetrieb wurde eine Freigabehierarchie eingeführt, die an den fünf Integrationsstufen der Fahrzeuginbetriebnahme orientiert war. In Hinblick auf die Zielsetzung einer projektweiten Freigabe wurden stufen- und fahrzeugindividuelle Frei-

gatedokumente aufbereitet, die entsprechend des jeweiligen Rahmens unterschiedliche Komponentenfreigaben und komponentenunabhängige Freigabemodule (Betriebsanweisung, Beschreibung der Testgelände, ...) erforderten. Auf diesem Weg sollte gewährleistet werden, dass die notwendigen Evidenzen seitens der Verantwortlichen als Belege einer möglichst sicheren Entwicklung geliefert und hinsichtlich ihrer Anforderungserfüllung plausibilisiert werden. Dokumentationsseitig lag der Schwerpunkt auf der nachvollziehbaren Darstellung sämtlicher Strategien zur Gefährdungsmitigierung, der zugrundeliegenden Sicherheitsanforderungen und der implementierten Rückfallmechanismen sowohl fahrzeugweit als auch auf Komponentenebene. Zusätzlich fand eine Begutachtung der Unterlagen durch die TÜV Süd Rail GmbH als externe Prüfeinheit statt. Ein zentraler Sicherheitsmechanismus, der im Rahmen der Abschlussveranstaltung Fahrdemonstrationen mit Passagier\*innen ohne übernahmefähige Überwachende im Fahrzeug ermöglichte, war die als „Sicherheitswarte“ bezeichnete Überwachung mit Funknothaltssendern.

Das Institut für Regelungstechnik entwickelte des Weiteren im Projektzeitraum die Beiträge zur Selbstwahrnehmung automatisierter Fahrzeuge weiter. Im Projekt wurde das Konzept zur Laufzeitüberwachung von Systemfähigkeiten als Teil der Selbstwahrnehmung des Fahrzeugs weitergeführt und der verwendete technische Ansatz nach Abschluss der Implementierung verifiziert. Die expertenbasierte Methode zur Parametrierung der Laufzeitüberwachung von Systemfähigkeiten erwies sich als universelles Konzept, welches auch in der geplanten Abschlussdemonstration des Projekts im Jahr 2023 zum Einsatz kam. Die Überwachung der Fähigkeiten als Teil der Selbstwahrnehmung erlaubt mit der verwendeten Methode die Ausgabe eines Performanzmaßes für das Gesamtsystem, das quantitativ und gleichzeitig intuitiv interpretierbar ist. Für die Abschlussdemonstration wurde daher am Institut

ein System entwickelt, welches die Visualisierung der momentanen Gesamtsystemperformanz auf einem Monitor im *autoELF*-Fahrzeug ermöglicht und so Operatoren und Fahrgäste informiert.

Während des Berichtszeitraums fanden sehr viele digitale Abstimmungen statt, insbesondere zur Vorbereitung der Abschlussdemonstration. Darüber hinaus kam es aber auch zu diversen Treffen in Präsenz, die wir in Tabelle 4.2 zusammengestellt haben. Die Zusammenarbeit im Projekt haben wir stets als eng, vertrauensvoll und konstruktiv empfunden.

<b>Datum</b>	<b>Anlass</b>	<b>Teilnehmende</b>
06.12.2022 – 07.12.2022	Konsortialworkshop in Braunschweig	Leon Johann Brettin, Robert Graubohm, Marvin Loba, Richard Schubert und Tobias Schräder
05.02.2023 – 09.02.2023	Einbau der Sicherheitswarte in <i>autoCARGO</i> in Karlsruhe und <i>autoTAXI</i> in München	Robert Graubohm
08.03.2023 – 10.03.2023	Konsortialtreffen in Aachen	Robert Graubohm, Marvin Loba und Tobias Schräder
10.04.2023 – 13.04.2023	Vorbereitung der Abschlussdemonstration in Aldenhoven	Leon Johann Brettin, Robert Graubohm und Tobias Schräder
26.04.2023 – 28.04.2023	Vorbereitung der Abschlussdemonstration in Aldenhoven	Leon Johann Brettin, Tobias Schräder und Richard Schubert

08.05.2023 – 13.05.2023	Vorbereitung und Durchführung der Abschlussveranstaltung in Aldenhoven	Niklas Braun, Leon Johann Brettin, Robert Graubohm, Marvin Loba, Markus Maurer, Richard Schubert und Tobias Schröder
----------------------------	--	--

Tabelle 4.2: Zusammenkünfte innerhalb des Projekts UNICAR*aqil* mit Beteiligung von Mitarbeitern des Instituts für Regelungstechnik

Die Arbeitsgruppe Elektronische Fahrzeugsysteme dankt auch an dieser Stelle dem Bundesministerium für Bildung und Forschung für die Förderung des Vorhabens und allen Projektpartnern für die gute Zusammenarbeit.

## 4.6 VVMethoden

*von Nayel Fabian Salem, Marcus Nolte, Robert Graubohm, Felix Bothe und Felix Grün*

### English Abstract

The research project *Verification and Validation Methods (VVMETHODS)* – funded by the *German Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action* – is part of the *PEGASUS project family* and addresses open issues in the context of safety assurance of automated driving systems. Researchers from the Institute of Control Engineering engage in multiple sub-projects, which are concerned with deriving safety requirements, developing a system architecture, providing data from road traffic, and further integrating scenarios as a part of the verification and validation

activities. One major goal within VVMethods is to contribute to a traceable safety case that accounts for challenges of the open traffic context for automated driving.

---

*Please find the German version below.*

### **Allgemeine Vorstellung des Projekts**

Automatisiertes Fahren ist seit einigen Jahren im Fokus der Öffentlichkeit präsent und ein etablierter Schwerpunkt der Forschung und Entwicklung. Bei der Freigabe und Einführung automatisierter Fahrzeuge (SAE Level 3 und darüber) 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 als Erste den Prozess der Verifikation und Validierung zeit- und kosteneffizient im Rahmen der gesetzlichen Vorgaben beherrschen.

An dieser Herausforderung setzte bereits das Projekt PEGASUS<sup>10</sup> an, das im Jahr 2019 erfolgreich abgeschlossen wurde. In PEGASUS wurde ein Ansatz zur szenarienbasierten Absicherung von SAE Level 3 Fahrfunktionen mit Fokus auf dem Anwendungsfall Autobahn entwickelt.

Das Projekt „Verifikations- und Validierungsmethoden automatisierter Fahrzeuge Level 4 und 5“ (VVMethoden) setzt auf den Ergebnissen aus PEGASUS auf und gehört unter anderem zusammen mit dem Schwesterprojekt SET Level (siehe Kapitel 4.4) zur „PEGASUS Projektfamilie“. Ziel der „PEGASUS Projektfamilie“ ist es, einen Gesamtansatz zur Verifikation und Validierung automatisierter Systeme zu entwickeln und zu industrialisieren. Während der Fokus von SET Level dabei auf der

---

<sup>10</sup><https://www.pegasusprojekt.de/de/>, abgerufen am 27.09.2022.

Entwicklung einer Simulationsplattform liegt, legt VVMethoden einen zusätzlichen Schwerpunkt auf die Konzeption der Sicherheitsargumentation.

Das VVMethoden-Konsortium entwickelt eine Systematik sowie Methoden für den praxistauglichen Sicherheitsnachweis für automatisierte Fahrzeuge (SAE Level 4 und 5) im urbanen Umfeld. Hierbei werden der Entwicklungsprozess und die Sicherheitsnachweise der Fahrfunktionen integriert betrachtet. Dies folgt dem Entwurfsprinzip „Design für Testbarkeit“ und ermöglicht es, Teilsysteme und Komponenten bereits vor der Gesamtsystemintegration zu qualifizieren. Zeitgleich wird auf diese Weise ein früher Austausch von Testfällen und Testergebnissen zwischen OEMs und Zulieferern ermöglicht. VVMethoden wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) mit 26,7 Millionen Euro über eine Laufzeit von viereinhalb Jahren gefördert. Die 22 Partner aus Industrie (OEMs und Zulieferer), Wissenschaft und Prüforganisationen nahmen am 01. Juli 2019 ihre Arbeit auf.

extbfrolle des Instituts für Regelungstechnik

In VVMethoden haben Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik Aufgaben mit unterschiedlichen Schwerpunkten übernommen. Zum einen bringen die Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik Erfahrungen aus den Projekten aFAS<sup>11</sup> und UNICARagil<sup>12</sup> ein und erarbeiten eine strukturierte Beschreibung des betrachteten Entwicklungsgegenstandes (engl. *Item Definition*). Aufbauend auf dieser Beschreibung leiten Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik gemeinsam mit anderen Projektmitgliedern ein Sicherheitskonzept für den Entwicklungsgegenstand ab und definieren eine funktionale Systemarchitektur. Zum anderen bringt das Institut für Regelungstechnik seinen Referenzsenso-

<sup>11</sup><https://ieeexplore.ieee.org/document/7313207>, abgerufen am 29.08.2023.

<sup>12</sup><https://www.unicaragil.de/de/>, abgerufen am 29.08.2023.

rikprüfstand in das Projekt ein und erhebt und labelt Daten im Braunschweiger Stadtgebiet. Schließlich liegt ein weiterer Schwerpunkt des Instituts für Regelungstechnik auf der Erstellung und Parametrierung von Szenarien im Rahmen eines integrierten Entwicklungs- und Testprozesses.

### **Fortschritt des letzten Jahres**

Mit dem Ende des VVMethoden-Halbzeitevents im März 2022 begannen im vergangenen Jahr fast nahtlos die Vorbereitungen für das Abschlusssevent. In der verbleibenden Projektlaufzeit (bis Dezember 2023) lag ein Schwerpunkt aller Teilprojekte darauf, die projektweite Konsolidierung der bereits erzielten Ergebnisse voranzutreiben. Zum Zeitpunkt des Halbzeitevents war allerdings auch klar, dass darüber hinaus noch wesentliche Anstrengungen unternommen werden müssen, um in der verbleibenden Projektlaufzeit an Antworten auf zentrale Fragestellungen zu arbeiten.

Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik beteiligten sich an der Ausarbeitung einer wissenschaftlichen Publikation mit dem Titel „Risk Management Core – Towards an Explicit Representation of Risk in Automated Driving“<sup>13</sup>. Im Fokus dieser Veröffentlichung steht die Handhabung von Risiken im Zusammenhang mit einem Sicherheitsnachweis. In Zusammenarbeit mit Projektkollegen wurden existierende Sicherheitsstandards über die Automobilbranche hinaus analysiert und die wesentlichen Anforderungen aus diesen Normen zusammengefasst. Als Ergebnis dieser Anforderungen wird in dem Beitrag der *Risk Management Core* als ein Prozessrahmen vorgeschlagen, der geschätzte Risiken eines automatisierten Fahrsystems iterativ an die akzeptierten Risiken angleicht. Ein Kernbeitrag ist dabei die explizite Repräsentation von

---

<sup>13</sup><https://arxiv.org/abs/2302.07715>, abgerufen am 29.08.2023.

Risiken, die beispielsweise durch eine Modellierung von Sollverhalten unterstützt wird.

Im Rahmen der projektweiten Konsolidierung der Ergebnisse zum Abschlussevent haben Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik drei Schwerpunkte in ihrer Arbeit gesetzt. Zum einen wurde die Rolle der Konzepte *Sollverhalten* und *Fähigkeiten* im Entwicklungs- und Absicherungsprozess weiter etabliert. Im Fokus stand dabei die Nachweiskette zwischen dem Sollverhalten über Systemfähigkeiten zu einer funktionalen Architektur. Zweitens wurde die Sicherheitsargumentation im Rahmen mehrerer teilprojektübergreifender Workshops ausdetailliert und die in der ersten Projekthälfte entwickelten Argumentationsprinzipien angewendet. Drittens beteiligten sich Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik an den Arbeiten zum übergeordneten *Szenarienstrang*. Da VVMethoden als Teil der PEGASUS-Projektfamilie ebenfalls einen szenarienbasierten Absicherungsansatz verfolgt, beziehen sich einige im Projekt entwickelte Methoden auf *Szenarien*. In der zweiten Projekthälfte war ein Schwerpunkt daher, die verschiedenen szenarienbasierten Methoden in einen ganzheitlichen Kontext zu setzen.

Aus unserer Sicht wurden im Rahmen von VVMethoden zwei Kernbeiträge zur Absicherung automatisierter Fahrsysteme geleistet: Zum einen konnte die Bedeutung des Safety-by-Design Paradigmas für szenarienbasierte Ansätze untersucht und methodische Beiträge geleistet werden. Zum anderen wurde die Relevanz einer konsistenten Sicherheitsargumentation herausgearbeitet und grundlegende Werkzeuge zu deren Strukturierung erzeugt.

## 4.7 Wertebasierte Verhaltensentscheidung mit der Daimler und Benz Stiftung

von Marcus Nolte

**English Abstract** The project “Value-Based Decision Making” discusses practically relevant ethical questions for the development of automated vehicles. The project is funded by the Daimler and Benz Foundation and has allowed us to cooperate with our colleagues from Stanford University and the University of Ottawa. In the timeframe of this report, we were able to use the experience from the project to spur discussions about value-based development at the German “Round Table Autonomous Driving” (section 5.1). Furthermore, we were able to quantify the impact of ethical trade-offs between safety and mobility in a publication at this year’s IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC) (Graubohm u. a., 2023b). Finally, we could establish the traceability of ethical values in the development of motion planning algorithms by modeling the system architecture as well as ethical trade-offs and the corresponding requirements in an architecture framework that is modeled in the Systems Modeling Language (SysML).

---

*Please find the German version below.*

Die Beschäftigung mit der wertorientierten Verhaltensentscheidung hat im durch die Daimler & Benz Stiftung geförderten Projekt „Value-Based Decision Making“ über die Projektlaufzeit grundlegende Herausforderungen bei der Entwicklung autonomer Straßenfahrzeuge aufgezeigt. Von Anfang an stand die Tatsache im Fokus, dass menschliche Fahrer\*innen Abwägungen zwischen Werten wie „Mobilität“ und „Sicherheit“ vornehmen. Mit der Sicht auf ein Laufzeitsystem haben wir uns bisher einerseits mit Algorithmen beschäftigt, die solche Ge-

wichtigungen ermöglichen, um dann andererseits festzustellen, dass der Prozess zur Entwicklung dieser Algorithmen mit der Berücksichtigung von Werten und ihrer Gewichtung massiv von Techniker\*innen beeinflusst wird, die diese technischen Systeme entwerfen und entwickeln. Um eine Akzeptanz dieser vorgenommenen Auslegung zu unterstützen, sollten partizipative Formate für den öffentlichen Diskurs von Werten genutzt werden.

Die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse bildeten im vergangenen Berichtszeitraum mit Blick auf die Initiierung eines öffentlichen Diskurses eine Grundlage für unsere Aktivitäten am „Runden Tisch Autonomes Fahren“ Abschnitt 5.1 und die dort geführten interdisziplinären Diskussionen.

Zusätzlich konnten wir im vergangenen Berichtszeitraum das Verdeckungsszenario, das uns über die Jahre als Beispiel für die Notwendigkeit praktischer ethischer Werteabwägungen gedient hat, vertieft quantitativ diskutieren. Das betreffende Szenario lässt sich in aller Kürze wie folgt beschreiben (Abbildung 4.6): Das automatisierte Fahrzeug nähert sich einer Reihe geparkter Fahrzeuge. Die Sicht auf eine zu Fuß gehende Person ist verdeckt. Die Person könnte auf die Fahrbahn treten. Auf dem Gegenfahrstreifen kommt ein Fahrzeug entgegen.

Im Rahmen einer Veröffentlichung (Graubohm u. a., 2023b) auf der IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC) in Bilbao konnte unter konkreten Annahmen über eine Sensorausstattung eines automatisierten Fahrzeugs die Relevanz ethischer Werteabwägungen zwischen „Sicherheit“ und „Mobilität“ diskutiert werden: Eine Verringerung der Geschwindigkeit ist im gezeigten Szenario eine sehr einfache Maßnahme zur Minderung des Risikos. In der genannten Veröffentlichung konnte nun quantitativ gezeigt, dass die Reduktion der Geschwindig-

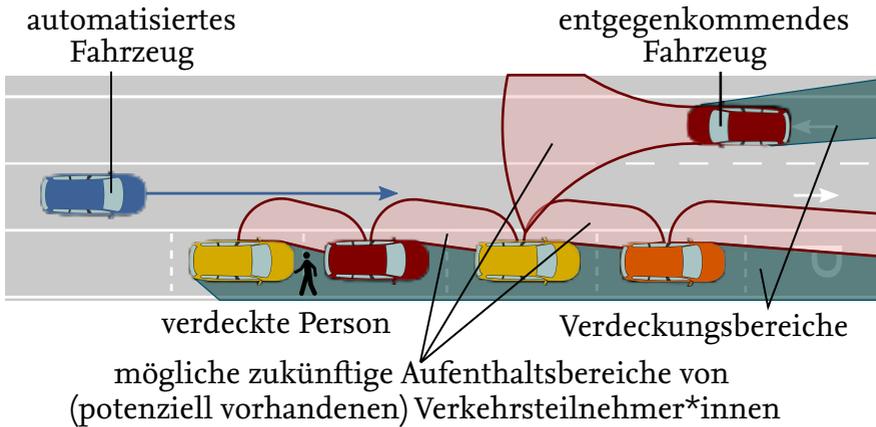


Abbildung 4.6: Verdeckungsszenario zur Diskussion von Werteabwägungen zwischen „Sicherheit“ und „Mobilität“.

keit massive Mobilitätseinbußen mit sich bringen kann. Das Szenario wurde dazu leicht verändert:

- Es herrscht eine Geschwindigkeitsbegrenzung von  $30 \text{ km h}^{-1}$ .
- Drei Verdeckungen verteilen sich auf einer Strecke von ca. 140 m.

In der genannten Veröffentlichung wurden dann drei Fälle verglichen:

1. Die Fahrzeit durch das Szenario bei unveränderter Geschwindigkeit, ohne die Annahme, dass Personen auf die Fahrbahn treten könnten,
2. die Fahrzeit durch das Szenario bei Annahme von drei verdeckten Personen bei guten Wetterbedingungen und unter der Annahme, dass jede Person mit einer maximalen Geschwindigkeit von  $1.6 \text{ m s}^{-1}$  aus der Verdeckung treten kann<sup>14</sup>,

<sup>14</sup>Nach DIN EN ISO 13885:2010 entspricht dies einer durchschnittlichen Geschwindigkeit einer zu Fuß gehenden Person.

3. die Fahrzeit durch das Szenario bei Annahme von drei verdeckten Personen bei Glatteis und unter der Annahme, dass jede Person mit einer maximalen Geschwindigkeit von  $11 \text{ m s}^{-1}$  aus der Verdeckung sprinten kann.

Soll vor einer Verdeckung nun so verzögert werden, dass eine Kollision mit einer aus der Verdeckung tretenden Person bei den gegebenen Annahmen verhindert werden kann, lässt sich feststellen, dass die Fahrzeit in Fall 2 um ca. 72 % und in Fall 3 um ca. 350 % ansteigt. Damit lässt sich belegen, dass schon bei der bloßen Annahme, dass eine Person auf die Straße treten könnte, die Mobilität in der vorliegenden Situation signifikant eingeschränkt würde, sofern Kollisionen vermeidbar bleiben sollen. Geht man dann davon aus, dass sich jedes automatisierte Fahrzeug in vergleichbaren Situationen ähnlich verhält, lässt sich leicht absehen, dass die Kapazitäten des Verkehrssystems schnell ausgereizt und Straßen blockiert würden.

Die notwendigen Abwägungen (Welche Geschwindigkeitsreduktion ist im Vergleich zu Mobilitätseinbußen vertretbar?) sollten im Sinne einer wertebasierten Entwicklung und/oder Verhaltensentscheidung eben nicht von Entwickler\*innen alleine, sondern unter einer ausgewogenen Debatte über die Chancen und Risiken der Einführung automatisierter Fahrzeuge diskutiert werden.

Im Sinne einer expliziten Dokumentation solcher Wertekonflikte, ihrer Auflösung und den Konsequenzen der Auflösungen für Anforderungen und die Systemarchitektur, haben wir das Szenario im vergangenen Berichtszeitraum als Grundlage für die Erstellung konkreter Architektursichten in der Systems Modeling Language (SysML) genutzt. Dabei sind Modelle entstanden, die es ermöglichen, Stakeholder-Werte von ihrer Erhebung, über den Systementwurf (und die dort gemachten Abwägungen) bis hin zu den Schnittstellenbeschreibungen des Laufzeitsystems

semi-formal nachzuverfolgen und damit eine qualitative Diskussion des Fahrzeugverhaltens zur Laufzeit auf Grundlage der resultierenden Anforderungen und Architektursichten gestatten. Im Hinblick auf die wertebasierte Entwicklung automatisierter Fahrzeuge konnten wir somit ebenfalls Fortschritte bei der Formalisierung von Anforderungen an das Laufzeitsystem verzeichnen.

Für den kommenden Berichtszeitraum planen wir die praktische Demonstration der Projektinhalte, auch auf Grundlage der von Elliot Weiss und Markus Steimle geleisteten Vorarbeiten (Abschnitt 3.2) mit unserem Vehicle-in-the-Loop-Fahrzeug.

# 5 Beiträge zum Runden Tisch „Autonomes Fahren“ des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr

## 5.1 Themenfeld „Sicherheit und Risiko“

*von Niklas Braun*

### **English Abstract**

The German Federal Ministry of Digital and Transport (BMDV) launched the “Round Table Autonomous Driving” in 2022 under the leadership of Mr. Andreas Krüger and Mr. Stephan Liening – also at the suggestion of many members of the “Round Table Connected and Automated Driving” of 2015. The new edition of the round table is divided into various focus fields, whose members were asked to identify hurdles to the market launch of autonomous driving in Germany. The Institute of Control Engineering was asked to establish and lead a focus field “safety and risk” based on the concept developed at the institute.

Attentive readers of the annual report will be aware that the Electronic Automotive Systems research group has been emphasizing the inherent risk of automated driving at the core of safety argumentation since 2018. While this risk can be reduced, it cannot be eliminated. In response to this insight, the research group has formulated value-based

development which has implications for behavior generation, system development, and communication with the public.

The focus field “safety and risk” is divided into the working groups presented in Figure 5.1, as well as a team to prepare and organize the plenary meetings. Over the course of the year, the interdisciplinary working groups formulated important challenges and identified needs for research, standardization and the concretization of regulation.

A key result was the joint identification of topics which should be addressed by interdisciplinary formats and, potentially, in a public dialog. One such issue is the inherent risk posed by mobility, including autonomous and automated vehicles, to the life and limb of road users. Likewise, the communication of this risk to the public and to the company is a challenge. Related to this are the questions of how to define and demonstrate the safety level of vehicles with SAE automation level  $\geq 3$ . Finding adequate trade-offs between development goals plays an important role in the development of autonomous and automated vehicles. In particular, the societal acceptance of risks while balancing mobility needs and economic viability poses a challenge. The focus field has discussed the importance of China as the world’s largest automotive market and the associated opportunities and potential threats for Germany and Europe, as well as the tension between artificial intelligence and safety. Further discussions addressed the question of operational safety for user groups of level 3 systems in public transport and the differences between the systems for funding research and development in Germany, the USA, and China. Finally, the question of the need for autonomous driving was discussed against the background of historical examples of the attempted introduction of high technology in Germany and .

During the year 2023 the plenary of the Safety and Risk focus field met on March 15, June 23, and November 7. We would like to expressly thank the members of the focus field listed in alphabetical order in Table 5.1, as well as all contributors to the working groups and the preparation team, for their commitment and contributions. Furthermore, we thank Christoph Höhmann for his valuable support in the creation of this section.

---

*Please find the German version below.*

Das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) hat im Jahr 2022 den „Runden Tisch Autonomes Fahren“ unter Leitung von Herrn Andreas Krüger und Herrn Stephan Liening ins Leben gerufen – auch auf Anregung vieler Mitglieder des „Runden Tisches Vernetztes und Automatisiertes Fahren“ des Jahres 2015. Die Neuauflage des Runden Tisches gliedert sich in verschiedene Themenfelder, deren Mitglieder gebeten wurden, Hemmnisse bei der Markteinführung des autonomen Fahrens in Deutschland zu identifizieren. Das Institut für Regelungstechnik wurde gebeten, basierend auf der dort entwickelten Konzeption ein Themenfeld „Sicherheit und Risiko“ zu gründen und zu leiten.

Aufmerksame Leserinnen und Leser des Jahresberichts wissen, dass die Arbeitsgruppe Elektronische Fahrzeugsysteme seit 2018 das inhärente Risiko des automatisierten Fahrens in den Mittelpunkt der Sicherheitsargumentation rückt. Dieses Risiko lässt sich zwar verringern, jedoch nicht eliminieren. Als Antwort auf diese Erkenntnis hat die Forschungsgruppe die wertebasierte Entwicklung formuliert, die Auswirkungen auf die Verhaltensgenerierung, die Systementwicklung und die Kommunikation mit der Öffentlichkeit hat.

Das Themenfeld „Sicherheit und Risiko“ gliedert sich in die in Abbildung 5.1 dargestellten Arbeitsgruppen (AG), sowie ein Team zur Vorbereitung der Plenartermine und zur Organisation. Die interdisziplinär zusammengesetzten Arbeitsgruppen haben im Laufe des Jahres wichtige Fragestellungen formuliert und Bedarfe zur Forschung, zur Standardisierung, und zur Konkretisierung von Regulierung aufgedeckt.

Ein wesentliches Ergebnis war zudem die gemeinsame Identifikation von Fragestellungen, die des interdisziplinären und potenziell des gesellschaftlichen Dialogs bedürfen. Ein solches Thema ist das mit der Mobilität einschließlich der Einbeziehung autonomer und automatisierter Fahrzeuge verbundene inhärente Risiko für Leib und Leben von Verkehrsteilnehmer\*innen. Ebenfalls stellt die Kommunikation dieses Risikos in die Öffentlichkeit und im Unternehmen eine Herausforderung dar. Damit verbunden sind die Fragen, wie das Sicherheitsniveau von Fahrzeugen mit SAE-Automatisierungsstufe  $\geq 3$  definiert und nachgewiesen werden kann. In der Entwicklung autonomer und automatisierter Fahrzeuge spielen Abwägungen zwischen verschiedenen Entwicklungszielen eine wichtige Rolle. Insbesondere die gesellschaftliche Akzeptanz von Risiken unter Abwägung von Mobilitätsbedürfnissen und Wirtschaftlichkeit stellen eine Herausforderung dar. Das Themenfeld hat die Bedeutung Chinas als größter Automarkt der Welt und die damit verbundenen Chancen und potenziellen Bedrohungen für Deutschland und Europa sowie das Spannungsfeld zwischen Künstlicher Intelligenz und Sicherheit diskutiert. Weitere Diskussionen gehen der Frage nach der Gebrauchssicherheit für *alle* Nutzer\*innengruppen ab Automatisierungsstufe 3 im öffentlichen Personennahverkehr sowie den Unterschieden zwischen den Systemen zur Finanzierung der Forschung und Entwicklung in Deutschland, den USA und China nach. Schließlich wurde die Frage des Bedarfs nach autonomem Fahren vor

dem Hintergrund historischer Beispiele für die versuchte Einführung von Hochtechnologie in Deutschland diskutiert.

Das Plenum des Themenfelds Sicherheit und Risiko hat am 15. März, 23. Juni und 7. November des Jahres 2023 getagt. Wir möchten den in Tabelle 5.1 in alphabetischer Reihenfolge genannten Mitgliedern des Themenfelds sowie allen weiteren Mitwirkenden im Themenfeld, in den Arbeitsgruppen und im Vorbereitungsteam ausdrücklich für ihr Engagement und ihre Beiträge danken. Weiterhin danken wir Christoph Höhmann für seine wertvolle Unterstützung bei der Erstellung dieses Abschnitts.

<b>Name</b>	<b>Organisation</b>
Dr. Thomas Classen (ab Mitte 2023)	Robert Bosch GmbH
Torsten Fleischer	KIT, Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse
Prof. Dr.-Ing. Thomas Form	Volkswagen AG
Olaf Franke	MAN Truck & Bus SE
Prof. Dr. Armin Grunwald	KIT, Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse
Benno Hense	Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen
Dr. Viktoriya Kolarova	DLR, Institut für Verkehrsforschung
Michael Kram (bis Mitte 2023)	Robert Bosch GmbH

Andreas Krüger (bis Mitte 2023)	Bundesministerium für Digitale Infrastruktur und Verkehr
Simone Kurek	Mercedes-Benz Group AG
Stephan Liening (ab Mitte 2023)	Bundesministerium für Digitale Infrastruktur und Verkehr
Marvin Loba	TU Braunschweig, Institut für Regelungstechnik
Prof. Dr. Christoph Lütge	TU München, Lehrstuhl für Wirtschaftsethik
Georges Massing	Mercedes-Benz Group AG
Prof. Dr.-Ing. Markus Maurer	TU Braunschweig, Institut für Regelungstechnik
Marcus Nolte	TU Braunschweig, Institut für Regelungstechnik
Franziska Poszler	TU München, Lehrstuhl für Wirtschaftsethik
Nayel Fabian Salem	TU Braunschweig, Institut für Regelungstechnik
Dr. iur. Dr. rer. pol. Hans Steege	Universität Stuttgart*
Torben Stolte	Volkswagen AG

Tabelle 5.1: Mitglieder des Plenums im Themenfeld „Sicherheit und Risiko“

\*) Der Rechtswissenschaftler Dr. iur. Dr. rer. pol. Hans Steege ist Lehrbeauftragter an der Universität Stuttgart, Institut für Volkswirtschaftslehre und Recht, Abteilung für Rechtswissenschaft. Er ist als Autor, Referent und Gutachter tätig. Aus Gründen der Transparenz wird darauf hingewiesen, dass Steege im Bereich Data Protection bei der CARIAD SE, einer Volkswagen Group Company beschäftigt ist.

## Themenfeld Sicherheit und Risiko

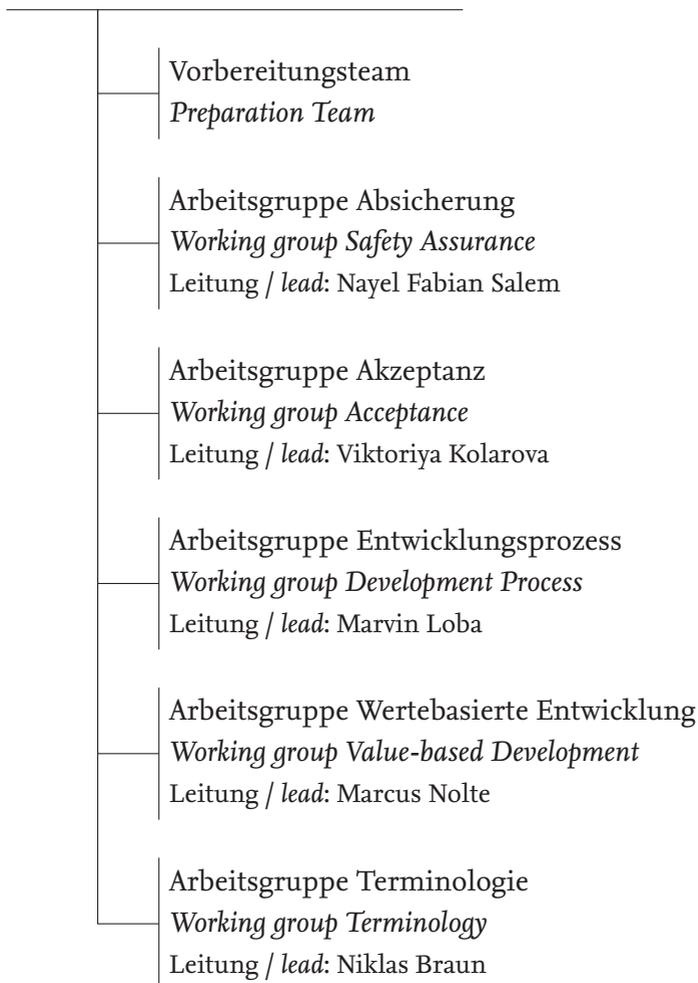
*Focus field Safety and Risk*Leitung / *lead*: Markus Maurer

Abbildung 5.1: Die Arbeitsgruppen des Themenfelds „Sicherheit und Risiko“  
*The working groups of the focus field “Safety and Risk”*

## 5.2 Arbeitsgruppe „Absicherung“

von Nayel Fabian Salem

Diese Arbeitsgruppe (AG) des Themenfelds „Sicherheit und Risiko“ beschäftigt sich mit offenen Fragen der Absicherung automatisierter Straßenfahrzeuge. Als Arbeitsdefinition des Begriffs „Absicherung“ folgen wir der Definition von Bagschik<sup>1</sup>.

„Absicherung bezeichnet den Prozess zum Entwurf, zur Umsetzung und zum Test von automatisierten Fahrzeugen, mit dem Ziel die Eigenschaft Sicherheit in der Einsatzumgebung [dauerhaft] zu gewährleisten und durch die Sicherheitsargumentation eine Freigabe zu unterstützen.“

In diesem Rahmen hat sich die Arbeitsgruppe aus Kollegen des Deutschen Instituts für Luft- und Raumfahrt, des Fraunhofer Instituts für Experimentelles Software Engineering, der Mercedes-Benz Group AG sowie des Instituts für Regelungstechnik der TU Braunschweig konstituiert. Der Fokus der Arbeitsgruppe liegt – entsprechend der Arbeitsdefinition – auf der ganzheitlichen Betrachtung des Absicherungsprozesses. Für das Themenfeld bedeutet dieses breite Selbstverständnis der Arbeitsgruppe vor allem, dass den Schnittstellen zu verwandten Arbeitsgruppen wie der „AG Akzeptanz“ eine besondere Bedeutung zugeschrieben wird. Das Themenfeld in Summe befasst sich unter anderem mit der Herausforderung der Inbetriebnahme automatisierter Straßenfahrzeuge, die in der wahrgenommenen Asymmetrie zwischen dem Sicherheitsverständnis in den Ingenieursdisziplinen und der Erwartungshaltung der Öffentlichkeit liegt. Die AG Absicherung hat vor

---

<sup>1</sup>BAGSCHIK, G.: *Systematischer Einsatz von Szenarien für die Absicherung automatisierter Fahrzeuge am Beispiel deutscher Autobahnen*. Braunschweig, Technische Universität Braunschweig, Dissertation, Mai 2022. – 10.24355/dbbs.084-202205030932-0

diesem Hintergrund die Aufgabe, die Debatte zur Definition eines angemessenen Sicherheitsniveaus, die in der Öffentlichkeit zwischen Teilnehmern der Industrie, Politik, Wissenschaft und den Medien geführt wird, mit offenen Fragestellungen zu untermauern.

Einen wichtigen Gegenstand dieser Debatte stellen die in der Absicherung verwendeten Risikoakzeptanzkriterien dar. In der Sicherheitstechnik wird Sicherheit im Allgemeinen als Abwesenheit unzumutbarer Risiken definiert. Risikoakzeptanzkriterien werden verwendet, um das zumutbare Maß an Risiko bewerten zu können. Die Komplexität dieser zunächst eindimensional erscheinenden Überlegung zeigt sich bei der Berücksichtigung weiterer Faktoren, die zur Bestimmung der Akzeptanz eines technischen Systems genutzt werden. Im Austausch zwischen der AG Absicherung und der AG Akzeptanz wird es ein Ziel sein, die offenen Herausforderungen dieser interdisziplinären Betrachtung klarer zu strukturieren.

## 5.3 Arbeitsgruppe „Entwicklungsprozess“

*von Marvin Loba*

Der Kontext der offenen Welt, in dem sich automatisierte Straßenfahrzeuge zukünftig bewegen sollen, bedingt eine hohe Komplexität. Die reale Welt birgt eine hohe Vielfalt an Szenarien, denen ein Fahrzeug im Betrieb begegnen kann. In der Entwicklung können die Systeme daher lediglich für eine Teilmenge möglicher Szenarien in ihrem Einsatzraum getestet werden. Weiterhin bringen die zu entwickelnden Systeme selbst eine signifikante Komplexität mit sich. Diese Aspekte und weitere funktionale Ursachen, wie etwa die Grenzen technischer Leistungsfähigkeit, führen zu inhärenten Risiken im Betrieb. Gepaart mit der Neuartigkeit der betrachteten Technologie, die nur einen be-

grenzten Rückgriff auf Bestandswissen über bereits in der Praxis erprobte Systeme zulässt, entsteht eine hohe Entwicklungsunsicherheit. Um dieser Unsicherheit Rechnung zu tragen, entstehen neue Anforderungen an den Entwicklungsprozess solcher Systeme. Der Prozess soll die Entwicklungsaktivitäten in geeigneter Weise strukturieren. So soll dieser zu der Beherrschung von Komplexität beitragen und einen geeigneten Rahmen liefern, um die Koordination durchgängiger Sicherheitsbetrachtungen für die Implementierung zu erlauben. Zudem muss der Prozess konkret dazu befähigen, die Anforderungen an das System fortlaufend zu verfeinern. Um eine Freigabe der Fahrzeuge zu erreichen, müssen Hersteller einen Nachweis über das Erreichen eines hinreichenden Sicherheitsniveaus der entwickelten Systeme erbringen. Dafür muss Klarheit im Hinblick auf die Systemanforderungen geschaffen werden. Somit muss ein Schwerpunkt des Entwicklungsprozesses auf der Gefährdungsanalyse, der Formulierung von Sicherheitsanforderungen und der Erprobung von Sicherheitsstrategien bereits in der frühen Entwurfsphase (*safety-by-design*) liegen. Die Arbeitsgruppe „Entwicklungsprozess“ untersucht auf Basis dieser Ziele die Frage nach konkreten Regulierungs-, Standardisierungs- und Forschungsbedarfen.

Im Berichtszeitraum wurde zunächst ein gemeinsames Verständnis für die globale Zielsetzung und den Prozessbegriff geschaffen. In diesem Zuge wurde insbesondere deutlich, dass eine allgemeinsprachliche Beschreibungsebene der Inhalte für eine erfolgreiche Kommunikation zwischen verschiedenen Interessengruppen gefunden werden muss – sowohl im Zuge der Arbeiten innerhalb der AG als auch im Hinblick auf die Kommunikation mit Stakeholdern im Entwicklungsprozess. Zunächst wurden Schnittstellen zu den Arbeitsgruppen „Wertebasierte Entwicklung“ und „Absicherung“ identifiziert. Die Implikationen der inhaltlichen Anknüpfungspunkte für die Aktivitäten am Runden Tisch gilt es im nächsten Berichtszeitraum weiter zu vertiefen.

Zudem wurden wesentliche Forschungsbedarfe herausgearbeitet: Dabei handelt es sich zum einen um die Frage nach der Berücksichtigung von Bedürfnissen und Ansprüchen verschiedener Interessengruppen (*stakeholder*) im Prozess. In diesem Kontext gilt es, geeignete Maßnahmen für die Partizipation und Kommunikation zu finden. Diese müssen bereits in einer frühen Phase des Systementwurfs eine Überführung der Bedürfnisse von beispielsweise Regulierern oder der Gesellschaft in Entwicklungsanforderungen der Hersteller ermöglichen. Außerdem wurde die Rolle der *Operational Design Domain* im Prozess als relevanter Forschungsgegenstand bewertet. Diese Einschätzung basiert insbesondere auf Basis des rechtlichen Rahmens zur Typzulassung in Deutschland. So bestehen Unterschiede in den Anforderungen der Beantragung einer allgemeinen Betriebserlaubnis durch Hersteller und der Beantragung des Betriebsbereichs durch zukünftige Halter. Analog verhält es sich mit der Rolle der technischen Aufsicht im Prozess, die im Zulassungsprozess erst für die Betriebsbereichsgenehmigung durch Fahrzeughalter zum Tragen kommt, jedoch sinnvollerweise bereits vom Hersteller im Entwicklungsprozess berücksichtigt werden sollte. Weitere Forschungsbedarfe bestehen im Umgang mit Auslegungskonflikten während der Entwicklung. Darunter fällt die Berücksichtigung von Wertekonflikten und -hierarchien entlang des gesamten Entwicklungszyklus. Um geeignete mit den assoziierten Abwägungen von Werten während der Entwicklung umgehen zu können, muss eine Debatte zwischen allen Stakeholdern mit einem Anliegen bezüglich der Sicherheit automatisierter Straßenfahrzeuge geführt werden. Zuletzt wurde die Aufnahme der Betriebsphase automatisierter Fahrzeuge im Prozess als wichtiger Forschungsgegenstand eingestuft. Neben der Feldüberwachung und dem Sammeln von Daten, die bei Auffälligkeiten des Fahrzeugverhaltens Software-Updates für die bereits in Verkehr gebrachten Systeme bedingen können, müssen Prüfungen der Validität für bestehende Si-

cherheitsbetrachtungen infolge dieser nachträglichen Systemänderungen im Prozess vorgesehen werden.

Ich bedanke mich bei allen Mitwirkenden in der Arbeitsgruppe und freue mich bereits auf weitere aufschlussreiche Diskussionen.

## 5.4 Arbeitsgruppe „Wertebasierte Entwicklung“

von Marcus Nolte

Die AG *wertebasierte Entwicklung* im Themenfeld Sicherheit und Risiko behandelt grundlegende Fragen, inwiefern explizite (ethisch-fundierte) Werteabwägungen in der Entwicklung automatisierter Fahrzeuge und die offene Kommunikation über solche Abwägungen die Einstellung gesellschaftlicher Akzeptanz fördern kann.

Gemeinsam mit Kolleginnen und Kollegen der Mercedes-Benz Group AG, der Universität Stuttgart, der CARIAD, der Technischen Universität München und dem Karlsruher Institut für Technologie haben wir innerhalb der AG eine erste Arbeitsdefinition für die wertebasierte Entwicklung erarbeitet:

„Die wertebasierte Entwicklung automatisierter Fahrzeuge beschreibt ein Vorgehen zur systematischen und nachverfolgbaren Berücksichtigung ethischer Werte und Werteabwägungen<sup>2</sup> vom Entwicklungsprozess bis hin zum Verhalten der implementierten Systeme über den gesamten Produktlebenszyklus. Entwurf, Entwicklung, Freigabe und Betrieb der Systeme sollen durch möglichst transparen-

---

<sup>2</sup>Die getroffenen Werteabwägungen sollten auf gesellschaftlich etablierte ethische Prinzipien zurückführbar sein.

te, unternehmensinterne und öffentliche Dialoge begleitet werden.“

Nach inhaltlichen Abstimmungen mit *Entwicklungsprozess* wurden zunächst Synergien und Unterschiede zu bestehenden, aus ethischen Überlegungen getriebenen, Entwicklungsansätzen (z.B. Value-Sensitive Design, Ethics-By-Design) aufgearbeitet, die eine wertebasierte Entwicklung für automatisierte Fahrzeuge unterstützen können. Die Arbeitsgruppe ist interdisziplinär besetzt und untersucht damit ethische, juristische, soziologische und ingenieurtechnische Rahmenbedingungen für die wertebasierte Entwicklung. In dieser Hinsicht wurden zum Beispiel Abwägungen in Bezug auf die Aufzeichnung und Verarbeitung von Daten für die Entwicklung KI-basierter Algorithmen diskutiert. Weiter wurde anhand von Beispielen für Abwägungen auf Seiten des Verhaltens automatisierter Fahrzeuge herausgearbeitet, dass die Erfüllung von Forderungen nach der Erhaltung „Leichtigkeit des Straßenverkehrs“, der Einhaltung der Straßenverkehrsordnung und der Schutz von Leib und Leben anderer am Verkehr teilnehmender Personen in Anbetracht des inhärenten Risikos im menschlichen Straßenverkehr, nicht garantiert werden kann.

In diesem Zusammenhang wurde erster Konkretisierungsbedarf von Regulierungen (Klärung eines „berechtigten Interesses“ für die Datenaufzeichnung und Verarbeitung bei der Realisierung von KI-basierten Systemen, Rechtssicherheit in Bezug auf die Auslegung der StVO während der Entwicklung, Rechtssicherheit bei der expliziten Dokumentation von Abwägungen im Entwicklungsprozess in Bezug auf vertretbare Risiken) identifiziert.

In den AG Diskussionen hat sich zudem herausgestellt, dass die Diskussion der Operationalisierung einer wertebasierten Entwicklung, ihr Einfluss auf die gesellschaftliche Akzeptanz und die Diskussion des

Umgangs mit Ungewissheiten während der Entwicklung und in der Freigabe auf der Forschungsseite noch am Anfang stehen und eine gezielte Bearbeitung von entstehenden Forschungsfragen benötigt wird.

**Teil III**

**Publikationen und  
Medienberichte**



## 6 Publikationen der Arbeitsgruppe

GRAUBOHM, R.: *Shaping Safety Concepts in the Iterative Design Process of Automated Driving Functions*. Vortrag. – 34th IEEE Intelligent Vehicles Symposium, 6th Workshop on Ensuring and Validating Safety for Automated Vehicles, Anchorage, AK, USA

GRAUBOHM, R.: *The UNICARagil Safety Concept – Collaborative Release for Public Demonstration of Vehicle Prototypes*. Vortrag. – UNICARagil Abschlussveranstaltung, Aldenhoven

GRAUBOHM, R.; LOBA, M.; NOLTE, M.; MAURER, M.: Identifikation auslösender Umstände von SOTIF-Gefährdungen durch systemtheoretische Prozessanalyse. In: *at - Automatisierungstechnik* 71 (2023), Nr. 3, S. 209–218. – doi: [10.1515/auto-2022-0164](https://doi.org/10.1515/auto-2022-0164)

GRAUBOHM, R.; SALEM, N. F.; NOLTE, M.; MAURER, M.: On Assumptions with Respect to Occlusions in Urban Environments for Automated Vehicle Speed Decisions. In: *2023 IEEE 26th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*. Bilbao, Spanien : IEEE, 2023, S. 738–745. – [10.1109/ITSC57777.2023.10422457](https://doi.org/10.1109/ITSC57777.2023.10422457)

MAURER, M.: *Das inhärente Risiko autonomer Straßenfahrzeuge*. Vortrag. – Fachtagung »Autonomes Fahren und Stadtstruktur«, Braunschweig

SALEM, N. F.: *Risk Management Core – Towards an Explicit Representation of Risk in Automated Driving*. Vortrag. – Auto[nom]obil auf der SafetyWeek, Würzburg

SALEM, N. F.; KIRSCHBAUM, T.; NOLTE, M.; LALITSCH-SCHNEIDER, C.; GRAUBOHM, R.; REICH, J.; MAURER, M.: *Risk Management Core – Towards an Explicit Representation of Risk in Automated Driving*. 2023. – arXiv:2302.07715

SCHRÄDER, T.; GRAUBOHM, R.; SALEM, N. F.; MAURER, M.: *Designing an Automated Vehicle: Strategies for Handling Tasks of a Previously Required Accompanying Person*. 2022. – arXiv:2209.11083

SCHUBERT, R.; NOLTE, M.; LA FORTELLE, A. de; MAURER, M.: ODD-Centric Contextual Sensitivity Analysis Applied To A Non-Linear Vehicle Dynamics Model. In: *2023 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*. Anchorage, AK, USA : IEEE, 2023. – doi: 10.1109/IV55152.2023.10186729

STANGE, V.; STEIMLE, M.; MAURER, M.; VOLLRATH, M.: Is the Automated Vehicle “Aware” of the Pedestrian? Examining Driving Behavior Adaptation as a Cue to Inform the Passenger of a Potential Hazard. In: *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives* 16 (2022), Nr. 100701. – 10.1016/j.trip.2022.100701

STOLTE, T.; LOBA, M.; NEE, M.; WU, L.; MAURER, M.: Toward Fault-Tolerant Vehicle Motion Control for Over-Actuated Automated Vehicles: A Non-Linear Model Predictive Approach. In: *IEEE Access* 11 (2023), S. 10499–10519. – doi: 10.1109/ACCESS.2023.3239518

# 7 Die Arbeitsgruppe in den Medien

Für das akademische Jahr 2022/2023 findet sich im Folgenden eine Auswahl von Beiträgen und Artikeln in diversen Medienformaten:

Medium	Datum	Artikel
WDR	11.05.2023	Aktuelle Stunde - Abschlussevent UNICARagil
NDR Info	31.05.2023	Selbstfahrende Autos - Wie kommen Nutzer mit der Technik klar? <a href="https://www.ndr.de/nachrichten/info/Selbstfahrende-Autos-Wie-kommen-Nutzer-mit-der-Technik-klar,ndrinfo46384.html">https://www.ndr.de/nachrichten/info/Selbstfahrende-Autos-Wie-kommen-Nutzer-mit-der-Technik-klar,ndrinfo46384.html</a>
NDR (Hallo Niedersachsen)	31.05.2023	Senioren testen autonomes Fahrzeug von TU Braunschweig <a href="https://www.ndr.de/nachrichten/niedersachsen/braunschweig_harz_goettingen/Senioren-testen-autonomes-Fahrzeug-von-TU-Braunschweig,auto1332.html">https://www.ndr.de/nachrichten/niedersachsen/braunschweig_harz_goettingen/Senioren-testen-autonomes-Fahrzeug-von-TU-Braunschweig,auto1332.html</a>



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

ISBN: 978-3-9823341-2-7